

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA



FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TESIS

ENCAPSULACIÓN DE ACEITES DE *Plukenetia volubilis* L., *Mauritia flexuosa*
POR GELIFICACIÓN IÓNICA Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD
OXIDATIVA.

AUTORES

Bach. Fernando Castro Armas

Bach. Nancy Pierina Gonzales Salazar

ASESORES

Dr. Fernando Tello Celis

MSc. Juan Dario Rios Mera

IQUITOS – PERÚ

2018

TESIS

**Título: “ENCAPSULACIÓN DE ACEITES DE *Plukenetia volubilis* L.,
Mauritia flexuosa POR GELIFICACIÓN IÓNICA Y EVALUACIÓN DE LA
ESTABILIDAD OXIDATIVA”**

AUTORIZACIÓN DE LOS ASESORES

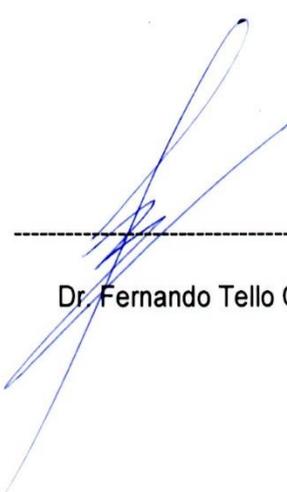
El Dr. Fernando Tello Celis, docente asociado adscrito al Departamento de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias y el MSc. Juan Dario Rios Mera, investigador.

INFORMAN:

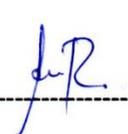
Que los bachilleres **FERNANDO CASTRO ARMAS** y **NANCY PIERINA GONZALES SALAZAR**, han realizado bajo nuestra dirección, el trabajo contenido en la memoria intitulada: **ENCAPSULACIÓN DE ACEITES DE *Plukenetia volubilis* L., *Mauritia flexuosa* POR GELIFICACIÓN IÓNICA Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA**, y considerando que el mismo reúne los requisitos necesarios para ser presentado, ante el jurado calificador, a tal efecto damos pase para su sustentación y posterior obtención del título de: **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

AUTORIZAMOS:

A los citados bachilleres a presentar la tesis, para proceder a su sustentación cumpliendo así con la normativa vigente que regula el Reglamento de Grados y Títulos en la Facultad de Industrias Alimentarias de la universidad Nacional de la Amazonia Peruana.



Dr. Fernando Tello Celis

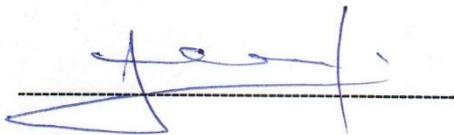


MSc. Juan Dario Rios Mera

MIEMBROS DEL JURADO

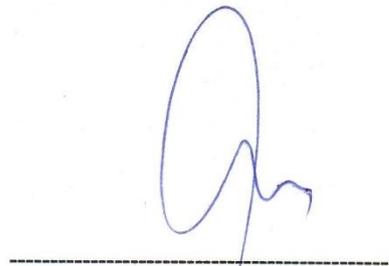
Tesis aprobada en la Sustentación Pública el 12 de abril del 2018 por el Jurado nombrado por la Dirección de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias para optar el Título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



Ing. Alenguer Gerónimo Alva Arévalo

Presidente



Ing. Roger Ruíz Paredes

Miembro Titular



Ing. Jorge Luis Carranza Gonzales

Miembro Titular



Ing. Félix Humberto Cabrera Sánchez

Miembro Suplente



UNAP

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

ACTA DE SUSTENTACIÓN

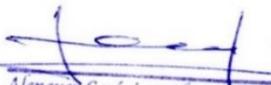
En la ciudad de Iquitos, siendo las *12:05* horas del día 12 de abril de 2018, en las instalaciones del Auditorium de la Facultad de Ciencias Económicas y de Negocios (FACEN) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicado en la calle Nanay N° 352 de esta ciudad, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis: **“ENCAPSULACIÓN DE ACEITES DE *Plukenetia volubilis* L., *Mauritia flexuosa* POR GELIFICACIÓN IÓNICA Y EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA”** presentado por los Bachilleres: **FERNANDO CASTRO ARMAS** y **NANCY PIERINA GONZALES SALAZAR**, con el asesoramiento de don **Fernando Tello Celis** y don **Juan Darío Ríos Mera**.

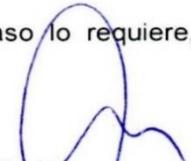
Estando el Jurado Calificador conformado por los siguientes miembros, según Resolución Decanal N° 086-FIA-UNAP-2018, del 05 de Marzo de 2018.

- | | | |
|--|---|-------------------------|
| Ing° ALENGUER GERÓNIMO ALVA ARÉVALO | : | Presidente |
| Ing° ROGER RUÍZ PAREDES | : | Miembro Titular |
| Ing° JORGE LUIS CARRANZA GONZALES | : | Miembro Titular |
| Ing° FELIX HUMBERTO CABRERA SÁNCHEZ | : | Miembro Suplente |

Siendo las *19:00* horas del mismo día, se dio por concluida la sustentación, habiendo sido *Aprobado* con la nota de *17* y el calificativo de *Muy buena*, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias.

El Jurado Calificador alcanzará al sustentante, si el caso lo requiere, las correcciones u observaciones presentadas.


Alenguer Gerónimo Alva Arévalo
 Ingeniero en Industrias Alimentarias
Presidente


Ing. Roger Ruiz Paredes
 Ingeniero en Industrias Alimentarias
 CIP 11742
Miembro Titular


Jorge Luis Carranza Gonzales
 Ingeniero en Industrias Alimentarias
 C.P. 71111
Miembro Titular


Félix Humberto Cabrera Sánchez
 Ingeniero en Industrias Alimentarias
 CIP 27142
Miembro Suplente



Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado con todo cariño y amor a mis padres, Amado Castro Delgado y Belmira Armas Valles, a mis hermanos, Rosa, Viviana, Wilson y Edinson Castro Armas; así como a Cuarto Fabriciano Salazar Arirama por confiar en mí y apoyarme incondicionalmente en mis objetivos y metas trazados.

Fernando

El presente trabajo está dedicado a mis padres Roberto Alejandro Gonzales Bode, Nerida Salazar Díaz, y mi Hermano Roberto Junior Gonzales Salazar, quienes me apoyaron y alentaron en este camino arduo. A mis tíos y primos por sus ánimos y consideración para poder culminar con esta etapa de mi vida.

Nancy Pierina

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer a Dios por habernos guiado por el camino de la felicidad brindándonos la oportunidad para realizar este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, por el financiamiento otorgado al desarrollo de este trabajo de investigación a través del proyecto “Encapsulación de aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) y aguaje (*Mauritia flexuosa*) en matrices poliméricas aplicadas a alimentos”, Resolución Rectoral n° 0685-2015-UNAP.

Al centro de Investigaciones de Recursos Naturales CIRNA-UNAP y Negocios Agroindustriales Loreto SAC. De Martín Antonio Souza Najjar, por acogernos en sus instalaciones, para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A nuestros asesores, el Dr. Fernando Tello Celis y el Ing. MSc. Juan Darío Ríos Mera; por su paciencia y su apoyo incondicional brindado en todo momento que permitieron el desarrollo y término de esta tesis, ejemplo a seguir para triunfar en la vida.

Al Ing. MSc. Rafael Segundo Vela Paredes por compartir sus conocimientos que fueron de gran ayuda para la redacción del presente trabajo.

A nuestros compañeros; Eunice, Kitty, Patricia, Celeste, Gail, Claudia y Úrsula, por el apoyo y los buenos momentos compartidos, Mil gracias.

Fernando y Nancy Pierina

Índice de Contenidos

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	viii
Índice de abreviaturas.....	x
Resumen.....	xi
Abstract.....	xii
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I: MARCO TEORICO.....	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Bases teóricas.....	7
1.2.1. <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	7
1.2.1.1. Descripción taxonómica.....	8
1.2.1.2. Nombres comunes de la especie.....	8
1.2.1.3. Descripción botánica	8
1.2.1.4. Origen.....	9
1.2.1.5. Distribución geográfica	9
1.2.1.6. Hábitat	9
1.2.1.7. Variedad morfológica.....	10
1.2.1.8. Valor nutricional.....	10
1.2.1.9. Utilización del aceite de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	10
1.2.2. <i>Mauritia flexuosa</i>	11
1.2.2.1. Descripción taxonómica.....	11
1.2.2.2. Nombres comunes de la especie.....	12
1.2.2.3. Descripción botánica	12
1.2.2.4. Origen.....	13
1.2.2.5. Distribución geográfica	13
1.2.2.6. Hábitat	13
1.2.2.7. Variabilidad morfológica	13
1.2.2.8. Valor nutricional.....	13
1.2.2.9. Utilización del aceite de <i>Mauritia flexuosa</i>	14
1.2.3. Aceite vegetal.....	14
1.2.4. Ácidos grasos.....	15
1.2.4.1. Ácidos grasos saturados.....	16
1.2.4.2. Acido grasos monoinsaturados.....	16
1.2.4.3. Ácidos grasos poliinsaturados	17

1.2.5. Métodos de extracción de aceites	19
1.2.5.1. Extracción por prensado en frío	19
1.2.5.2. Extracción por solventes	20
1.2.6. Control de calidad y pureza de los aceites	22
1.2.6.1. Densidad	23
1.2.6.2. Índice de refracción	23
1.2.6.3. Índice de acidez y ácidos grasos libres	23
1.2.6.4. Índice de peróxido	24
1.2.6.5. Índice de yodo	24
1.2.6.6. Índice de saponificación	25
1.2.7. Encapsulación	25
1.2.8. Aplicación de la encapsulación	26
1.2.9. Biopolímeros disponibles para encapsulación	27
1.2.9.1. Pectina	27
1.2.9.2. Gelatina	29
1.2.9.3. Gelatina de piel de doncella	30
1.2.10. Métodos de encapsulación	31
1.2.11. Gelificación iónica	32
1.2.11.1. Gelificación iónica interna	33
1.2.11.2. Gelificación iónica externa	33
1.2.12. Adsorción de proteína en partículas encapsulados	34
1.2.13. Oxidación lipídica	35
1.3. Definición de términos básicos	37
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	39
2.1. Formulación de hipótesis	39
2.2. Variables y su operacionalización	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	43
3.1. Tipo y diseño experimental	44
3.2. Diseño muestral	45
3.3. Procedimiento de recolección de datos	46
3.3.1. Extracción de AcPlukenetia (Adaptado de NALSAC)	46
3.3.2. Extracción de AcMauritia (Adaptado de NALSAC)	49
3.3.3. Análisis fisicoquímico de los aceites	52
3.3.3.1. Determinación de la densidad	52
3.3.3.2. Determinación del índice de refracción	52
3.3.3.3. Determinación del índice de acidez	52
3.3.3.4. Determinación del índice de yodo	53

3.3.3.5. Determinación del índice de saponificación.....	53
3.3.3.6. Determinación de humedad.....	54
3.3.3.7. Composición de ácidos grasos.....	54
3.3.4. Caracterización de biopolímeros.....	54
3.3.5. Producción de micropartículas por gelificación iónica.....	54
3.3.6. Recubrimiento de micropartículas con gelatina de piel de doncella...	55
3.3.7. Caracterización de micropartículas con y sin recubrimiento proteico..	56
3.3.7.1. Determinación de humedad.....	56
3.3.7.2. Determinación de ceniza	56
3.3.7.3. Determinación de lípidos	56
3.3.7.4. Eficiencia de encapsulación	57
3.3.7.5. Determinación de proteína	57
3.3.7.6. Morfología y tamaño medio	58
3.3.8. Evaluación de la estabilidad oxidativa.....	58
3.4. Procesamiento y análisis de datos	59
3.5. Aspectos éticos	59
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	61
4.1. Extracción de los aceites.....	61
4.2. Caracterización de los aceites.....	61
4.3. Caracterización de los biopolímeros	62
4.4. Producción de micropartículas por gelificación iónica	62
4.5. Caracterización de micropartículas obtenidas por gelificación iónica.....	63
4.5.1. Morfología y tamaño medio de micropartículas por gelificación iónica	63
4.6. Recubrimiento y caracterización de micropartículas de pectina con gelatina	
de piel de doncella, por interacción electrostática	64
4.6.1. Contenido de materia seca y adsorción de proteína.....	64
4.6.2. Contenido de lípidos en las micropartículas con recubrimiento	
proteico.....	64
4.6.3. Morfología y tamaño medio de micropartículas con recubrimiento	
proteico.....	65
4.7. Evaluación de la estabilidad oxidativa de las micropartículas con y sin	
recubrimiento proteico sometidos a efectos de la temperatura	66
4.7.1. Evaluación de la estabilidad oxidativa de AcPlukenetia encapsulado en	
micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico.....	66
4.7.2. Evaluación de estabilidad oxidativa de AcMauritia encapsulado en	
micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico.....	67
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	69
5.1. Extracción de los aceites.....	69
5.2. Caracterización de los aceites.....	70

5.3. Caracterización de los biopolímeros	74
5.4. Producción de micropartículas por gelificación iónica	75
5.5. Caracterización de micropartículas obtenidas por gelificación iónica.....	76
5.6. Recubrimiento y caracterización de micropartículas de pectina con gelatina de piel de doncella, por interacción electrostática	77
5.7. Evaluación de la estabilidad oxidativa de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico sometidos a efectos de la temperatura	80
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	84
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	87
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	89
ANEXOS	117
Anexo 1: Imágenes del proceso de extracción de AcPlukenetia.....	118
Anexo 2: Imágenes del proceso extracción de AcMauritia	120
Anexo 3: Producción de micropartículas por gelificación iónica.....	122
Anexo 4: Gráfica de la curva estándar de Fe ³⁺ para evaluar peróxidos	123

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación taxonómica de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	8
Tabla 2: Contenido de ácidos grasos de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	10
Tabla 3: Descripción taxonómica de <i>Mauritia flexuosa</i>	11
Tabla 4: Contenido de ácidos grasos de <i>Mauritia flexuosa</i>	14
Tabla 5: Rendimiento de extracción de aceite de semillas <i>Plukenetia volubilis</i> L. y frutos de <i>Mauritia flexuosa</i>	61
Tabla 6: Caracterización fisicoquímico del AcPlukenetia y AcMauritia.....	61
Tabla 7: Composición de ácidos grasos del AcPlukenetia y AcMauritia.....	62
Tabla 8: Composición centesimal de biopolímeros para interacción electrostática.....	62
Tabla 9: Caracterización de micropartículas producida por gelificación iónica.	63
Tabla 10: Tamaño medio de micropartículas obtenidas por gelificación.....	63
Tabla 11: Contenido de materia seca y proteína adsorbida de micropartículas de pectina, recubiertas con gelatina de piel de doncella.....	64
Tabla 12: Contenido de lípidos de micropartículas de pectina, recubiertas con gelatina de piel de doncella.....	64
Tabla 13: Tamaño medio de micropartículas de pectina producidas por gelificación iónica, recubiertas con diferentes concentraciones de gelatina de piel de doncella.....	65

Índice de Figuras

Figura 1: Frutos de <i>Plukenetia volubilis</i> L.....	7
Figura 2: Frutos de <i>Mauritia flexuosa</i>	11
Figura 3: Estructura química de ácidos grasos poliinsaturados.....	17
Figura 4: Estructura de una presa hidráulica para extraer aceites.....	19
Figura 5: Estructura de un equipo Soxhlet para extraer aceites.....	21
Figura 6: Extracción de aceites por Folch et al. (1957) y Bligh y Dyer (1959).....	22
Figura 7: Estructura química de la pectina conformado por residuos D-galacturónico, modificado por β -L-ramnosa	28
Figura 8: Estructura química de la gelatina.....	30
Figura 9: Métodos de encapsulación.....	31
Figura 10: Gelificación iónica de la pectina.....	32
Figura 11: Estructura de una micropartícula producida por gelificación iónica...33	
Figura 12: Mecanismo de reacción de la autoxidación en lípidos.....	35
Figura 13: Flujograma de obtención de AcPlukenetia (Anexo 1).....	46
Figura 14: Flujograma de obtención de AcMauritia (Anexo 2).....	49
Figura 15: Flujograma de obtención de micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico de gelatina de piel de doncella (Anexo 3).....	55
Figura 16: Micropartículas de Pc obtenidas por Gl. A) MPlukenetia, B) MPmauritia.....	62
Figura 17: Imágenes obtenidas por MO. A) MPlukenetia. B) MPmauritia. Barra MO = 100 μ m. Objetivo: 10x.....	63
Figura 18: Imágenes obtenidas por MO. A) MPlukenetia recubiertas con Gpd. B) MPmauritia recubiertas con Gpd. Barra MO = 50 μ m. Objetivo: 40x.....	65
Figura 19: Variaciones en el índice de peróxidos de AcPlukenetia en micropartículas con y sin recubrimiento proteico evaluados durante 0, 1, 3 y 5 horas, a 45, 55 y 65°C.....	66

Figura 20: Variaciones en el índice de peróxidos de AcMauritia en micropartículas con y sin recubrimiento proteico evaluados durante 0, 1, 3 y 5 horas, a 45, 55 y 65°C.....67

Índice de abreviaturas

AcPlukenetia	Aceite de <i>Plukenetia volubilis</i> L.
AcMauritia	Aceite de <i>Mauritia flexuosa</i> .
MPmauritia	Micropartículas húmedas conteniendo AcMauritia.
MPlukenetia	Micropartículas húmedas conteniendo AcPlukenetia.
Pc	Pectina cítrica.
GI	Gelificación iónica.
SCAL	Solución de calcio.
EPEC	Emulsión de pectina.
Gpd	Gelatina de piel de doncella.
EE	Eficiencia de encapsulación.
IE	Interacción electrostática.
MO	Microscopia óptica.

Resumen

Gelificación iónica (GI) es un método de encapsulación que permite proteger AcPlukenetia y AcMauritia ricos en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, las mismas que son susceptibles a la oxidación durante su procesamiento, almacenamiento o manipulación, por lo que mantener sus características nutricionales continúa siendo un desafío. El objetivo de este trabajo fue extraer y caracterizar AcPlukenetia y AcMauritia, asimismo, producir micropartículas por GI y adicionalmente evaluar la estabilidad oxidativa de los aceites encapsulados. Emulsiones de pectina (2% m/m) conteniendo los aceites fueron atomizados en SCAL (2% m/m) para producir micropartículas de pectina (Pc), las mismas que fueron recubiertas con gelatina de piel de doncella (Gpd) a diferentes concentraciones (2,4 y 8%), para posteriormente las micropartículas sin recubrimiento y las recubiertas con la mayor concentración ser sometidos a 45, 55 y 65°C de temperatura durante 1, 3 y 5 horas, para evaluar la producción de peróxidos. Fue observado alta eficiencia de encapsulación en micropartículas de Pc, independientemente al tipo de aceite utilizado, siendo los valores de eficiencia de 78.32% para AcPlukenetia y 82.54% para AcMauritia. Las cantidades de proteína adsorbida en la superficie de las micropartículas mostraron valores eficientes de adsorción cuanto mayor fue el incremento de proteína en solución, obteniéndose hasta 71.11% para micropartículas conteniendo AcMauritia y 69.66% para micropartículas conteniendo AcPlukenetia. En cuanto a la evaluación de la estabilidad oxidativa, los aceites encapsulados mostraron mayor producción de peróxidos cuando mayor fue el tiempo y temperatura de calefacción, obteniendo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre 45 a 65 °C en micropartículas recubiertas y sin recubrir, en ambos aceites. Los resultados encontrados muestran que micropartículas recubiertas con Gpd presentan mayor protección frente a la oxidación lipídica comparado con las micropartículas sin recubrimiento. Por lo tanto, la encapsulación de AcPlukenetia y AcMauritia es una alternativa tecnológica para proteger y conservar los aceites frente a condiciones adversas que produzcan su oxidación, disminuyendo reacciones con el ambiente externo, facilitando su manipulación.

Palabras claves: Encapsulación, gelificación iónica, *Plukenetia volubilis*, *Mauritia flexuosa*, oxidación lipídica.

Abstract

Ionic Gelification (GI) is an encapsulating method that protects AcPlukenetia and AcMauritia rich in monounsaturated and polyunsaturated fatty acids, which are susceptible to oxidation during its processing, storage or manipulation, so maintaining their nutritional characteristics remains a challenge. The objective of this work was to extract and characterize AcPlukenetia and AcMauritia, also, produce microparticles by GI and additionally to evaluate the oxidative stability of the encapsulated oils. Pectin emulsions (2% m/m) containing the oils were atomized in SCAL (2% m/m) to produce Pectin (Pc) microparticles, the same ones that were coated with gelatin of Maiden fish skin (Gpd) at different concentrations (2, 4 and 8%), for subsequently the uncoated microparticles and those coated with the highest concentration will be subjected to 45, 55 and 65 °C temperature for 1, 3 and 5 hours, to evaluate the production of peroxides. High efficiency of encapsulation in Pc microparticles was observed regardless of the type of oil used, with the efficiency values of 78.32% for AcPlukenetia and 82.54% for AcMauritia. The amounts of protein adsorbed on the surface of the microparticles showed efficient values of adsorption the greater the increase of protein in solution, obtaining up to 71.11% for microparticles containing AcMauritia and 69.66% for microparticles containing AcPlukenetia. Regarding the evaluation of oxidative stability, the encapsulated oils showed higher peroxide production when heating time and temperature were higher, obtaining significant differences ($P < 0.05$) between 45 and 65 °C in coated and uncoated microparticles, in both oils. The results show that microparticles coated with Gpd have greater protection against lipid oxidation compared to uncoated microparticles. Therefore, the encapsulation of AcPlukenetia and AcMauritia is a technological alternative to protect and conserve oils against adverse conditions that produce their oxidation, reducing reactions with the external environment, facilitating their handling.

Key words: Encapsulation, ionic gelation, *Plukenetia volubilis*, *Mauritia flexuosa*, lipid oxidation.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La encapsulación es una tecnología de construcción de una membrana biopolimérica, cuya finalidad, es prevenir ciertas reacciones físicas, químicas y microbiológicas que pueden presentarse en diversos compuestos bioactivos de interés, teniendo como efecto, la estabilidad de aquellas propiedades biológicas o funcionales que puedan poseer (Bakry et al. 2016). Los compuestos bioactivos son sustancias químicas que se encuentran en pequeñas cantidades en plantas y ciertos alimentos de origen vegetal (Drago, López y Saínez 2006), siendo las vitaminas, los minerales, ácidos grasos insaturados, proteínas e incluso los antioxidantes, los de más relevancia en la industria alimentaria (Chen, Chen y Lin 2006). Diversos métodos de encapsulación son presentados en literaturas de investigación científica, por lo que su aplicación, estará basada según el tipo de bioactivos a encapsular como también del tipo de material encapsulante a utilizar, siendo este último, biopolímeros sintéticos o naturales (polisacáridos y proteínas) (Bakry et al. 2016).

Actualmente los alimentos funcionales están generando mucho interés en la industria, debido a que no solo cubre la necesidad de satisfacer una alimentación, sino que, dentro su composición nutricional, presenta múltiples beneficios relacionados con la salud, teniendo como consecuencias la prevención o reducción de ciertas enfermedades degenerativas que pueden presentarse en el trayecto de la vida. Una de las reservas y fuentes principales de estos alimentos es la Amazonia peruana, que, mediante su gran biodiversidad presenta una variabilidad de alimentos, siendo *Plukenetia volubilis L.* y *Mauritia flexuosa* aquellas matrices alimenticias de gran interés en el mundo, no solo por poseer un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como el omega 3 y 6, sino que también para *Mauritia flexuosa* un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (omega 9) y carotenoides (Hurtado 2013; Koolen et al. 2013). Sin embargo, estas sustancias esenciales de ácidos grasos y carotenoides, son susceptibles a la oxidación (causa principal del deterioro en los alimentos) por lo que su encapsulación mediante gelificación iónica ha sido propuesto para su protección (Huang, Yuan y Chen 2006).

La gelificación iónica es uno de los métodos de encapsulación más accesible y fácil de realizar, debido a que no requiere de elevadas temperaturas

ni sustancias químicas tóxicas que puedan ocasionar una pérdida del valor nutricional de los bioactivos a encapsular. Asimismo, este método no emplea biopolímeros tóxicos ni nocivos que puedan afectar a la salud, por lo que, este método, está basado en la capacidad aniónica de los polisacáridos en promover interacción entre grupos carboxilos y los iones divalentes como el calcio, de tal manera que promueva la formación de complejos gelificados con alto grado de humedad y porosidad (Burey et al. 2008).

De igual modo, hidrocoloides naturales como la gelatina, son proteínas derivados de tejidos conectivos de cerdos, bovinos y peces (Silva et al. 2012), utilizada ampliamente por la industria farmacéutica, cosmética y alimenticia (Hussain y Maji 2008), debido a su capacidad para formar matrices gelificados que permitan encapsular compuestos hidrofóbicos para su protección, además, de fortalecer la estructura porosa de micropartículas producidas por gelificación iónica mediante interacción electrostática, brindando una mayor protección de la sustancia encapsulada frente a condiciones adversas que lo puedan deteriorar (Al-Tahami y Singh 2007).

Ante lo expuesto, el objetivo de este trabajo fue encapsular aceite de *Plukenetia volubilis* L. con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y aceite de *Mauritia flexuosa* con alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, producidos por gelificación iónica con posterior recubrimiento proteico con gelatina de piel de doncella. Asimismo, estudiar su estabilidad oxidativa mediante la generación de peróxidos promovidos por temperatura (45, 55 y 65°C) en intervalos definidos de tiempo (1, 3 y 5 horas).

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes

Anal y Singh (2007) señalan que la encapsulación es una tecnología ampliamente utilizada por la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, debido a que posee propiedades para confinar y enmascarar olores, sabores y colores a través de su recubrimiento, mejorando sus propiedades de protección y estabilización de su composición frente a condiciones adversas.

Favaro-Trindade et al. (2010) señalan que la encapsulación es una alternativa tecnológica que permite solucionar aquellos problemas alimenticios generados por la incorporación de bioactivos hidrolizados a base de proteínas en productos funcionales, ya que este proceso atenúa el sabor (amargo) característicos de las proteínas (caseína) al entrar en contacto con el consumidor.

Gonnet, Lethuaut y Boury (2010) reportaron que la microencapsulación de vitaminas liposolubles (A, D, B y E) aumenta la estabilidad de su composición, debido a que minimiza la pérdida de su actividad vitamínica generadas por posibles reacciones de isomerización y oxidación, causadas por el oxígeno o temperatura, llegando a maximizar su aplicación en el desarrollo de alimentos lácteos y panificación, productos dirigidos a sectores de gran desnutrición.

Fritzen-Freire et al. (2012) reportaron que la microencapsulación es un proceso viable para encapsular y proteger compuestos probióticos (*Bifidobacterium*), utilizando leche desnata en polvo e inulina con oligofructosa como agente encapsulante, debido a que este proceso permite aumentar su biodisponibilidad durante 6 meses de almacenamiento.

Guida et al. (2013) reportaron que la microencapsulación de aceites esenciales ricos en omega 3, en partículas sólidas a base de maltodextrina, lecitina, goma arábica y proteína de suero de leche, muestran mayor protección del bioactivo frente a condiciones de temperatura mayores de 100°C, demostrando su posible aplicación en el desarrollo de diversos alimentos funcionales relacionados con la panificación.

Fioramonti et al. (2015) reportaron que la microencapsulación de ácidos grasos poliinsaturados en emulsiones multicapa a base de biopolímeros

(lactosuero, alginato sódico y maltodextrina), genera efectos crioprotectores de los ácidos grasos frente a condiciones de humedad y temperatura de congelamiento.

Pastuña-Pullutasig et al. (2016) reportaron que la microencapsulación de aceite de *Plukenetia volubilis* L. mediante secado por aspersion, utilizando biopolímeros como goma arábica y maltodextrina, previene reacciones oxidativas en su composición nutricional, debido a que este bioactivo presenta un alto contenido de ácidos grasos insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados) beneficiosos para la salud.

Tello et al. (2015) reportaron que la microencapsulación de aceite modelo por gelificación iónica utilizando pectina y alginato, recubiertas con proteína de suero de leche y clara de huevo, muestra una mejora de las propiedades de protección del aceite frente a condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento por 45 días.

Gomes et al. (2013) reportaron que la microencapsulación de pigmentos con propiedades antioxidantes (β -caroteno) en partículas de biopolímeros es viable, debido a que los biopolímeros muestran una alta eficiencia de encapsulación de estos compuestos, además de mantener su estabilidad frente a condiciones de presión, temperatura y almacenamiento.

Guillén et al. (2003) señalan que las semillas de *Plukenetia volubilis* L. en su composición química, contiene un alto porcentaje de materia lipídica rico en ácidos grasos insaturados (34% de ácido linoleico y 51% de ácido linoleico), sustancia alternativa de alimentación beneficioso para la salud.

De Oliveira et al. (2016) señalan que los frutos de *Mauritia flexuosa* contienen aproximadamente 13.44% de materia lipídica rico en ácidos grasos monoinsaturados (78,1% oleico y 16,1% ácido palmítico). Asimismo, reportan su alto contenido de carotenos (911,4 mg/kg), antioxidantes beneficiosos para el fortalecimiento de la piel y sistema inmunológico.

Aguilera et al. (2001) señalan que la ingesta diaria de alimentos ricos en ácidos grasos insaturados, reduce factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares, inmunológicas, coronarias entre otras, sustituyendo a los suplementos sin originar cambios en hábitos alimenticios en el consumidor.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. *Plukenetia volubilis* L.

La región amazónica es el área de mayor importancia en términos de biodiversidad. Alberga muchos cultivos importantes para la agricultura mundial (por ejemplo, mandioca, piña, cacao, caucho, entre otros). Aun así, numerosas especies de plantas amazónicas poco explotadas con un valor económico prometedor, siguen siendo poco conocidas y descuidadas por la ciencia (Krivankova et al. 2007).

Plukenetia volubilis L. también conocido como sacha inchi, maní Inca, maní silvestre, maní sacha o maní de montaña, es una planta oleaginosa que pertenece a la familia Euphorbiaceae cuyo desarrollo se da en tierras bajas de la Amazonia peruana. Tradicionalmente es una planta cultivada durante siglos por la población mestiza e indígenas del sector, debido a que su composición nutricional ofrece múltiples beneficios sobre la salud (Guillén et al. 2003; Gutiérrez, Rosada y Jiménez 2011; Krivankova et al. 2007).

Plukenetia volubilis L. es una planta nativa de la Amazonia con presentación trepadora, voluble y semileñosa, que se desarrolla aproximadamente hasta los 1500 metros sobre el nivel del mar (Manco 2006). Tiene un crecimiento vegetativo y fructífero continuo durante todo el año en bosques secundarios, cañaverales y malezas a lo largo de la Amazonia en general (Valles 1995).



Figura 1: Frutos de *Plukenetia volubilis* L.

Fuente: Lamardo (2016).

1.2.1.1. Descripción taxonómica

Tabla 1: Clasificación taxonómica de *Plukenetia volubilis* L.

Reino	Vegetal
Género	Plukenetia
Especie	Volubilis L.
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Clase	Dicotiledónea
División	Spermatophyta
Sub división	Angiospermae

Fuente: Torres et al. (2009).

1.2.1.2. Nombres comunes de la especie

El nombre común de *Plukenetia volubilis* L. dependerá del lugar, habitad o zona geográfica donde se encuentre, lo cual puede ser llamado: Sacha inchi, Sacha Inchic, Maní del Monte, Maní del Inca, Inca peanut, Porra, Amui y Sacha Maní (Perú), Supua (Bolivia) (Arévalo 1996).

1.2.1.3. Descripción botánica

Plukenetia volubilis L. es una planta que pertenece a la familia Euforbiáceas, encontrándose ampliamente distribuido en la Amazonia peruana y en el trópico Latinoamericano (Valles 1991). Las Euphorbiaceae también conocido como euroforbias es una de las familias más extensas del amplio mundo botánico, conformado por 8000 especies y 300 géneros a nivel de regiones húmedas, tropicales. En el Perú es reconocida por presentar 61 géneros y 323 especies (Brako y Zarucchi 1993; Ulloa, Zarucchi y León 2004).

Su tallo es de hábito variable, escandente y semileñosa, que se desarrolla hasta una altura de 1500 metros sobre el nivel del mar. Sus hojas presentan formas acorazonadas con medidas de 10 a 12 centímetros de largo y 8 centímetros de ancho. Sus peciolo miden de 2 a 6 centímetros de largo con nervaduras que nacen de las hojas hasta el ápice (MINAGRI 2013).

Sus flores son monoicas de geometrías pequeñas blanquecinas, cuya base, presentan una o dos flores con filamentos sobresalientes cónicos de aproximadamente 0.5 milímetros de diámetro (Suarez 2009). Su inflorescencia se da en forma de racimos alargados con medidas de 5 a 18 centímetros de largo (Herrera, Hernández y Montealegre 2010).

Sus frutos son capsulas en forma de estrella con coloración oscura y verdusca, cuyo interior, presenta varias semillas marrones con bordes aplastados ricas en aceite y proteínas (Aceituno 2005).

Las características físicas como el color, el tamaño y peso de *Plukenetia volubilis* L. dependerá de su variedad, ecotipo y condiciones ambientales de procedencia (Merino-Zegarra et al. 2008). Uno de los factores limitantes de esta planta es la temperatura, ya que, en zonas muy altas, no crece de manera satisfactoria (MINAGRI 2013).

1.2.1.4. Origen

Su origen se presentó en las culturas pre incas nororientales hace 3000 a 5000 años atrás, a través de huacos Chimús y Mochicas, mostrando las enredaderas del cultivo de *Plukenetia volubilis* L. en toda la pieza cultural (Arévalo 1996).

1.2.1.5. Distribución geográfica

Su distribución en el Perú se extiende desde los departamentos de Loreto, Amazonas, Cuzco, Junín, Huánuco, Madre de Dios, San Martín, Valle de Huallaga y Ucayali, así como también en el sector noroeste de la cuenca Amazónica en Venezuela y Colombia hasta el Ecuador, Bolivia y Brasil (Arévalo 1996).

1.2.1.6. Hábitat

Su habitat básicamente está conformado por bosques tropicales húmedos y cañaverales en conjunto con malezas (Valles 1995). Tiene un comportamiento peculiar ante cualquier temperatura situados en un rango de 10 a 36 grados centígrados, el cual son las que se presentan a lo largo de la Amazonia (Manco 2006). Esta planta crece en suelos planos, arenosos y arcillosos cuya acidez esta entre 5 a 6 de pH (Dostert et al. 2009).

1.2.1.7. Variedad morfológica

Plukenetia Volubilis L. presenta una gran variabilidad morfológica, donde destacan las siguientes: *Plukenetia volubilis* (San Martín), *Plukenetia huayllabambana* (Cuzco), *Plukenetia lorentensis* (San Martín), *Plukenetia polyadenia* y *Plukenetia brachybotrya* (San Martín) (Rodríguez et al. 2010).

1.2.1.8. Valor nutricional

Dentro de su composición nutricional, *Plukenetia volubilis L.* tiene un alto contenido de lípidos y proteínas, siendo los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, los predominantes. Hazen y Sidewessand (1980) indican que el 4.2% de las almendras es humedad, 33.3% proteínas, 48.7% lípidos, 9.5% carbohidratos, 1.6% fibras y 2.7% cenizas. Además, indican que posee porcentajes considerables de vitaminas A (681 µg) y E (17 mg).

Según Fanali et al. (2011), manifiestan que, del total de materia grasa el ácido linolénico ($\omega - 3$) es el más relevante con un 46.8%, seguido por un 36.2% de ácido linoleico ($\omega - 6$) confirmando su alto índice de poliinsaturados como se muestra en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2: Contenido de ácidos grasos de *Plukenetia volubilis L.*

Ácidos grasos	
Linolénico ($\omega 3$)	46.8 %
Linoleico ($\omega 6$)	36.2%
Oleico ($\omega 9$)	9.0 %

Fuente: Fanali et al. (2011).

1.2.1.9. Utilización del aceite de *Plukenetia volubilis L.*

El aceite de *Plukenetia volubilis L.* es utilizado para promover el control y reducción de niveles de colesterol, glucosa y circulación de oxígeno en la sangre. Asimismo, interviene en la formación de tejidos nerviosos (mielinización), tejidos oculares (presión ocular) y tejidos estructurales de las membranas celulares, manteniendo su fluidez y firmeza, reduciendo su envejecimiento. Además, de intervenir en procesos inmunológicos para el buen desarrollo del organismo humano (Ronayne 2000; Lunn y Hanah 2006).

1.2.2. *Mauritia flexuosa*

Mauritia flexuosa es una palmera arborescente, nativa y a su vez dioica (hermafroditas) de la Amazonia peruana, que alcanza entre 30 a 40 metros de altura (Storti 1993; Mesa y Galeano 2013). Presenta estípites anillados no espinosos que mide 60 centímetros de diámetro. Tiene un crecimiento fructífero irregular durante todo el año, desarrollándose en suelos inundados o con mal drenaje, el cual, tiene un sistema que se adapta a su hábitat hidromórfico (Villachica 1996).



Figura 2: Frutos de *Mauritia flexuosa*

Fuente: Dweight (2018).

<http://livepharmacy.eu/fr/dons-d-arbres/aquaje/16/>

1.2.2.1. Descripción taxonómica

Tabla 3: Descripción taxonómica de *Mauritia flexuosa*

Reino	vegetal
Género	<i>Mauritia</i>
Especie	<i>flexuosa</i> L.
Orden	Arecales
Familia	Arecaceae
Clase	Monocotiledónea
División	fanerógamas
Sub división	Liliopsida

Fuente: Villachica (1996).

1.2.2.2. Nombres comunes de la especie

Mauritia flexuosa al igual que otras palmeras tiene nombres comunes según el lugar o zona geográfica donde se encuentre, por lo que puede ser llamado: Aguaje (Perú), moriche (Venezuela), mirití (Brasil), buriti palm (EE. UU) (Galeano y Bernal 2010).

1.2.2.3. Descripción botánica

Mauritia flexuosa es una de las especies de palmeras que pertenece a la familia Arecaceae, que se encuentra generalmente en el Suramérica al oriente de los Andes y la Amazonia. Es una de las palmeras fácil de identificar debido a la característica leñosa que tiene con troncos pocas ramificados. Conforman más de 729 mil especies en varios países y son adaptables a climas cálidos y/o templados (Villachica 1996).

Sus raíces son de genotipo positivo y negativo con profundidad de 60 centímetros sobre el nivel del suelo, desarrollándose en dirección horizontal hasta 40 metros, estos tienen una geometría cilíndrica y está conformado por una capa fibrosa. Presenta tallos cilíndricos, rectos y lisos con marcas resaltantes y visibles de hojas prominentes en arreglo espiral con 20 hijuelos aproximadamente alrededor del tallo (Villachica 1996).

Las hojas están conformadas aproximadamente por 200 segmentos filiales. Presentan de 10 a 20 hojas por plantas formando en la parte terminal del tallo una copa que se prolongan hasta los peciolo, que, a su vez, estos peciolo presentan medidas hasta de 6 metros de dimensión. La inflorescencia femenina está conformada por racimos compactos esféricos, cuyas flores presentan 68 sépalos de 20 centímetros de longitud. La inflorescencia, consta de un corto pedicelo unido al raquis secundario, con flores de coloración anaranjado cuyo cáliz es tubular y trilobado (Delgado, Couturier y Mejía 2007).

Sus frutos presentan formas ovaladas elípticas con medidas de 5 a 7 centímetros de longitud. El epicarpio está conformado por escamas lisas y romboideas de color rojo oscuro, cuyo mesocarpio tiene una dimensión de 4 a 6 milímetros de espesor, a veces suave con un sabor agridulce y coloración amarillo - anaranjado. Además, es una buena fuente nutritiva de vitamina A y C (Villachica 1996).

1.2.2.4. Origen

Según orígenes indican que *Mauritia flexuosa* se expandió centripetamente a partir de la cuenca amazónica, colonizando regiones bajas y mal drenadas de Suramérica (Ponce 2000). También tiene orígenes étnicos como las yaguas, siendo considerado como el árbol de la vida y un símbolo de inmortalidad, debido a la producción de diversas especies de fauna para alimentarse (Ruiz-Murrieta y Levistre-Ruiz 2011).

1.2.2.5. Distribución geográfica

Su distribución en el Perú se extiende en toda la Amazonia, Loreto, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Huánuco, el Huallaga y Marañón. Asimismo, se extiende por el norte, las Guayanas y Trinidad y Tobago. Por el sur, Minas Gerais, Mato Grosso del Sur, y São Paulo. Por el este en el litoral brasileño, y por el oeste en los valles andino en Bolivia, Ecuador y Colombia (Villachica 1996).

1.2.2.6. Hábitat

Su hábitat está conformado por zonas inundadas y pantanosos donde no hay mucho drenaje como en algunas zonas de la Amazonia, es decir, habitan en un ecosistema inundado llamado típicamente como aguajales. En algunos casos también se desarrolla en zonas no inundables. Asimismo, esta palmera soporta inundaciones no muy altas (Villachica 1996; Del Castillo, Otárola y Freitas 2006).

1.2.2.7. Variabilidad morfológica

Mauritia flexuosa L. presenta amplia variabilidad morfológica que incluye Aguaje Shambo (mesocarpio rojizo), Aguaje carnoso (mesocarpio grueso), y ponguete (mesocarpio amarillo) (Villachica 1996).

1.2.2.8. Valor nutricional

Dentro su composición, *Mauritia flexuosa* es una fuente altamente nutricional, debido a que contiene carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales. Además, de contener fitoestrógenos y un alto contenido de vitamina A (β -caroteno), B y C. Básicamente tiene un 29% de lípidos constituidos por ácidos grasos oleico y palmítico (Villachica 1996).

Tabla 4: Contenido de ácidos grasos de *Mauritia flexuosa*

Ácidos grasos	
Linolénico (ω 3)	0.7 %
Linoleico (ω 6)	2.7 %
Oleico (ω 9)	78.3 %

Fuente: Villachica (1996).

Según Johnson (1997), indica que en la composición nutricional de los frutos de *Mauritia flexuosa* contiene 65.6% de humedad, 46% de carbohidratos, 41.9% de fibra, 38.6% de materia lipídica y 4.4% de cenizas. Asimismo, indica que *Mauritia flexuosa* contiene altos valores de vitamina A (500 UI/g de aceite).

1.2.2.9. Utilización del aceite de *Mauritia flexuosa*

El fruto como el aceite de *Mauritia flexuosa* tiene múltiples usos tecnológicos, comestibles, terapéuticos como también farmacéuticos. Del fruto maduro se obtiene masa (pulpa), el cual es útil para la elaboración de otros productos como refrescos, chupetes, helados, bebidas fermentadas, dulces y pulpa de aguaje deshidratado (polvo).

El aceite de *Mauritia flexuosa* es utilizado para regularizar síntomas de menopausia, desequilibrio hormonal, deficiencia de vitamina A, reducción de colesterol y triglicéridos (Villachica 1996). Por otro lado, sus componentes como sus ácidos grasos y vitaminas son de amplio uso en la industria cosmética, ya que ayuda a proteger y mejorar la rehidratación de la piel (Delgado, Couturier y Mejía 2007).

1.2.3. Aceite vegetal

Son compuestos lipídicos obtenidos a partir de frutos o plantas oleaginosas del reino vegetal, cuya característica, es líquida e insoluble en agua. Estos compuestos son ampliamente utilizados por la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, debido a que presentan importantes fuentes de compuestos fenólicos, carotenoides, vitaminas, minerales, péptidos y sobre todo en mayor proporción ácidos grasos, dentro de los cuales destaca los monoinsaturados y poliinsaturados (Rodríguez-amaya 2001). Actualmente su consumo va incrementando, debido a su alto valor nutricional y terapéutica que consecuentemente trae beneficios sobre la salud (Durán, Torres y Sanhueza 2015).

Investigaciones realizadas por Mack (1989) y Durán, Torres y Sanhueza (2015), señalan que los aceites de mayor producción y consumo a nivel mundial son de plantas oleaginosas, entre ellas, la colza por su alto contenido de insaturados, siendo los ácidos grasos poliinsaturados y erúcico los que predominan en ella. La soja, por su mayor disponibilidad y composición nutricional ricos en fosfolípidos, ácidos grasos linoleico, vitamina E y antioxidantes. El ricino, por su contenido de ácido ricinoleico y el maíz y girasol por su alto contenido de vitamina E y ácido linoleico.

No obstante, los frutos oleaginosos también están teniendo demanda en los mercados nacionales e internacionales, siendo la palma uno de ellos por su alto contenido ácido palmítico y promedio contenido de ácido linoleico, y la oliva por su alto contenido de ácido oleico y promedio contenido de ácido graso linoleico, por lo que su producción viene siendo empleada en el arte culinario y producción de biodiesel para combustible industrial (Cárdenas 2017).

1.2.4. Ácidos grasos

Son biomoléculas de origen lipídica, constituyentes de los triglicéridos, fosfolípidos y glucolípidos, formados por carbono, hidrogeno y oxígeno, encontrados en mayor proporción en fuentes de origen animal (carne de cerdo, bovino, etc.) como también en fuentes de origen vegetal (semillas o frutos oleaginosos) (Yépez 2004), cuya composición nutricional estará en función de su diversidad botánica en vegetales y en la alimentación en animales. Su ingesta diaria proporciona un valor esencial en las diversas funciones del organismo, por lo que su consumo es recomendado en proporciones adecuadas para la protección y buen funcionamiento del organismo (Collomb et al. 2006).

Por otro lado, estas biomoléculas de ácidos grasos presentan estructuras lineales, conformados por cadenas alifáticas que pueden contener entre 4 a 24 carbonos, unidos mediante enlaces covalentes cuyo extremo contiene un radical carboxilo (-COOH) (Jumpsen y Clandinin 1995). Su clasificación se denota de acuerdo a su cadena hidrocarbonada o presencia de dobles enlaces, dentro de los cuales destacan los ácidos grasos saturados e insaturados, este último distinguido en monoinsaturados y poliinsaturados (Ziller 1996).

1.2.4.1. Ácidos grasos saturados

Son ácidos grasos con estructuras lineales y número par de átomos de carbono, caracterizados por no poseer dobles enlaces. Según su peso molecular, estos ácidos pueden ser de cadenas cortas (menores de 14 carbonos) con presentación líquida o cadenas largas (menores de 18 carbonos) con presentación sólida, dentro de los cuales podemos encontrar el ácido mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), laurico (C12:0), esteárico (C18:0) y lignocérico (C24:0) (Ruz et al. 1996).

Estas biomoléculas de origen lipídica, básicamente se encuentran en mayor proporción en alimentos de origen animal (carne de cerdo, bovino y pollo), como también en menor proporción en alimentos leguminosos, razón por la cual su presencia es indispensable a diario en las dietas. Sin embargo, a pesar de ser uno de los principales aportantes de energía, su consumo en exceso trae efectos negativos sobre el organismo, promoviendo al incremento de colesterol total, precursores de infartos y enfermedades coronarias. Asimismo, promueve al desarrollo de enfermedades hepáticas, cerebrales y diabéticas, por lo que su consumo en la actualidad es recomendado en mínimas proporciones (Carrillo Fernández et al. 2011; De Wit et al. 2012).

1.2.4.2. Ácidos grasos monoinsaturados

Son ácidos grasos insaturados, caracterizados por poseer de 10 a 22 carbonos y un solo doble enlace en su estructura hidrocarbonada, dentro de los cuales destacan el palmitoleico (C16:1), nervónico (24:1 n-9), eláidico (18:1 n-9), eúrico (22:1 n-9) y sobre todo el oleico (C18:1 n-9), siendo la combinación de estos dos últimos, el omega 9 (Masson y Mella 1985).

Su presencia básicamente está en mínimas proporciones en animales como la carne de ternera y en mayor proporción en vegetales leguminosos como la colza, oliva, cacahuate, etc., por lo que, su consumo a diferencia de las saturadas, promueven la prevención de ciertas enfermedades de presión arterial, cerebral y enfermedades cardiovasculares mediante la aportación de colesterol bueno, promoviendo a la salud y reducción de radicales libres, causantes principales de enfermedades cancerígenas y degenerativas (Rojo et al. 2005).

1.2.4.3. Ácidos grasos poliinsaturados

Son ácidos grasos insaturados, caracterizados por poseer más de 18 carbonos y dobles enlaces en su estructura hidrocarbonada, dentro de las cuales podemos destacar los más representativos; el ácido linoleico (18:2 n-6) con su derivado araquidónico (20:4 n-6) presentes en vegetales y el ácido linolénico (18:3 n-3) con su derivado eicosapentaenoico (C20:5 n-3) presentes en fuentes hídricas como los pescados (Jumpsen y Clandinin 1995). Estos ácidos son considerados esenciales, debido a que el organismo humano no puede sintetizarlo, razón por lo cual la única manera de sintetizarlos es mediante la dieta a partir de alimentos compuestos por ácido linoleico y linolénico (Mendonça et al. 2017).

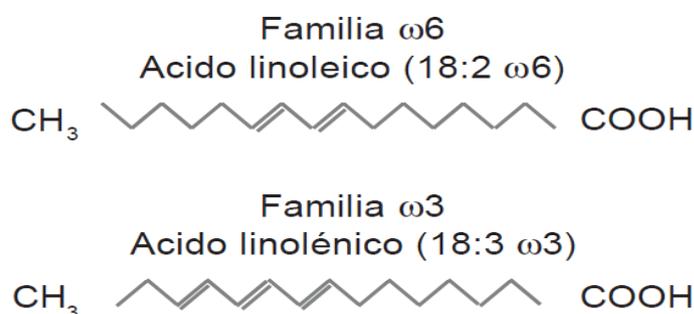


Figura 3: Estructura química de ácidos grasos poliinsaturados

Fuente: Ronayne (2000).

La síntesis de los poliinsaturados partes de la síntesis de los ácidos grasos saturado, donde por acción de la enzima sintasa, el ácido palmitato (16:0) es catalizado para forma otros complejos esenciales para el organismo. Este proceso inicia a partir del alargamiento de su cadena hidrocarbonada (donación de carbono, reducción, deshidratación y reducción), que mediante la enzima elongasa dará lugar a la formación del complejo estearato (18:0).

Posteriormente, estos complejos sufren un proceso de desaturación, proceso encargado de la inserción de dobles enlaces Cis en la cadena hidrocarbonada a partir del carbono 9 para adelante, dando como resultado la conversión a complejos oleicos, sustancias disponibles para la síntesis de los poliinsaturados (Glaser, Heinrich y Koletzko 2010). Sin embargo, estos ácidos esenciales no pueden ser sintetizados por el organismo (debido a la ausencia de la enzima desaturasa), lo cual la dieta es el único medio para procesarlo (Mendonça et al. 2017).

Debido a su similitud, los ácidos linoleico y linolénico son catalizados por la enzima elongasa y desaturasa. Estos ácidos son precursores de los ácidos esenciales de cadena larga como el araquidónico y docosahexaenoico. Su conversión parte desde la elongación y doble desaturación en el carbono 5, 6 de su estructura para formar ácidos araquidónicos y eicosapentaenoicos (Sprecher y Chen 1999).

Por otro lado, estos ácidos grasos también juegan un rol importante en el organismo, debido a que interviene en diversos procesos metabólicos y estructurales. Sus componentes son precursores de moléculas de alta actividad biológica, siendo los leucotrienos, tromboxanos y prostaglandina, compuestos encargados de la disminución de ciertas enfermedades inflamatorias, cerebrales y sanguíneas, así como también las diabéticas, cardiovasculares y cancerígenas (Youdim, Martin y Joseph 2000; Teitelbaum y Walker 2001).

Estudios realizados por Grundy, Bilheimer y Blackburn (1982); Yehuda et al. (2002) y Pérez y Guerrero (2006), señalan que la sustitución de los ácidos grasos saturados por poliinsaturados, regula los niveles de colesterol, glucosa y triglicéridos, además, mejora la transferencia de oxígeno hacia los plasmas sanguíneos para el proceso de la síntesis de la hemoglobina y división celular, ayudando a mantener las condiciones adecuadas de las funciones estructurales (membranas celulares), cerebrales y nerviosas (Prevención de Parkinson, Huntington y Alzheimer).

Actualmente se intentan desarrollar estudios el cual permita determinar la cantidad necesaria que requiere el organismo para controlar o disminuir las diversas enfermedades que pueden manifestarse por una mala dieta alimentaria, teniendo como resultado, recomendaciones como los reportados por Ayala et al. (2009), donde señala que la cantidad necesaria para la prevención de diversas enfermedades como la cardiovascular es de 5.5 gramos al mes. Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de Salud (OMS) señalan que la cantidad debe ser de 15.0 gramos por mes en adultos y 9.0 gramos en mujeres lactantes.

Por lo tanto, la presencia de estos bioelementos en las dietas es esencial, ya que mediante ella podemos mantener ciertas condiciones necesarias para el buen desarrollo vital de seres vivos (Mendonça et al. 2017).

1.2.5. Métodos de extracción de aceites

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 Alimentarius* 1999). Muchos componentes de estos leguminosos son comercializados en presentación líquida, siendo los aceites los más distribuidos en los diversos mercados del mundo. Esto ha incentivado a la industria al estudio y creación de métodos de extracción, por lo que su aplicación dependerá de las características que tiene el material a extraer. Frente a ello, existen diversos métodos para extraer los aceites, siendo los más utilizados la extracción por solvente y prensado en frío (Señorans 2006).

1.2.5.1. Extracción por prensado en frío

Es uno de los métodos de extracción más utilizados durante años, debido a que cuenta con un sistema hidráulico (figura 4) cuya estructura es simple y fácil de manipular (Bailey 2001). Este método a diferencia de otros, se basa en la aplicación de una fuerza mecánica (presión) sobre la superficie de una determinada matriz alimenticia, el cual provocará la desestabilización de sus componentes celulares hasta liberar su contenido (Señorans 2006).

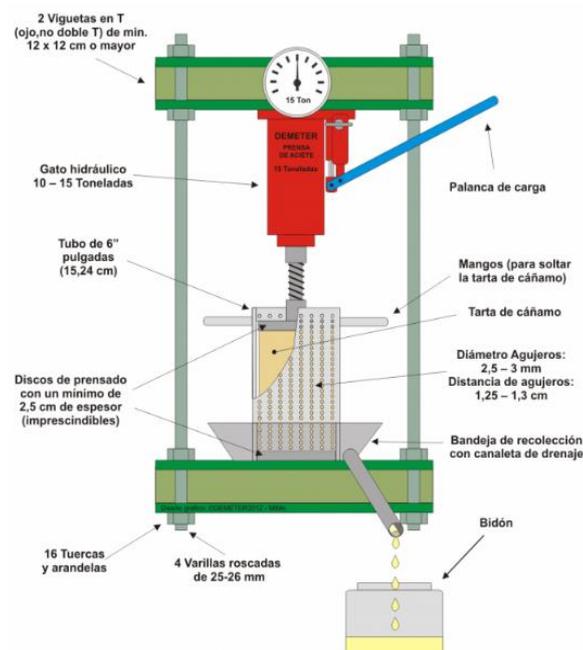


Figura 4: Estructura de una prensa hidráulica para extraer aceites

Fuente: Moldrickx (2012).

Las matrices alimenticias utilizadas en la extracción, básicamente son semillas o frutos oleaginosos de origen vegetal, debido a su alto contenido lipídico (aceites) ricos en ácidos grasos insaturados y proteínas llamados oleosinas, por lo que su rendimiento estará en función de su variedad botánica, los parámetros utilizados en el prensado, así como también de las condiciones en la que se encuentre la matriz antes de entrar al proceso (Señorans 2006).

Por otro lado, los aceites obtenidos por este método son de calidad, debido a que su proceso no requiere de temperaturas mayores de 45 °C ni sustancias químicas que intervengan, de tal manera que las propiedades biológicas y funcionales que poseen estas matrices oleaginosas sean conservadas en los aceites extraídos. Sin embargo, una de las debilidades que tiene este método a comparación de los otros, es que presenta rendimientos relativamente bajos, ya que al ser prensado una parte del aceite es retenido en los residuos sólidos. Estos residuos llamados torta de prensa o harinas, es un subproducto caracterizado por contener proteínas, razón por lo cual su empleo es utilizado en la elaboración de alimentos de peces, preparación de panes, galletas, entre otros (Del Castillo, Otárola y Freitas 2006).

1.2.5.2. Extracción por solventes

También conocida como extracción sólido-líquido. Es otro de los métodos más empleados para la extracción y cuantificación de lípidos, su aplicación consiste en el uso de solventes orgánicos el cual permitirá la solubilidad de los componentes dipolar de una matriz alimenticia, permitiendo la extracción de su contenido mediante la separación de masa en fases (Gao y Liu 2005).

Debido a sus propiedades, una gran variedad de solventes orgánicos viene siendo empleado para la extracción de lípidos, siendo los más convencionales el hexano, cloroformo, metanol y el éter isopropílico (Berbel 2010). Sin embargo, estos solventes orgánicos presentan diferentes comportamientos frente al contenido lipídico de las matrices alimenticia, esto debido a que los lípidos conformados por ácidos grasos, tienen propiedades anfipáticas el cual posee regiones polares y apolares que pueden interactuar con solventes 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).

Frente a este contexto, diversos métodos fueron apareciendo, siendo Soxhlet (1879) uno de los métodos clásicos y más antiguo de extracción. Su procedimiento está basado en la inmersión de un solvente sobre una matriz alimenticia, que mediante la sifonación y condensación de un solvente orgánico (éter de petróleo o hexano) calentado dentro un sifón, ira 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 solvente que se encuentra en el balón es separado del aceite mediante presión atmosférica o vacío a temperaturas bajas (Ortuño Sánchez 2006).

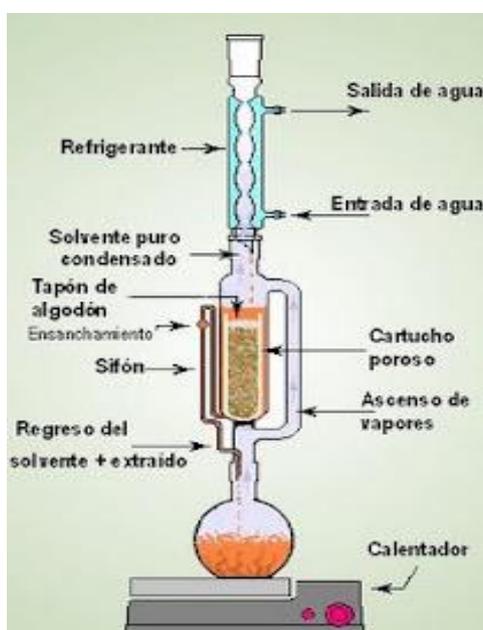


Figura 5: Estructura de un equipo Soxhlet para extraer aceites

Fuente: Nuñez (2008).

Posteriormente, otros métodos fueron desarrollados como el de Folch et al. (1957) y Bligh y Dyer (1959), métodos actualmente recomendados debido a su alta susceptibilidad que tienen la composición lipídica de las matrices alimenticias. Estos métodos son considerados métodos en frío, debido a que su aplicación está basada en la mezcla de solventes orgánicos dipolares sobre una matriz alimenticia, que, mediante su homogenización, promoverá la solubilización de sus tejidos, llegando a formar fases el cual estará conformada por una orgánica donde se encuentre los lípidos y otra acuosa donde se encuentre el resto de componentes (Rossell y Pritchard 1991).

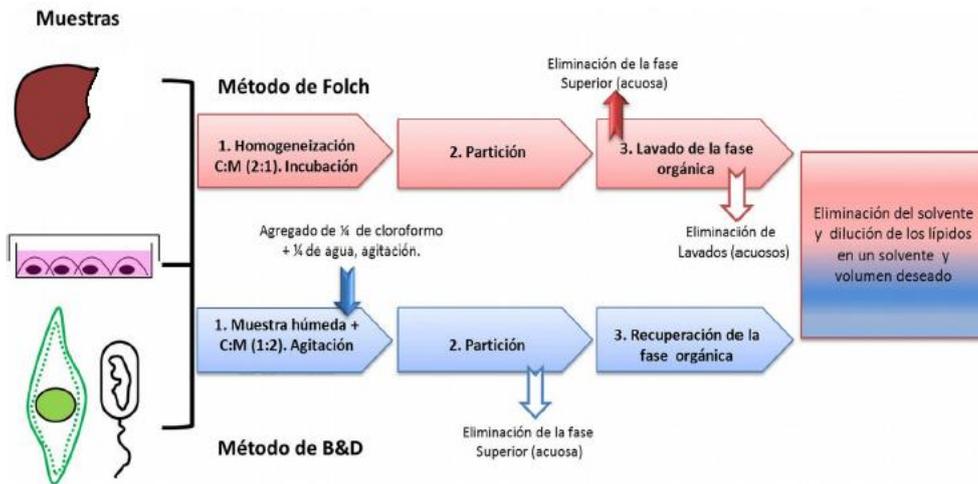


Figura 6: Extracción de aceites por Folch et al. (1957) y Bligh y Dyer (1959)

Fuente: Córscico et al. (2013).

En efecto, estos métodos presentan una facilidad para extraer lípidos, sin embargo, ciertos criterios son evaluados de acuerdo a su efectividad de extracción y calidad de obtención de las fracciones lipídicas. Los rendimientos son variables y notorios en ambos métodos de extracción, siendo Soxhlet el de mayor rendimiento frente a Folch et al. y Bligh y Dyer. En cuanto la calidad de lípidos el método Folch et al. y Bligh y Dyer tiene ciertas ventajas, debido a que no requiere de grandes volúmenes de solventes ni temperaturas elevadas para extraer. El uso de temperatura por tiempos prolongados, provoca descomposición térmica en aquellas propiedades termolábiles de los lípidos reduciendo su disponibilidad de nutrientes esenciales. Asimismo, el uso de grandes cantidades de solvente genera mayores costos de extracción, además de ser altamente nocivos para la salud y contaminación ambiental (Luque de Castro y García-Ayuso 1998).

1.2.6. Control de calidad y pureza de los aceites

Los lípidos constituidos por aceites y grasas son fuentes principales de consumo y uso externo en la humanidad, por lo que su importancia de evaluar su composición fisicoquímica permite garantizar su calidad. Frente a ello, ciertos criterios de calidad son aplicados para su certificación y posterior comercialización, siendo la densidad, el índice de refracción, acidez, iodo y saponificación los parámetros principales para su evaluación (Matissek, Schnepel y Steiner 1998).

1.2.6.1. Densidad

Es una magnitud que determina la cantidad de masa existente en un determinado volumen de una solución o sustancia. Su aplicación es uno de los indicadores de calidad, ya que mediante ello se verifica las posibles adulteraciones que pueden sufrir los productos. Su procedimiento se realiza a través de un densímetro de manera sencilla en productos o alimentos líquidos (Paucar-Menacho 2013). Por lo tanto, la densidad está expresado en gramos de masa divididos entre centímetros cúbicos de volumen (g / cm³).

1.2.6.2. Índice de refracción

Es una magnitud que indica la velocidad y cambio de dirección producidos por los rayos de luz que atraviesa una determinada muestra en cualquier ángulo, teniendo como referencia la velocidad de luz en el aire o vacío. Este parámetro de calidad permite evaluar el grado de insaturación de los ácidos grasos que puede ser influenciado por la oxidación o calentamiento de la muestra. Su procedimiento se realiza mediante el uso de un refractómetro o butirorefractómetro a una temperatura específica.

$$n = \frac{\text{Sen } i}{\text{Sen } r}$$

La presencia de “n” compuestos disueltos en una muestra puede hacer variar el índice de refracción, por lo que su importancia refleja en el grado de pureza que tienen los aceites, evaluados de acuerdo a los criterios de calidad de cada muestra (Paucar-Menacho 2013).

1.2.6.3. Índice de acidez y ácidos grasos libres

Es uno de los parámetros que define la calidad de una sustancia o producto. Su presencia puede ser debida a diversos factores que pueden influenciar sobre ella, las cuales pueden ser, desde el origen y estado en la que se encuentran los alimentos cosechados, el tipo de tecnología aplicado para su procesamiento, así como también al tipo de conservación o almacenaje que tienen (Grasso 2013).

El proceso de acidez se inicia a partir de la hidrólisis química o enzimática de los ácidos presentes en los alimentos, por lo que una mala manipulación puede llegar a causar su deterioro. En aceites y grasas el índice de acidez se produce por acción de la hidrólisis de los ácidos grasos, producto de la ruptura de sus enlaces peptídicos que tiene los triglicéridos, teniendo como resultado la formación y aparición de ácidos grasos libres (Gardner 1985).

La presencia de estos ácidos grasos libre en los alimentos es un indicador del inicio de una descomposición estructural de los lípidos, que de acuerdo a su cadena carbonada puede ser Cis o Trans, este último actualmente estudiadas por su capacidad de producir efectos negativos para la salud. Por lo tanto, el índice de acidez es expresado como el porcentaje de ácidos grasos libres (oleico) presentes en un gramo de muestra (Paucar-Menacho 2013).

1.2.6.4. Índice de peróxido

Al igual que la acidez, el índice de peróxido es un parámetro de calidad que indica el grado de oxidación en los alimentos, esto debido a la transformación química de su estructura originada por su exposición frente agentes externos como la humedad, calor, luz y oxígeno, teniendo como consecuencia la aparición de olores y sabores desagradables en su textura (Grasso 2013).

En los aceites y grasas este proceso inicia a partir de la propagación de radicales libres en la estructura de los ácidos grasos libres, y que mediante la incorporación de moléculas de oxígeno provoca la formación de compuestos primarios y secundarios como los hidroperóxidos, aldehídos y cetonas. Por lo tanto, el índice de peróxido mide la cantidad de oxidación de una muestra en su etapa inicial o avanzada, el cual se ira apreciando a lo largo del tiempo, siendo expresado como el número de mili equivalentes de oxígeno activo presente por cada kilogramo de muestra (Paucar-Menacho 2013).

1.2.6.5. Índice de iodo

Es una de las medidas del grado de insaturación de los ácidos grasos, determina el número de dobles enlaces y se expresa como la cantidad de iodo que es absorbido por la grasa o aceite bajo condiciones de solventes como el tetracloruro de carbono, ácido acético o solución Wijs (Paucar-Menacho 2013).

1.2.6.6. Índice de saponificación

Es la medida aproximada del peso molecular de los ácidos grasos, su determinación permite conocer cuánto de sustancia alcalina se requiere para saponificar una materia lipídica, por lo que según su estequiometría esta reacción se relaciona entre los moles de la grasa o aceite y los moles de la sustancia alcalina (KOH), que divididos entre el peso molecular de la materia lipídica se obtiene un promedio de los pesos molecular de los ácidos grasos presentes en los alimentos (Chatterjea y Shinde 2012). Por lo tanto, el índice de saponificación es expresado como el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar ácidos grasos libres y ésteres en un gramo de muestra (Arango 2002).

1.2.7. Encapsulación

La encapsulación es un proceso tecnológico que consiste en la incorporación de una sustancia bioactiva dentro de una matriz biopolimérica, cuya finalidad, es proteger y conservar aquellas propiedades funcionales que posee (Andres 1977). Este proceso consiste en el recubrimiento de un material de origen sólido, líquido o gaseosa mediante una membrana biopolimérica resistente y estable (Brazel 1999; Gibbs et al. 1999).

Su idealización nace a partir del modelo celular, donde el núcleo se encuentra protegido mediante una barrera física llamada membrana semipermeable capaz de controlar la interacción entre la parte interna y externa de la célula (Jizomoto et al. 1993). De la misma manera, la encapsulación propone la formación de un ambiente capaz de controlar la interacción de sus componentes frente al medio que lo rodea, llegando a liberar su contenido bajo ciertas condiciones específicas de humedad, pH, luz y temperatura (Fang y Bhandari 2010).

La encapsulación presenta diversidad de morfologías y tamaños al momento de producirlas, por lo que su definición estará de acuerdo a esas características, siendo clasificados como micropartículas denominadas también microcápsulas o microesféricas (partículas entre 1 – 250 μm) y nanopartículas denominado como nanocápsulas o nanoesferas (partículas < 1 μm) (Rollot et al. 1986; Zuidam y Shimoni 2010).

1.2.8. Aplicación de la encapsulación

Actualmente diversas sustancias consideradas bioactivos viene siendo objeto de investigación, debido a que estas sustancias presentan diversas propiedades funcionales el cual podría ser aprovechada por la humanidad. Sin embargo, diversos factores externos condicionan su biodisponibilidad provocando su limitación bioquímica, por lo que la encapsulación es una de las alternativas para proteger y conservar dichas sustancias que podrían ser aplicados y utilizados en las diversas áreas científicas como la farmacéutica, cosmética, alimentaria y química (Parra-Huertas 2010).

En el área de los alimentos, la encapsulación viene desarrollándose en aceites y grasas, vitaminas, minerales, aminoácidos e incluso en antioxidantes (Parra-Huertas 2010). Su aplicación permite minimizar la interacción de sus componentes esenciales frente a condiciones adversas de temperatura, humedad, oxígeno y radiaciones Uv, presentadas en los diversos procesos de producción, almacenamiento, transporte y comercialización, por lo que su utilización brindaría una mayor estabilidad y durabilidad de sus compuestos en el tiempo. Asimismo, la encapsulación viene siendo utilizada para enmascarar compuestos enzimáticos y aromáticos empleados como ingredientes funcionales en los diversos productos del área panadera y cervecera, generando mayor aceptabilidad frente al consumidor (Tari y Singhal 2002).

Estudios realizados como lo reportado por Goitia y Amurrio (2016), muestran que la encapsulación de aceite de chía en matrices poliméricas de gelatina y alginato tiene una alta eficiencia de encapsulación y liberación de sus componentes bajo condiciones similares al del estómago, permitiendo desarrollar una mejor bioaccesibilidad de sus componentes en el organismo humano. Asimismo, Jaramillo (2013) muestra que la encapsulación de aceite de chía puede ser integrado en la formulación de otros productos alimenticios, lo cual, servirá para mejorar su composición nutricional. Por otro lado, Gomes et al. (2013) muestran que la encapsulación de β -caroteno en partículas sólidas de aceite de girasol, triesteína y lectina de soja presenta una mayor conservación de sus componentes, mejorando su biodisponibilidad frente a condiciones ambientales, de procesamiento y/o almacenamiento.

En general, la encapsulación tiene una amplia aplicación en la industria alimentaria. Sin embargo, el principal desafío sigue siendo su estabilidad y liberación de sus componentes en puntos estratégicos del organismo (Bakry et al. 2016), por lo que factores como el tipo de material encapsulante, el bioactivo a encapsular y la técnica de encapsulación son los pilares fundamentales para una mejor conservación sus componentes (Minemoto, Adachi y Matsuno 1997).

1.2.9. Biopolímeros disponibles para encapsulación

Hidrocoloides poliméricos son utilizados para la encapsulación de bioactivos por lo que según su destino puede variar, siendo los más empleados los polisacáridos y lípidos (Funami et al. 2009). Los polisacáridos y proteínas son caracterizados por poseer propiedades gelificantes con alta capacidad de adsorción de agua capaz de formar otros complejos a partir de ellos (Coviello et al. 2007; Sandolo et al. 2007).

Entre los polisacáridos más empelados tenemos los de origen natural entre ellos la pectina, goma y otros, obtenidos a partir de las plantas vegetales y el alginato obtenido a partir de algas marinas. Por su parte las proteínas como la gelatina y colágeno son los más empleados para encapsular, debido a que son hidrocoloides de mayor accesibilidad y disponibilidad, además de no ser nocivos para el consumo humano (Tang et al. 2012).

1.2.9.1. Pectina

La pectina es un polisacárido extraído de las paredes celulares de las plantas y frutas cítricas (Shibuya y Iwasaki 1978), cuya estructura está conformado por cadenas lineales de unidades monómeras de ácido α – (1-4) D-galacturónico, esterificados con grupos metílicos (Bobbio y Bobbio 1989). Pertenece al grupo de sustancias pépticas tales como el ácido péptico, el ácido pectínico y la protopectina, por la cual son denominados polisacáridos complejos de alta masa molar (Campbell y Palmer 1978). Estos hidrocoloides naturales presentes en plantas forman un grupo hetermolecular de polisacáridos estructurales encontrados en la pared primaria de las células y en las capas intercelulares de los frutos y vegetales, cumpliendo la función de hidratante y adhesión para su resistencia celular (Burns y Pressey 1987).

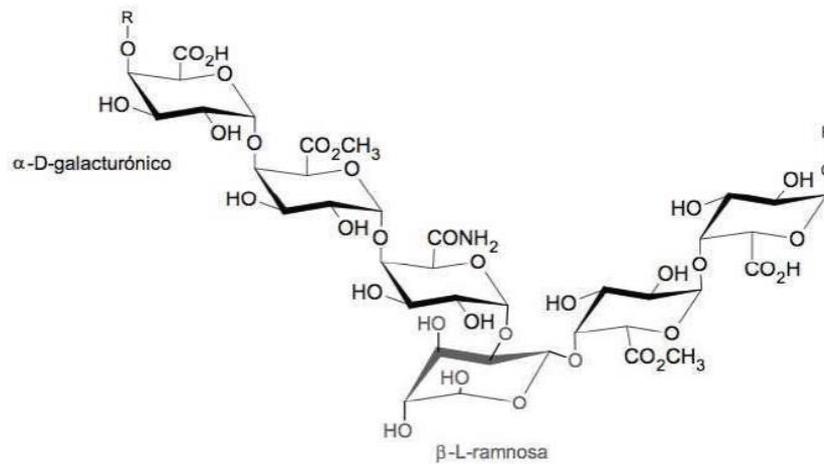


Figura 7: Estructura química de la pectina conformado por residuos D-galacturónico, modificado por β -L-ramnosa

Fuente: Santagapita (2010).

En la industria, la pectina es utilizada por su grado de solubilidad y capacidad para formar complejos gelificantes en presencia de iones de calcio y medios ácidos con pH menores de 3.5. De acuerdo a su estructura y grado de metoxilación, las pectinas se clasifican en pectina de alto metoxilo cuando alcanza valores superiores del 50% de su esterificación y pectina de bajo metoxilo cuando alcanza valores inferiores del 50% de esterificación (Darvill et al. 1980; Ralet et al. 2001).

Las pectinas de alto grado de esterificación, tiene la capacidad de formar geles irreversibles con presencia de residuos azucarados en medios ácidos con pH comprendido entre 2.8 a 3.5 a temperaturas relativamente altas (Rankes 2000). Sin embargo, los de bajo grado de metoxilación forman geles reversibles con o sin presencia de residuos azucarados en medios catiónicos como el calcio en medios ácidos con pH entre 2.5 a 6.5 (Wong 1994). La variación del pH proporcionara una mejor solubilización de sus componentes para su aplicación.

En base a lo mencionado anteriormente, la pectina es uno de los agentes principales para la formulación y creación de diversos productos empleados hoy en día en las diversas áreas científicas tales como la farmacéutica (encapsulación de agentes desintoxicantes, antiinflamatorios, diarreicos, etc.), Cosmética (pastas, ungüentos, aceites, cremas, etc.) y alimentaria (yogures, mermeladas, jaleas, batidos, etc.) (Crispín et al. 2012; Puigvert y Garza 2003).

1.2.9.2. Gelatina

La gelatina es una proteína obtenida a partir de la hidrólisis parcial del colágeno presente en los tejidos conjuntivos (cartílago, hueso y piel) de animales rumiantes o peces (Montero y Gómez-Guillén 2000). Representa el 30 % de su conjunto proteico en mamíferos y 25% en especies marinas, con composición variada según su especie y edad (Johnston-Banks 1990).

El colágeno está constituido por un conjunto de cadenas polipeptídicas (α) helicoidales, que, al unirse entre ellos, forman una red con triple hélice unidos por puentes de hidrógenos y enlaces covalentes (Shoulders y Raines 2009). Estas cadenas presentan una alta fuente de aminoácidos conformado por glicina (33%), prolina (12%), alanina (11%), hidroxiprolinas (12%) e hidroxilisina (1%) (Noris-Suárez et al. 2007).

La conversión del colágeno a gelatina está relacionada con el grado de solubilidad que tienen a través de tratamientos en aguas calientes (≥ 45 °C) con medios ácidos o alcalinos (Johnston-Banks 1990). Durante el tratamiento, la estructura del colágeno (triple hélice) sufre una desnaturalización por efecto de la temperatura, provocando que las moléculas de colágeno se fragmenten en cadenas independientes (α , β y γ) que finalmente se convertirá en gelatina soluble (Poppe 1997).

La conversión del colágeno da lugar a dos tipos de gelatina lo cual será clasificado según su proceso de obtención, siendo el de tipo A una gelatina extraído en medios ácidos con punto isoeléctrico de 7.0 a 9.4 y el tipo B una gelatina extraído en medios alcalinos con un punto isoeléctrico de 4.6 a 5.2 (Ward y Courts 1977). El tipo de proceso a utilizar está relacionado con el tipo de materia prima que basado en su composición tendrá tiempos prologados de obtención (Cock, Cuervo y Aponte 2007).

La aplicación de largos tiempos de extracción mejora el rendimiento de la gelatina, sin embargo, dichos tiempos produce gelatinas de cadenas cortas, el cual es un indicativo de poca calidad (Boran, Lawless y Regenstein 2010), por lo que su posible modificación, puede favorecer mejores rendimientos con propiedades reológicas de calidad (Giménez et al. 2005).

Actualmente la gelatina viene siendo empleada como ingrediente funcional en diversos productos alimenticios, farmacéuticos y químicos debido a sus propiedades gelificantes, estabilizantes y espesantes (Chatterjee y Bohidar 2005). Su empleo proporciona una mejor firmeza, elasticidad y estabilidad en los diversos productos alimenticios. Además, de ser empleado para la formación de películas en la encapsulación para una mejor protección de sus componentes (Choi y Regenstein 2000).

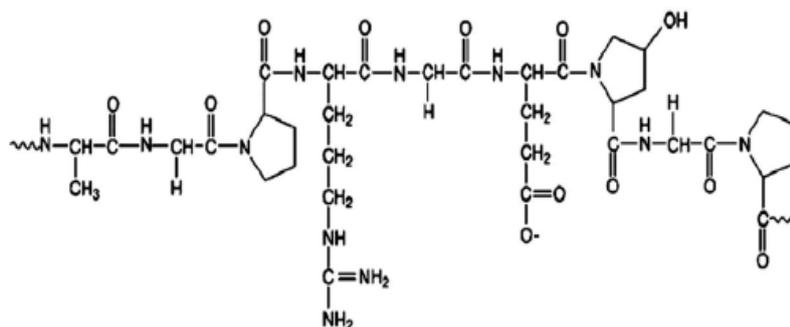


Figura 8: Estructura química de la gelatina

Fuente: Kommareddy, Shenoy y Amiji (2005).

Diversos estudios reportaron extracción de gelatina a partir de las pieles de peces tales como el salmón (Arnesen y Gildberg 2007), tilapia (Jamilah y Harvinder 2002), entre otros. Su estudio proporciona una alternativa a la gelatina de mamíferos debido a su similitud proteica en su composición.

1.2.9.3. Gelatina de piel de doncella

La doncella (*Pseudoplatystoma fasciatum*), es una especie acuícola de la Amazonia, perteneciente a la familia *Pimelodae* con presentación robusta alargado, con piel desnuda lisa con rasgos redondos de coloración oscura (ITP 2009). Su composición química proporciona importantes fuentes de proteína (38.37%), lípidos (8.17%) y minerales (0.49%) (Bravo et al. 2018).

El aprovechamiento de estas fuentes hídricas generalmente es empleado para el arte culinario de los diversos potajes en la alimentación y otros en la producción de conservas y harinas. Sin embargo, las pieles de estos pescados contribuyen al 30% de residuos desechados en los diversos contenedores de basura y drenajes de su localidad contribuyendo a un mayor impacto ambiental (Kittiphattanabawon et al. 2005).

La industria alimentaria, ciencia encargada de la creación de nuevos productos mediante el aprovechamiento de subproductos hace que estas pieles sean transformadas en colágeno, producto también utilizado en la industria farmacéutica (Bravo et al. 2018). Sin embargo, las características reológicas de estos colágenos en la producción de gelatina son menos estables a los de mamíferos, por lo que su estudio sigue siendo un desafío en cuanto a su producción en mayor escala (Giménez et al. 2005; Gudmundsson 2002).

Según Bravo et al. (2018), señalan que la gelatina obtenida de la piel de doncella tiene un contenido proteico (90.90%), valores próximos al de porcino (90.0%), además de contener cierta cantidad de lípidos y minerales que pudiera ser aprovechable en el consumo humano y en la creación de nuevos productos.

1.2.10. Métodos de encapsulación

Una gran variedad de métodos viene siendo empleada para la encapsulación de materiales sólidos, líquidos y gaseosos en la industria. Autores como Magdassi y Vinetsky (1996) y Brazel (1999) difunden la existencia de 200 métodos de encapsulación, siendo los más empleados el proceso por atomización (*spray drying*), liofilizado (*freeze drying*), coacervación compleja y gelificación iónica. El resumen de estos métodos lo podemos observar en la fig. 9.

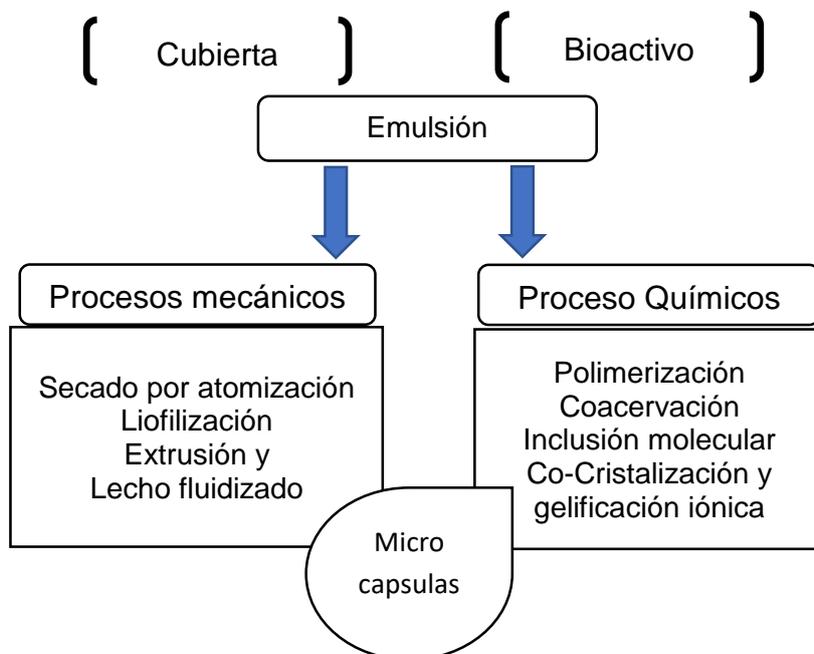


Figura 9: Métodos de encapsulación

Fuente: Magdassi y Vinetsky (1996) y Brazel (1999).

La selección del método de encapsulación estará sujeta a la naturaleza del compuesto bioactivo, material encapsulante, lugar de liberación, campo de aplicación y costo de procesamiento (Brazel 1999; Popplewell 2001).

1.2.11. Gelificación iónica

La gelificación iónica es una tecnología que consiste en la capacidad aniónica que tienen los biopolímeros para formar geles en presencia de iones divalente como el calcio. Este proceso se realiza mediante el entrecruzamiento de las moléculas de ácido gulurónico o galacturónico con los iones de calcio, formando estructuras complejas con alto contenido de humedad que irán fortaleciéndose a medida que estos iones vayan difundiendo en la cadena biopolimérica (King 1988).

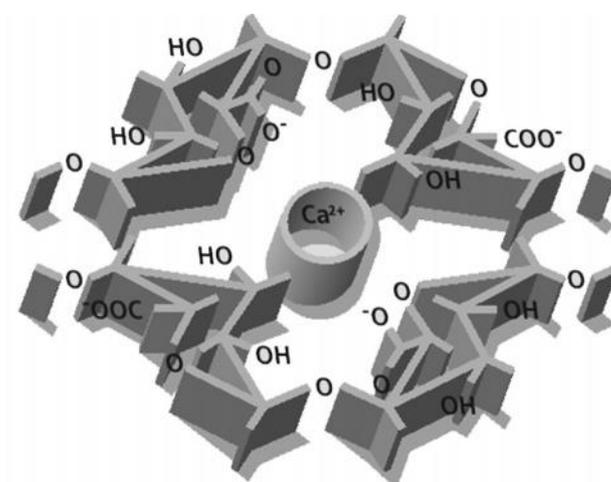


Figura 10: Gelificación iónica de la Pectina

Fuente: Chasquibol y Morales (2010).

La gelificación iónica es uno de los métodos químicos más utilizados en las últimas décadas por ser una tecnología que no requiere la presencia de equipos sofisticados, temperaturas altas ni solventes tóxicos que puedan influenciar en ella, por lo que su empleo para encapsular es simple y económico (Poncelet et al. 1992).

La existencia de la gelificación iónica conlleva a la aplicación en los diversos campos de estudio de la industria, siendo producidos mediante dos mecanismos tales como gelificación iónica interna y externa, diferenciados por la cinética con la que actúan sus componentes en su proceso de encapsulación (Draget et al. 2000).

1.2.11.1. Gelificación iónica interna

Consiste en la liberación controlada de los iones de calcio en una solución acuosa de un biopolímero. Su liberación se puede realizar mediante dos mecanismos de difusión, siendo el primero mediante la acidificación del sistema de calcio hasta obtener su solubilización o mediante la agregación de una solución homogénea de biopolímero y calcio teniendo como resultado la obtención de un matriz gelificado (Helgerud et al. 2010).

1.2.11.2. Gelificación iónica externa

A diferencia de la gelificación interna, este proceso consiste en la suspensión de una solución biopolimérica en una solución de calcio. Los iones de calcio irán difundiendo a medida que la superficie de los hidrocoloides vaya saturándose, obteniendo un gel resistente a medida que los iones de calcio vayan desplazándose hacia el interior de los hidrocoloides (Helgerud et al. 2010).

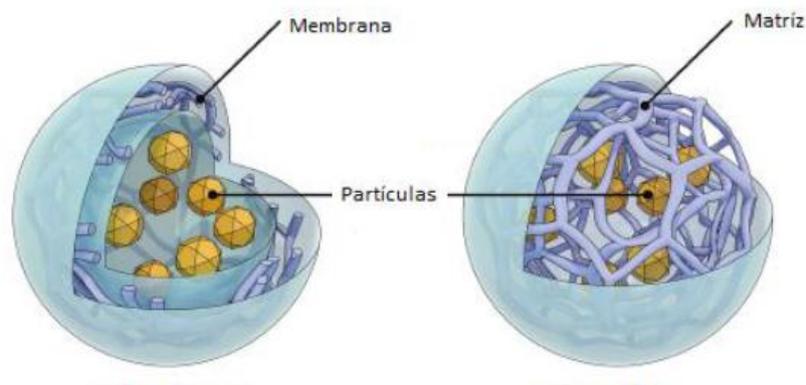


Figura 11: Estructura de una micropartícula producida por gelificación iónica

Fuente: Suffredini, East y Levy (2013).

La formación de estos complejos puede ser modificada mediante la variación de las condiciones de pH, concentración de iones de calcio y biopolímeros. Por otro lado, las estructuras de estos geles pueden variar de acuerdo al tipo de suspensión que pueden tener los biopolímeros, pudiendo ser de geometría regular, irregular (sin forma definida) y esférica (forma simple con espesor uniforme) (Shahidi y Han 1993).

En general, la gelificación iónica proporciona la posibilidad de producción de matrices empleados en dietas ricas en proteínas, carbohidratos y sustancias funcionales que pueden ser aplicados en la industria en general (Thies 1995).

Estudios realizados en micropartículas por gelificación iónica muestran su alto contenido de humedad y grado de porosidad, factores que pueden encargarse de su pronta liberación del bioactivo frente a condiciones adversas, por lo que la combinación de complejos (biopolímero – proteína), puede ser una alternativa para su mayor protección (Sezer y Akbug 1999).

1.2.12. Adsorción de proteína en partículas encapsulados

La adsorción de proteínas en matrices alimenticias y farmacológicas tiene un valor importante, debido a sus propiedades reológicas capaz de mejorar la protección de bioactivos destinados para el consumo humano o animal. Este proceso se manifiesta a través de la interacción electrostática de sus cargas opuestas entre biopolímeros (Kim y Yoon 2002).

La formación de complejos proteico es posible por la variación de las condiciones de pH, fuerza iónica, temperatura y concentración de la proteína. Las proteínas tienen una propiedad denominada punto isoeléctrico que es el valor del pH donde su carga es nula, por lo que en condiciones de pH alto su carga se vuelve negativo, sin embargo, cuando las condiciones de pH son bajo su carga es positivo. La exposición de las proteínas a condiciones de pH bajo proporciona una atracción con la carga polianiónica de los polisacáridos, formando complejos fuertemente adheridos a la superficie de las partículas promoviendo una mayor protección (Thu et al. 1996).

La adhesión de las proteínas en la superficie de las partículas depende de factores físico y químico de la superficie, tiempo de reacción, pH y electrolitos de la solución. Por otro lado, la interacción electrostática puede ser controlada mediante la determinación de su potencial zeta de las partículas (medida de las cargas que tienen los biopolímeros), permitiendo tener mejor referencia para una mejor combinación de las cargas opuestas (Asker, Weiss y McClements 2011).

La formación de estos complejos interpoliméricos pueden disociarse básicamente bajo condiciones de fuerzas iónicas (0.2 a 0.5) o cuando están por encima de su punto isoeléctrico del polipéptido, razón por lo cual, su aplicación en la industria viendo siendo empleado en productos alimenticios y fármacos capaces de liberar su contenido bajo condiciones gastrointestinal in vitro de humanos o animales. Además, de brindar protección frente a condiciones de procesamiento que comprende oxígeno, temperatura y luz (Galazka et al. 1999).

1.2.13. Oxidación lipídica

Sustancias lipídicas como ácidos grasos insaturados son componentes básicos y esenciales de una alimentación adecuada y sana, debido a su importante fuente de energía y beneficios sobre la salud. Sin embargo, su alto contenido de insaturados hace que sean blanco principal para una rápida oxidación, manifestando la producción de reacciones químicas potencialmente nocivas para la salud (Navarro, Bringas y Pacheco 2004).

La oxidación lipídica es una de las principales causas del deterioro en los de los alimentos, relacionados con los diversos cambios presentes en el procesamiento, distribución y almacenamiento de las mismas. La interacción de los ácidos grasos insaturados frente a condiciones adversas de luz, oxígeno y temperatura, genera la disminución de su calidad mediante la presencia de olores desagradables y colores intensos en la textura de los alimentos (Ozdemir y Floros 2004).

Las reacciones químicas producidas por la oxidación están comprendidas básicamente por tres fases de oxidación, tales como de iniciación (presencia de radicales libre), propagación (presencia de hidroperóxidos) y terminación (ausencia de radicales libre) (Choe y Min 2006).

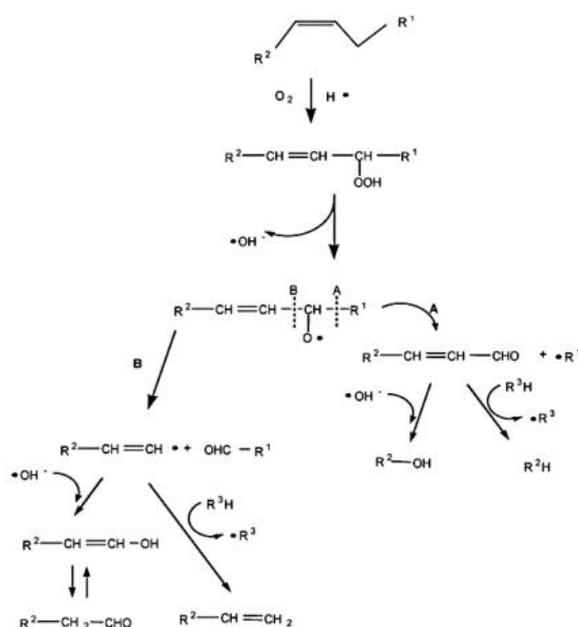


Figura 12: Mecanismo de reacción de la autoxidación en lípidos

Fuente: Choe y Min (2006).

La Figura 12, esquematiza el proceso de oxidación, dándose inicio a partir de la sustracción de un átomo de hidrogeno (alílico) de la cadena hidrocarbonada de los insaturados, formando un radical libre. Este proceso es debido a la presencia de altas temperaturas, humedad, iones metálicos y luz permanente (Aidos et al. 2002; Castillo 2007).

La formación de este nuevo radical libre promueve la producción de reacciones químicas que generan más radicales libre mediante la sustracción de hidrógenos en los dobles enlaces de los insaturados, dejando campo libre para el acoplamiento de oxígeno el cual dará lugar a la producción de compuestos primarios (peróxidos ROO*) (Fennema 2000). El proceso continua mediante la sustracción de nuevos átomos de hidrogeno de los ácidos grasos insaturados (RH) formando hidroperóxidos (ROOH) y más radicales libres (R*) que seguirá reaccionando con el oxígeno hasta alcanzar un producto no radical.

Finalmente, la producción de hidroperóxidos es interrumpido por una ruptura (polimerización) generando compuestos secundarios como aldehídos, cetonas, alcoholes, entre otros, hasta alcanzar su transformación en polímeros (Lewis-McCrea y Lall 2007).

El tiempo con que la oxidación cumple su trayecto de deterioro en los alimentos (grasas y aceites) está relacionado íntimamente con el grado de insaturaciones que tienen, iniciándose de manera lenta y constante hasta alcanzar su máximo nivel de hidroperoxidación hasta compuestos secundarios. Una vez alcanzado estos valores, los alimentos ya no están aptos para su consumo humano por ser alimentos de alto grado de peligrosidad (presencia de enfermedades cardiovasculares, cancerígenas etc. (Norveel 2012).

Frente a este contexto, la protección de estos alimentos compuestos por ácidos grasos insaturados es primordial, por lo que mecanismo de defensa como los antioxidantes es recomendables para su estabilización. Sin embargo, el desarrollo de nuevas tecnologías para proteger estos compuestos viene generando gran interés en la industria, siendo la encapsulación, una de las alternativas de mayor relevancia para su protección y estabilidad en el tiempo, debido a su fácil acceso, manipulación, distribución y bajos costos (gelificación iónica) para producirlos (Salcedo-Sandoval et al. 2015).

1.3. Definición de términos básicos

- Eficiencia de encapsulación: capacidad de un material encapsulante para atrapar sustancias sólidas, líquidas o gaseosas (Ramírez 2013).
- Interacción electrostática: fuerza eléctrica responsable de la atracción o repulsión de cargas eléctricas entre cuerpos formados por partículas (Rosselló 2006).
- pH: medida de la concentración de iones de hidrogeno en una solución que puede ser ácida o alcalina (Canela 2013).
- Adsorción: proceso por el cual átomos, moléculas o iones disueltos son atrapados o retenidos en una superficie (Kheireddin, Zhang y Akbulut 2013).
- Alimentos funcionales: sustancias que poseen efectos nutricionales además de acciones fisiológicas beneficiosos para el organismo (Fuentes-Berrio, Acevedo-Correa y Gelvez-Ordoñez 2015).
- Biodisponibilidad: velocidad y cantidad con la que una sustancia es absorbido en el organismo alcanzando su punto de acción (Fairweather-Tait 1987).
- Solubilidad: capacidad que posee una sustancia o soluto para disolverse en una cantidad de disolvente a una determinada temperatura (Kirk, Othmer y Abundis 1998).
- Metoxilación: capacidad de sintetizar esteres para formar geles (Pagan 1999).
- Radicales libres: sustancias químicas cargadas o no, que introducen oxígeno en las células, produciendo oxidación, alteración y cambios negativos en la salud (Venereo 2002).
- Oxidación: proceso de transformación de un cuerpo por acción de moléculas de oxígeno (West 1986).
- Estabilidad: capacidad de un cuerpo de permanecer inalterable en el tiempo (Pérez y Merino 2010).

CAPÍTULO II

HIPÓTESIS Y VARIABLES

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de hipótesis

El proceso de extracción de aceites de *Plukenetia volubilis L.* y *Mauritia flexuosa* por prensado en frío podría mantener las características fisicoquímicas de sus bioactivos. Las micropartículas producidas por gelificación iónica conteniendo los aceites, recubiertas con gelatina de piel de doncella tendrían propiedades de protección frente a la oxidación lipídica.

2.2. Variables y su operacionalización

Variable	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Categoría	Valores de las categorías	Medio de verificación
Extracción de los aceites Rendimiento	Cantidad de aceite extraído a partir de una matriz alimenticia.	Cuantitativa	g/100g	Intervalo	Alto Mediano Bajo	40 -100 20 - 40 0 - 20	Base de datos, Access.
Caracterización de los aceites							
Humedad	Cantidad de agua contenido en una sustancia líquida o sólida.	Cuantitativa	%	Intervalo	Máximo y Mínimo	0 – 100	Base de datos, Access.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de una sustancia líquida.		g/ml			0.92 - 0.93	
Refracción	Relación entre la velocidad de la luz en el vacío y una sustancia líquida.		-			1.47 - 1.48	
Índice de acidez	Cantidad de ácidos grasos libres presentes en una sustancia por efectos de hidrólisis.		%			1 – 2	
Índice de iodo	Cantidad de dobles enlaces presentes en una sustancia insaturada.		g/100g			183 – 189	
Índice de saponificación	Medida promedio del peso molecular de los ácidos grasos de una sustancia.		mg/100g			192 - 196	

Determinación de ácidos grasos de los aceites	Cantidad de sustancias lipídica, químicamente saturadas e insaturada.	Cuantitativa	g/100g	Intervalo	Alto Mediano Bajo	40 - 100 20 - 40 0 - 20	Base de datos, Access.
Caracterización de las micropartículas							
Tamaño medio	Medida promedio de micro o partículas sólidas.		µm		Grande Mediano Pequeño	160 - 250 80 - 160 1 - 80	
Humedad	Cantidad de agua contenido en una sustancia líquida o sólida.	Cuantitativa	%	Intervalo			Base de datos, Access.
Cenizas	Cantidad total de minerales presente en una sustancia.		%		Alto Mediano Bajo	100 - 80 50 - 80 30 - 50	
Proteína	Cantidad total de nitrógeno presente en una sustancia.		%				
Lípidos	Cantidad de materia grasa presente en una matriz alimenticia.		%				
Eficiencia de encapsulación de las micropartículas	Cantidad de bioactivo atrapado del total en biopolímeros naturales.	Cuantitativa	%	Intervalo	Alto Mediano Bajo	80 - 100 50 - 80 30 - 50	Base de datos, Access.
Estabilidad oxidativa de los aceites encapsulados							
Producción de peróxidos	Cantidad de sustancia oxidada por efecto de la temperatura, luz u oxígeno.	Cuantitativa	meq/kg	Ordinal	Máximo Mínimo	0 - 15	Base de datos, Access.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La extracción de los aceites se realizó en la empresa de Negocios Agroindustriales Loreto SAC (NALSAC). La caracterización de los aceites y producción de las micropartículas por gelificación iónica (GI) en el Laboratorio de Investigación de Control de Calidad de las instalaciones del Centro de Investigaciones de Recursos Naturales de la Amazonia (CIRNA) – UNAP, ubicado en el distrito de San Juan, provincia de Maynas, región Loreto.

Los materiales utilizados fueron; aceite extraído de semillas de *Plukenetia volubilis* L. (AcPlukenetia) accesión San Miguel de río Mayo, Provincia de Lamas-Departamento de San Martín y aceite de frutos de *Mauritia flexuosa* (AcMauritia) accesión Iquitos, Provincia de Maynas-Departamento de Loreto, como material de relleno. Gelatina de piel de doncella (Gpd) para recubrimiento, obtenido de acuerdo con la metodología de Bravo et al. (2018). Pectina cítrica (Pc) GENU® de bajo peso contenido de metoxilación amidada, lote SK33139, CP Kelco, Limeira, SP, Brasil). Cloruro de calcio anhidro (lote: K47498778, Merck Peruana S.A., Lima, Perú). Enzima pancreatina de páncreas de cerdos adquirido de Sigma-Aldrich (código: P7545-25G, lote SLBP9482V, actividad 8 x USP especificaciones), Ácido clorhídrico (lote: K476888817611, Merck Peruana S.A., Lima, Perú) y demás reactivos utilizados fueron de grado analítico.

Los equipos utilizados fueron; Balanza analítica (Marca: OHUS, modelo: AX324, Serie: b734566620). Agitador magnético con calentamiento (Marca: VELP Científica, Modelo: ARE, velocidad: 50-1500 Rpm, Temperatura hasta: 370°C, Italia). Potenciómetro pH y temperatura, (Marca: MILWAUKEE, Código: MW102-FOOD, Serie: F0042163, Usa). Bomba peristáltica (Marca: VELP, Modelo: SP311. Serie. F40200012, 12” 20-240ml/min, Italia). Atomizador de doble fluido (Marca: N, D). Equipo de Kjeldahl (Marca: GESSELLSEHA, Modelo: GLF, Código: 11993916, Germany). Tamiz (VWR, Modelo: TEST SIEVE Brass and Stainless Steel, Código: 7061974, Malla: 75µm, Alemania). Mufla (Marca: THEME LINE, Modelo: FB1510M, Código: 125080905881, Usa). Estufa (MM, Modelo: LSIS- B2V/CC111, Código: D122341, Germany). Microscopio óptico (Marca: ZEISS, Modelo: CARL ZEISS, Código: 3150001630, Germany). Espectrofotómetro UV-Visible (Marca: KERTLAB LABORATORY, Modelo: XC-2000, EE. UU), prensa hidráulica entre otros.

3.1. Tipo y diseño experimental

Para los experimentos fue aplicado un diseño completamente aleatorizado, donde el factor de estudio fue el tipo de aceite con dos niveles, siendo, un primer nivel AcPlukenetia y un segundo AcMauritia, en donde para la obtención y caracterización de los aceites las variables respuestas fueron; índice de acidez, peróxido, iodo, saponificación, perfil de ácidos grasos y porcentaje de humedad, y para la producción de micropartículas sin recubrimiento las variables respuestas fueron; porcentaje de humedad, ceniza, lípidos, eficiencia de encapsulación, morfología y tamaño medio de las micropartículas. La variación fue analizada mediante el test de comparación múltiple Tukey para observar diferencias significativas entre los promedios, a un nivel de significancia $P < 0.05$.

En una segunda instancia, las micropartículas fueron recubiertas con proteína proveniente de Gpd, asimismo, el diseño fue completamente aleatorizado con arreglo factorial de 2 x 3, donde el primer factor tuvo 2 niveles y el segundo factor 3 niveles, siendo el primer factor tipo de aceite (MPlukenetia y MPmauritia) y el segundo factor la concentración de proteína como material de recubrimiento (concentración de 2, 4 y 8%), asimismo, las variables respuestas estudiadas fueron; porcentaje de humedad, ceniza, lípidos, eficiencia de encapsulación, morfología y tamaño medio de las micropartículas, así como, la adsorción de proteína en la micropartículas, en la cual, se buscó el mejor tratamiento donde la mayor concentración de proteínas adheridas a las micropartículas serán nuestro mejor tratamiento. La variación fue analizada mediante el test de comparación múltiple Tukey para observar diferencias significativas entre los promedios, a un nivel de significancia $P < 0.05$.

Por último, una vez obtenido el mejor tratamiento de adsorción de proteína en las micropartículas, se estudió la estabilidad oxidativa de las micropartículas con y sin recubrimiento, en donde fue también analizado mediante un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de 2 x 3 x 3, teniendo como primer factor el tipo de micropartícula (con y sin recubrimiento), como también la influencia de temperaturas (45, 55 y 65 °C), asimismo, como el tiempo (1, 3 y 5 horas), teniendo como la única variable respuesta, la producción de peróxido, indicando el grado de oxidación de los aceites contenidos en las micropartículas al ser sometidos a dichas condiciones. La variación fue analizada mediante el

test de comparación múltiple Tukey para observar diferencias significativas entre los promedios, a un nivel de significancia $P < 0.05$.

3.2. Diseño muestral

Se tomará en cuenta los AcPlukenetia y AcMauritia extraídos por prensado en frío, las cuales serán evaluadas su calidad mediante la caracterización de sus componentes.

Para la encapsulación por GI se utilizó 2% (m/m) de Pc de bajo grado de metoxilación, 1.65% (m/m) de AcPlukenetia y AcMauritia, y para su recubrimiento proteico 2, 4 y 8% (m/m) de gelatina extraído de piel de Doncella.

Para la estabilidad oxidativa del AcPlukenetia y AcMauritia se monitoreo la producción de peróxidos a temperatura (45, 55 y 65°C) en intervalos definidos de tiempo (1, 3 y 5 horas).

3.3. Procedimiento de recolección de datos

3.3.1. Extracción de AcPlukenetia (Adaptado de NALSAC)

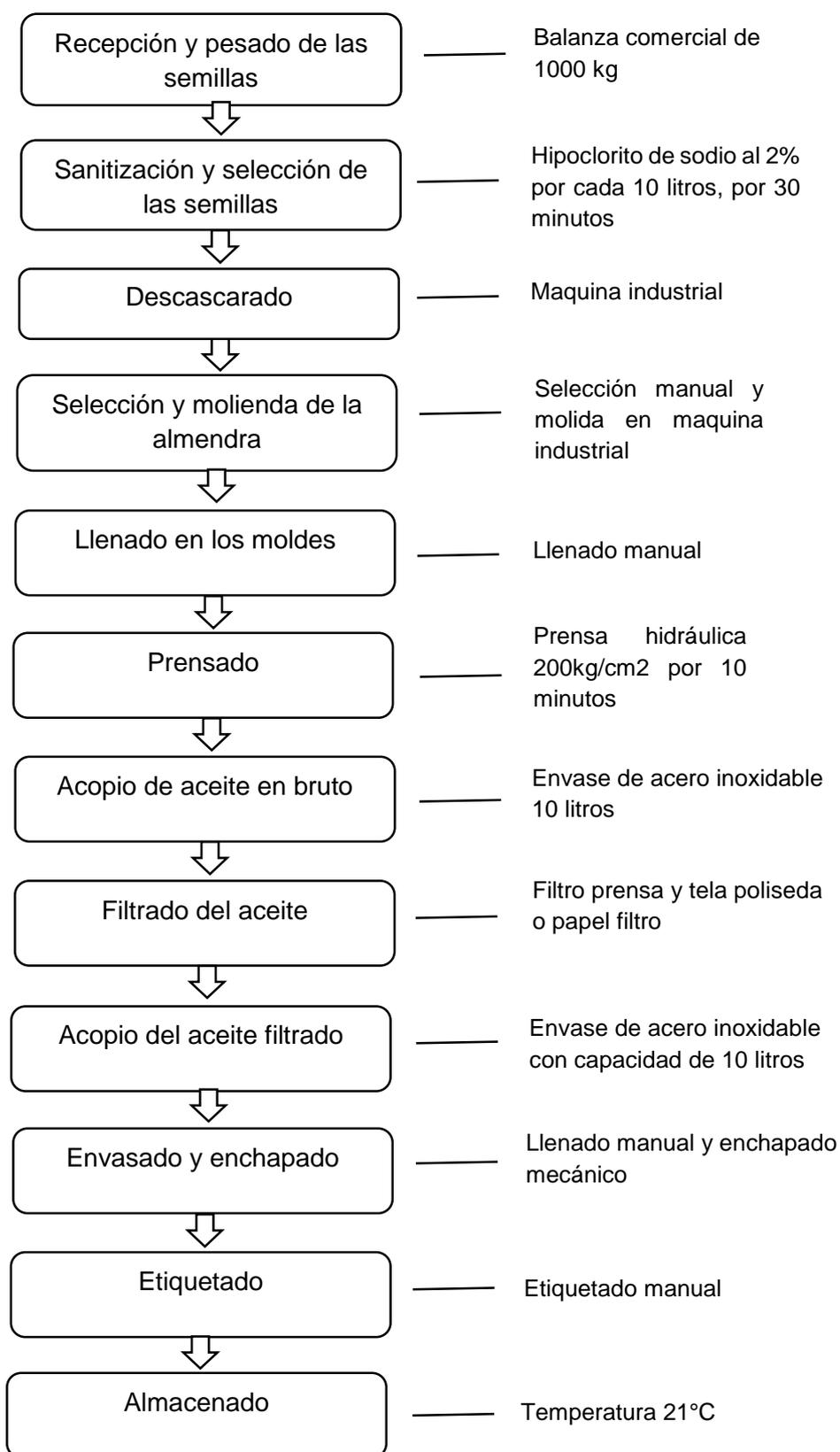


Figura 13: Flujograma de obtención de AcPlukenetia (Anexo 1).

1) Recepción y pesado

Fue recepcionado y pesado los sacos conteniendo las semillas de *Plukenetia volubilis* L. previa evaluación de su calidad física, bajo un criterio de humedad de 8 a 10%, para posteriormente ser almacenados hasta su proceso de extracción del aceite.

2) Sanitización y selección

La sanitización se llevó a cabo de acuerdo al requerimiento de semillas aptas para el proceso, utilizando hipoclorito de sodio al 2% y agua potable. Las semillas fueron sumergidas en dicha solución durante 30 minutos para ser posteriormente refregados con paños con la finalidad de separar impurezas y microorganismos. Seguidamente fueron enjuagados con agua potable y sometidos a secado natural (rayos solares) para alcanzar su porcentaje de humedad requerido.

3) Descascarado

El descascarado se llevó a cabo mediante una descascaradora mecánica industrial. Las semillas que no fueron descascarados mediante la maquina industrial se procedieron a realizarlo manualmente mediante un alicate de acero, obteniendo almendras aptas para el proceso de extracción.

4) Selección y molienda

Una vez obtenido la almendra de las semillas de *Plukenetia volubilis* L. se procedió a seleccionar de forma manual las almendras en óptimas condiciones para ser molidos mediante una maquina industrial, con la finalidad de convertir las almendras en partículas más pequeñas para una mejor extracción del aceite.

5) Llenado

El llenado de las almendras molidas se realizó de forma manual, mediante cucharones en 15 moldes de tela (circular con abertura en el centro), cada uno con 1kg de almendra molida, para posteriormente ser insertados en el vástago de la prensa hidráulica y proceder con la extracción.

6) Prensado

El prensado se realizó bajo parámetros de presión de 200Kg/cm² por un tiempo aproximado de 10 minutos.

7) Acopio del aceite en bruto

El aceite obtenido del prensado se acopio en un tanque de acero inoxidable con capacidad de 10L para luego ser enviado al filtrado (filtro prensa).

8) Filtrado del aceite

El filtrado se realizó mediante un filtro prensa. Mediante una bomba se succiono el aceite acopiado en el tanque de acero, siendo filtrado mediante telas insertadas en las plaquetas de acero inoxidable cuyas dimensiones fue de 20 x 20cm.

9) Acopio de aceite filtrado

Una vez filtrado el aceite se procedió a recepcionarlo en un tanque de acero con capacidad de 10L para ser envasado posteriormente.

10) Envasado y enchapado

El llenado del aceite se realizó mediante una dosificadora de acero inoxidable, mediante tubos sanitarios se procedió a llenar el aceite en botellas de vidrio color verde petróleo con capacidad de 250mL cada uno. Seguidamente se procedió a enchapar las botellas mediante una enchapadora mecánica.

11) Etiquetado

Una vez enchapado las botellas de vidrio fueron etiquetadas y encajonados en cajas de madera procedente de marupa.

12) Almacenado

Finalmente, el AcPlukenetia envasado, enchapado, etiquetado y encajonado, fueron almacenado en espacios cerrados con temperatura de 21°C para asegurar su estabilidad hasta su utilización.

3.3.2. Extracción de AcMauritia (Adaptado de NALSAC)

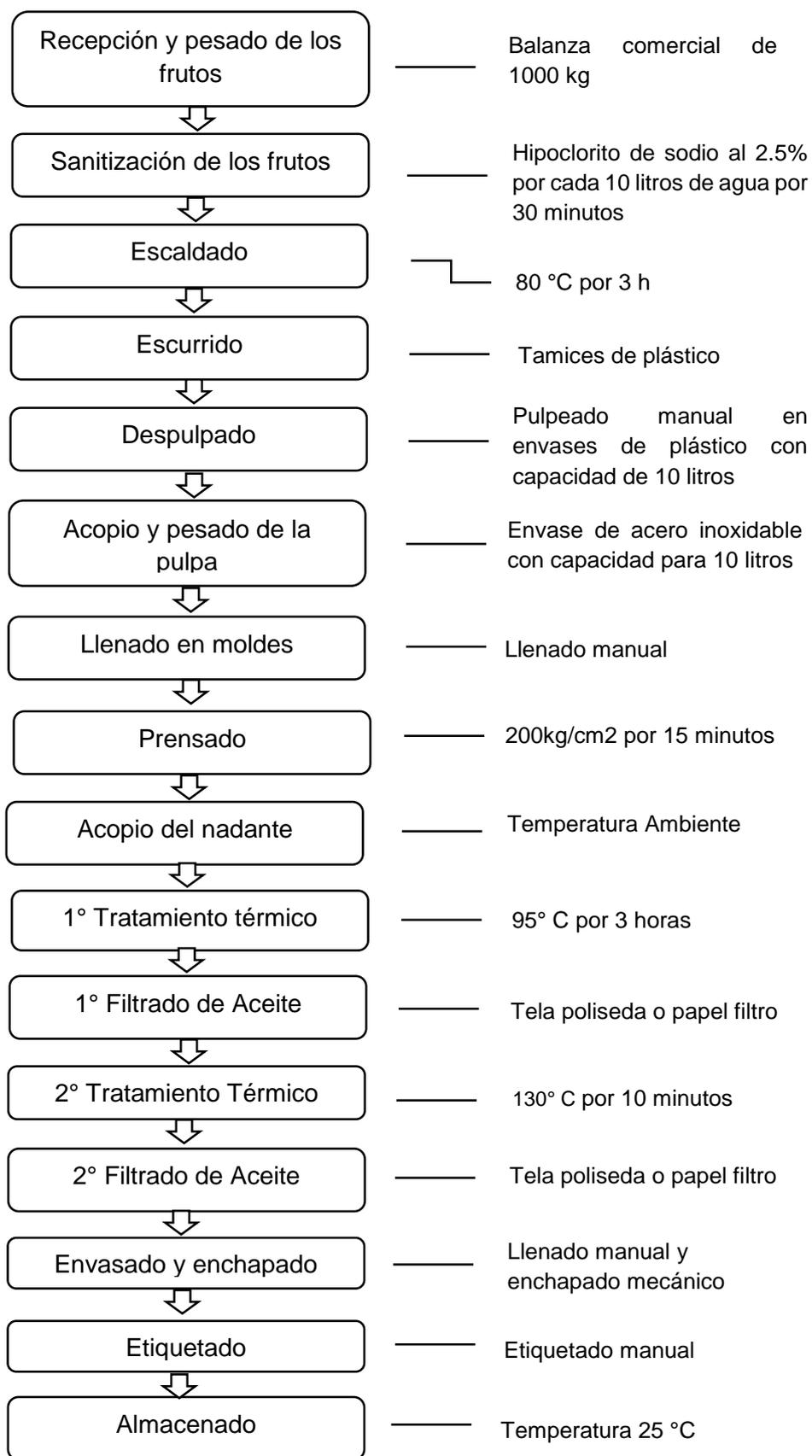


Figura 14: Flujograma de obtención de AcMauritia (Anexo 2).

1) Recepción y Pesado

Fue recepcionado y pesado los sacos conteniendo los frutos de *Mauritia flexuosa* previa evaluación de su calidad física con parámetros de 3 a 4 días de cosechado, sin picaduras y/o magulladuras que puedan reflejar su posible contaminación.

2) Sanitización

La sanitización se llevó a cabo de acuerdo al requerimiento de frutos aptos para el proceso, utilizando hipoclorito de sodio al 2.5% y agua potable. Los frutos fueron sumergidos en dicha solución durante 30 minutos para posteriormente ser enjuagados, zarandeados y escurridos, obteniendo frutos libres de impurezas.

3) Escaldado

Una vez sanitizados, los frutos de *Mauritia flexuosa* fueron sumergidos en un envase de plástico conteniendo agua tibia a 80°C por 3 horas aproximadamente, para ablandar a un 98% la estructura de los frutos y poder tener una mejor extracción de aceite.

4) Escurrido

Una vez ablandado, se procedió a escurrir el agua de los frutos mediante tamices de plástico para ser posteriormente colocados en un recipiente de acero inoxidable y estar disponible para su despulpado.

5) Despulpado

El despulpado se realizó de forma manual mediante el uso de un mazo de madera, separando la masa (pulpa húmeda y cascara) de las semillas y bagazo.

6) Acopio y pesado

Una vez obtenido la masa de los frutos (pulpa húmeda y cascara) se procedió a colocar en recipiente de acero inoxidable para posteriormente ser pesado la cantidad de masa obtenido.

7) Llenado

El llenado de la masa se realizó de forma manual y uniforme en 15 moldes de tela cada uno con 500g de masa, dejando libre la superficie para evitar el desparramamiento de la masa al momento de ejercer la presión.

8) Prensado

El prensado se realizó bajo parámetros de presión de 200Kg/cm² por un tiempo aproximado de 15 minutos.

9) Acopio del nadante

El acopio del nadante (agua y aceite) obtenido de la pulpa de los frutos se realizó en envases de acero inoxidable, dejando reposar por un tiempo determinado hasta observar una separación de fases. Seguidamente con la ayuda de una manguera de plástico se procedió a extraer el aceite del nadante, para posteriormente ser pesado y tratado térmicamente hasta obtener el aceite no purificado.

10) Primer tratamiento térmico

El primer tratamiento térmico del nadante se realizó a 95°C por un tiempo aproximado de 3 horas, con la finalidad de eliminar el agua e iniciar la conversión de nadante (agua y aceite crudo) a aceite no purificada.

11) Primer filtrado

Después de realizado el primer tratamiento térmico, se procedió a filtrar el aceite caliente mediante una tela filtrante tipo poliseda.

12) Segundo tratamiento térmico

El segundo tratamiento térmico del AcMauritia se realizó a una temperatura de 130°C por 10 minutos, con la finalidad que se continúe la eliminación de agua y así poder obtener aceite puro no refinado.

13) Segundo filtrado

Para obtener un aceite purificado fue realizado un segundo filtrado con papel filtrante de 80g, por un tiempo de 12 horas, siendo recepcionado en un recipiente de acero inoxidable para posteriormente ser envasado.

14) Envasado y enchapado

El llenado del aceite se realizó mediante una dosificadora de acero inoxidable, mediante tubos sanitarios se procedió a llenar el aceite en botellas de vidrio color ámbar con capacidad de 250mL cada uno. Seguidamente se procedió a enchapar las botellas mediante una enchapadora mecánica.

15) Etiquetado

Una vez enchapado las botellas de vidrio fueron etiquetadas y encajonados en cajas de madera procedente de la marupa.

16) Almacenado

Finalmente, el AcMauritia envasado, enchapado, etiquetado y encajonado fue almacenado en espacios cerrados con temperatura de 25°C para asegurar su estabilidad hasta su utilización.

3.3.3. Análisis fisicoquímico de los aceites

3.3.3.1. Determinación de la densidad

La densidad fue realizada de acuerdo a la metodología AOCS Cc 10c-95 (2002), utilizando un densímetro el cual fue introducida en el recipiente conteniendo el aceite. La lectura se expresó en gramos/mililitro (ISO 6883:2000).

3.3.3.2. Determinación del índice de refracción

Fue realizado de acuerdo a la metodología AOCS Cc 7-25 (2002), mediante un refractómetro tipo ABBÉ con aproximación hasta la cuarta cifra decimal, a una temperatura de 20°C.

3.3.3.3. Determinación del índice de acidez

Fue realizado de acuerdo a la metodología AOCS Cd 3d-63 (2002), se pesó 5g de muestra en un matraz Erlenmeyer de 250mL y se añadió 50mL de alcohol neutralizado, posteriormente se adicionó 3 gotas de indicador de fenolftaleína al 1% y se tituló con NaOH 0.1N hasta obtener una coloración rosa pálido. Fue corrido un blanco usando las mismas cantidades y reactivos correspondiente.

$$\% \text{ A. G. L} = \frac{G \times N \times 28.2}{P. M. (g)}$$

Dónde:

G: Volumen de NaOH 0.1N utilizado para titular la muestra

N: Normalidad de hidróxido de sodio

P.M.: Peso de la muestra

3.3.3.4. Determinación del índice de iodo

La determinación del índice de iodo fue realizada de acuerdo a la metodología AOCS Cd 1-25 (2002), se pesó 0.1g de muestra para disolver en 20mL de tetracloruro de carbono, luego se agregó 25mL del reactivo de Wijs, dejando reposar la solución en ambiente oscuro por 30 minutos. Posteriormente fue adicionado 20mL de solución de KI al 15% y 100mL de agua destilada, se agito y se procedió a titular con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1N. Se adiciono almidón como indicador para continuar la titulación hasta que el color azul desaparezca. Fue corrido un blanco usando las mismas cantidades y reactivos correspondiente.

$$\text{I.I (g de I/100 g muestra)} = \frac{(S - M) N \times 12.69}{\text{P. M. (g)}}$$

Donde:

S: Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1N utilizado para titular el blanco

M: Volumen de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0.1N utilizado para titular la muestra

P.M.: Peso de la muestra

3.3.3.5. Determinación del índice de saponificación

La determinación del índice de saponificación fue realizada de acuerdo a la metodología AOCS Cd 3-25 (2002), se pesó 5g de muestra en un Erlenmeyer de 250mL. Posteriormente fue adicionado 25mL de la solución de KOH. Mediante un condensador se hirvió la muestra hasta que quede completamente saponificada (aproximadamente 30 minutos). Se dejó enfriar y se tituló con HCl 0.5N, Usando 1mL de fenolftaleína al 1% como indicador. Fue corrido un blanco usando las mismas cantidades y reactivos correspondiente.

$$\text{I. S. (mg KOH / g muestra)} = \frac{(S - M) N \times 56.1}{\text{P. M. (g)}}$$

Dónde:

S: Volumen de HCl 0.5N utilizado para titular el blanco

M: Volumen de HCl 0.5N utilizado para titular la muestra

P.M.: Peso de la muestra

3.3.3.6. Determinación de humedad

La determinación de la humedad fue realizada de acuerdo a la metodología AOCS Ca 2b-38 (2002), se pesó 5g de muestra en placas Petri y se llevó a la estufa a 105°C por 5 horas. Posteriormente, fue retirada las placas Petri de la estufa para dejar enfriar en desecador antes de anotar su peso final.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso placa + muestra húmeda (g)} - \text{Peso placa + materia seca (g)}}{\text{Peso muestra húmeda (g)}} \times 100$$

3.3.3.7. Composición de ácidos grasos

Para la determinación de la composición de ácidos grasos fue realizado en cromatografía de gas, según la metodología de Hartman y Lago (1973). Los ésteres metílicos de los ácidos grasos fue separados de acuerdo con el procedimiento de la AOCS Ce 1f96 (2002), en columna capilar DB-23 Agilent (50% cyanopropyl – 1 metilpolysiloxan, Santa Clara, CA, USA) de dimensiones 60 m x 0.25 mm diámetro interno x 0.25 mm filme.

3.3.4. Caracterización de biopolímeros

Los biopolímeros fueron caracterizados por triplicado en relación al contenido total de proteína, humedad y ceniza de acuerdo a la metodología de la (AOCS 2002), y lípidos según Bligh y Dyer (1959).

3.3.5. Producción de micropartículas por gelificación iónica

Para la producción de micropartículas fue preparado emulsiones de pectina (2.0% m/m) conteniendo AcPlukenetia y AcMauritia (1.65% m/m) a temperatura ambiente, utilizando un homogeneizador Ultra Turrax a 18000 rpm por 5 minutos. Seguidamente, las emulsiones fueron atomizadas sobre una solución de cloruro de calcio (2.0% m/m) ajustado a pH 4.0, utilizando un atomizador de doble fluido (Anexo 3) con orificio de 1.0mm de diámetro a 12cm de distancia entre ellas, con presión de aire de 0.6 kgf/cm² y velocidad de atomización de 80mL/minuto, a temperatura ambiente. Las micropartículas atomizadas permanecieron en agitación por un tiempo de 30 minutos, para posteriormente ser lavadas en tamiz de malla de acero (Φ 75 μ m) con agua destilada con ajuste de pH equivalente a 4.0. Este proceso fue realizado por triplicado.

3.3.6. Recubrimiento de micropartículas con gelatina de piel de doncella

El recubrimiento de las micropartículas húmedas obtenidas en el ítem 3.3.5. fue realizado adicionando 50g de micropartículas en 200mL de solución acuosa de proteína (Gpd) ajustado a pH 4.0, utilizando concentraciones de 2,4 y 8% (m/m). Las micropartículas se mantuvieron en soluciones proteicas durante 30 minutos bajo agitación constante (400rpm) a 45°C, para posteriormente ser lavadas con agua destilada ajustada a pH 4.0 en tamices de mallas de acero (Φ 75 μ m), con la finalidad de remover la proteína no adsorbida en las superficies de las micropartículas. Este proceso fue realizado por triplicado.

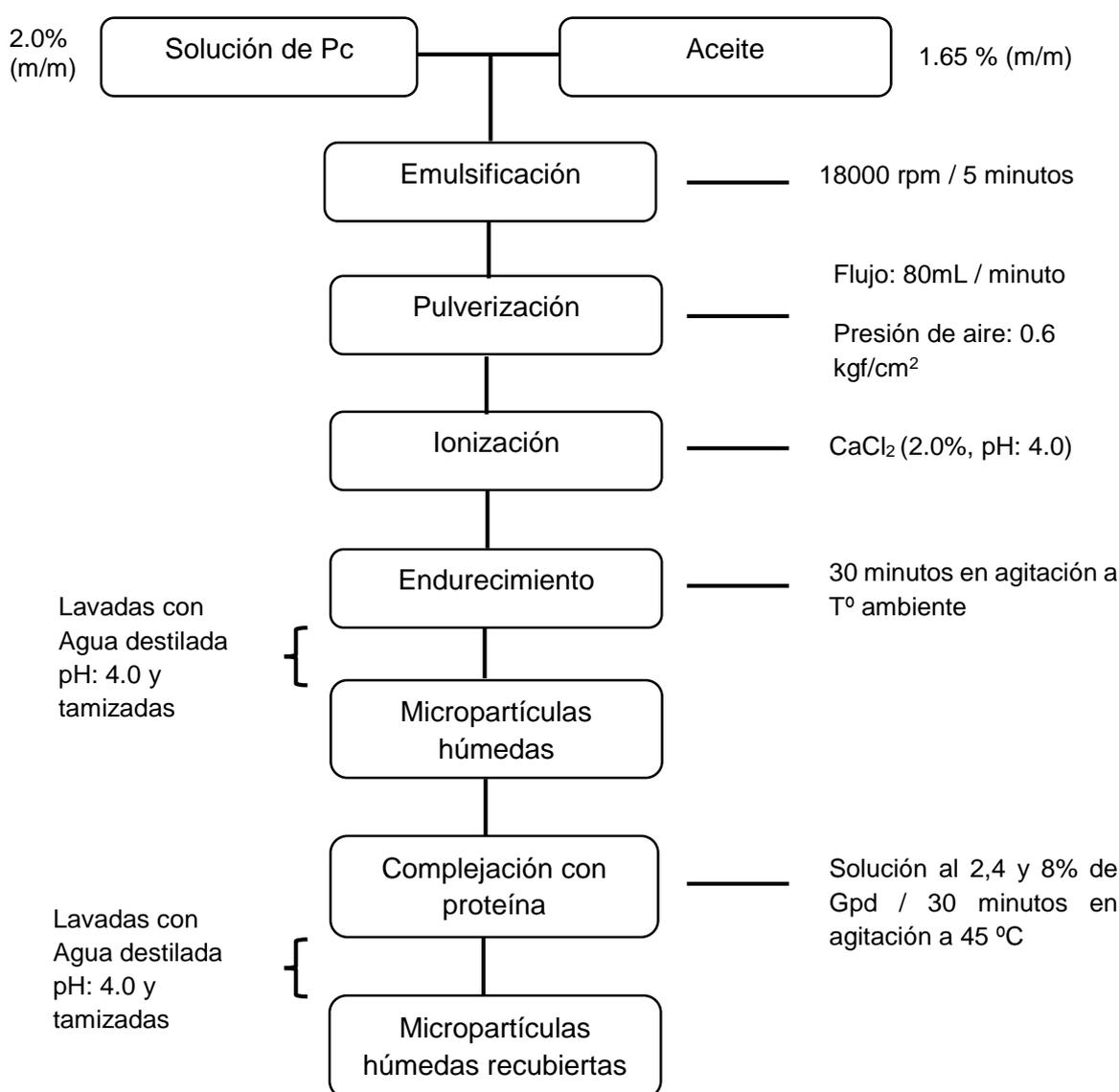


Figura 15: Flujograma de obtención micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico de gelatina de piel de doncella (Anexo 3).

3.3.7. Caracterización de micropartículas con y sin recubrimiento proteico

3.3.7.1. Determinación de humedad

Ídem ítem 3.3.3.6.

3.3.7.2. Determinación de ceniza

Fue realizado de acuerdo a la metodología AOCS Ca 5a-40 (2002), se pesó 5g de muestra en un crisol de porcelana limpio y seco previamente pesado. Posteriormente fue llevado los crisoles a la mufla a 550°C por un tiempo de 6 horas. Fue retirado los crisoles y enfriado en desecador y se procedió anotar el peso final.

$$\% \text{ ceniza} = \frac{\text{Peso crisol con residuo (g)} - \text{Peso crisol vacío(g)}}{\text{Peso muestra húmeda(g)}} \times 100$$

3.3.7.3. Determinación de lípidos

Se realizó de acuerdo con la metodología de Bligh y Dyer (1959), se pesó 5g de muestra en un tubo de vidrio con capacidad 70mL. Se adicionado citrato de sodio al 3% para liberar el aceite de la matriz. Seguidamente se adiciono 10mL de cloroformo y 20mL de metanol, siendo agitado por 30 minutos para solubilizar de manera homogénea la muestra. Posteriormente, se adicionado 10mL de cloroformo y 10mL de sulfato de sodio al 1.5%, agitándolo vigorosamente por 2 min. Los tubos conteniendo la solución y muestra se centrifugo a 1000 rpm por 2 minutos para formar la separación de fases (metanólica – clorofórmica). Se extrajo la fase metanólica quedando la clorofórmica que será filtrada en tubo de 30mL para finalmente con la ayuda de una pipeta volumétrica, medir 5mL de solución que fue depositado en Becker de 10mL previamente secado. Se dejó volatizar el solvente en estufa a 100°C por 1 hora y se pesó los Becker previo enfriado en desecador.

$$\% \text{ lípidos totales} = \frac{\text{P. L (g)} \times 4 \times 100}{\text{P. M. (g)}}$$

P.L.: Peso de lípidos

P.M.: Peso de la muestra

3.3.7.4. Eficiencia de encapsulación

Para la determinación del aceite contenido en las micropartículas fue realizado de acuerdo con la siguiente metodología. Fue añadido una solución acuosa de citrato de sodio en la concentración de 3% (m/m) a 5g de muestra húmedas, para la liberación del aceite. Después de esa etapa, la cuantificación del aceite fue hecha según la metodología de Bligh y Dyer (1959). La eficiencia de encapsulación fue determinada por la relación:

$$EE(\%) = \frac{\text{Aceite en micropartículas (g)/sólidos totales(g)}}{\text{Aceite inicial (g)/sólidos totales(g)}} \times 100$$

3.3.7.5. Determinación de proteína

El contenido de proteína fue determinado de acuerdo con la metodología AOCS Ac 4-91 (2002), se pesó 0.25g de muestra en un balón de digestión. Adicionando 7mL de ácido sulfúrico concentrado, 0.125g de sulfato de cobre y 2.5g de sulfato de sodio, el balón fue colocado en el digestor hasta la aparición de una coloración azul verdoso transparente. Posteriormente, el balón fue enfriado a temperatura ambiente, añadiendo 70mL de agua destilada e hidróxido de sodio al 33%. Seguidamente se procedió a destilar la solución recepcionando el contenido nitrogenado (50mL) en un matraz Erlenmeyer y que mediante la adición de 7mL de ácido bórico y gotas de azul de metileno como indicador se procedió a titular con una solución de H₂SO₄ 0.025N, obteniendo el porcentaje de nitrógeno que mediante un factor de conversión se tendrá el porcentaje de proteína.

$$\% \text{ Nitrogeno} = \frac{V \times N \times \text{factor}}{P.M. (g)} \times 100$$

V = Volumen de H₂SO₄ utilizado para titular la muestra

N = Normalidad del H₂SO₄

P.M. = Peso de la muestra

Factor N₂= 0.014

El porcentaje de proteína se calculó:

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrogeno} \times 5.55$$

3.3.7.6. Morfología y tamaño medio

La morfología y determinación del tamaño medio fue realizada por microscopía óptica (MO), utilizando microscopio óptico (ZEISS – Primo Start) con captación de imágenes a través de una cámara digital incorporada que a su vez es controlada por un software ZEN 2.3. (blue edition). Fue digitalizada 300 fotografías de las micropartículas húmedas, procesadas con el programa Microcal Origin pro 9.1 (Microcal Software, Inc., MA, USA).

3.3.8. Evaluación de la estabilidad oxidativa

La estabilidad oxidativa de AcPlukenetia y AcMauritia encapsulados con y sin recubrimiento proteico fue evaluada mediante la determinación de índice de peróxidos, a través de su sometimiento a temperaturas de 45, 55 y 65°C durante 1, 3 y 5 horas. La evaluación comprendió las siguientes etapas; extracción de los aceites a partir de 5g de muestra húmeda adicionando citrato de sodio al 3%. Para las micropartículas recubiertas con proteína (Gpd) se utilizó 2.5g de micropartículas húmedas, siendo adicionado enzima pancreatina y citrato de sodio al 3% para su pronta liberación del aceite a evaluar.

Posteriormente, el medio de extracción que contiene el aceite fue obtenido mediante la metodología de Bligh y Dyer (1959). Las extracciones fueron realizadas en tres repeticiones por cada muestra. La determinación del valor del índice de peróxidos fue realizada espectrofotométricamente de acuerdo con el método padrón IDF 74^a:1991. 0.01g de aceite fue pesado y diluido en 4mL de la mezcla de cloroformo/metanol (7:3, v: v). Luego una alícuota de 200µL fue retirada para reacción. Para el caso de las micropartículas, una alícuota de 200µL del medio de extracción, descrito encima, fue adicionada 9.6mL de una mezcla de cloroformo/metanol 7:3, v/v. para la formación del color, fueron adicionados 50µL de solución de sulfato de Fe² y 50µL de tiocianato de amonio 3.9M. La muestra fue agitada, mantenida en reposo, protegido de la luz por 5 minutos y entonces medido la absorbancia a 500nm, en espectrofotómetro. Las medidas fueron por triplicado. La cantidad de peróxidos fue determinada utilizando una curva padrón de Fe³⁺, con concentraciones variando de 1 a 50µg de acuerdo con Shantha y Decker (1994).

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Para la determinación de los efectos de las variables independientes sobre las variables dependientes en estudio, fue utilizado el Análisis de la Varianza (ANOVA), para las diferencias estadísticas significativas a un nivel $\alpha=0.05$, fue aplicado el Test Tukey, utilizando el programa SAS versión 9,0 (SAS Institute Inc., Cary Carolina de Norte, EUA) para los atributos que mostraran diferencias significativas.

3.5. Aspectos éticos

La información recolectada y generada en el presente proyecto de investigación se obtuvo estrictamente a partir de fuentes confiables científicas, siendo procesados de manera responsable, seria y honesta con el objetivo de salvaguardar la integridad y confiabilidad de la misma.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Extracción de los aceites

La extracción de aceites de las matrices alimenticias (semillas de *Plukenetia volubilis L.* y pulpa de *Mauritia flexuosa*) permitió obtener aceites crudos de alta calidad. Los resultados destacados de la cantidad de aceite crudo en porcentaje de rendimiento extraído son mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5: Rendimiento de extracción de aceite de semillas *Plukenetia volubilis L.* (20.00kg) y frutos de *Mauritia flexuosa* (162.00kg).

	<i>Plukenetia volubilis L.</i>	<i>Mauritia flexuosa</i>
% Rendimiento	19.82 ± 0.01 ^a	7.04 ± 0.00 ^b

Promedio ± desviación padrón (n=3). Letras diferentes en minúscula en la misma fila muestran diferencias significativas ($P < 0.05$) por el test de Tukey.

4.2. Caracterización de los aceites

Los aceites obtenidos de *Plukenetia volubilis L.* (AcPlukenetia) y *Mauritia flexuosa* (AcMauritia) fueron caracterizados de acuerdo a la metodología AOCS (2002), con la finalidad de determinar las características de calidad y vida útil de los aceites. En relación a los parámetros estudiados los resultados son mostrados en la Tabla 6 y 7.

Tabla 6: Caracterización fisicoquímica del AcPlukenetia y AcMauritia

Parámetros	<i>Plukenetia volubilis L.</i>	<i>Mauritia flexuosa</i>
Humedad (%)	0.06 ± 0.01	0.05 ± 0.01
Índice de acidez (% de ácido oleico)	0.17 ± 0.02	0.18 ± 0.02
Índice de peróxido (meq O ₂ /kg de aceite)	3.96 ± 0.10	0.78 ± 0.15
Índice de refracción (20°)	1.48 ± 0.01	1.46 ± 0.01
Índice de iodo (g I/100g de aceite)	191.19 ± 0.06	70.95 ± 0.09
Índice de saponificación (mg KOH/g)	202.55 ± 0.72	192.75 ± 0.57
Densidad (g/mL)	0.92 ± 0.01	0.91 ± 0.01

Promedio ± desvío padrón (n=3).

Tabla 7: Composición de ácidos grasos del AcPlukenetia y AcMauritia

Aceite	Ácidos grasos (%)				
	Palmítico	Estéarico	Oleico	Linoleico	Linolénico
<i>Plukenetia volubilis</i> L.	4.06	3.20	9.09	37.03	44.67
<i>Mauritia flexuosa</i>	19.01	2.01	76.10	1.26	0.96

Promedio \pm desvío padrón (n=3).

4.3. Caracterización de los biopolímeros

Los biopolímeros utilizados en el presente estudio fueron; pectina (Pc) y gelatina de piel de doncella (Gpd), este último debido a que la gelatina no es constituida totalmente de proteína, la determinación del contenido proteico se torna necesaria para la adecuación del valor de proteína en las soluciones, los resultados son mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8: Composición centesimal de biopolímeros para interacción electrostática

Producto	Composición centesimal (%)			
	Humedad	Proteína	Lípido	Ceniza
Gpd	12.10 \pm 0.60	87.25 \pm 1.65	0.22 \pm 0.2	0.31 \pm 0.00
Pc	10.25 \pm 0.75	1.08 \pm 0.07(*)	-----	2.96 \pm 0.04

Promedio \pm desvío padrón (n=3); (*) Valor de nitrógeno no proteico.

4.4. Producción de micropartículas por gelificación iónica

Las micropartículas fueron producidas por GI considerando condiciones de procesamiento previamente evaluados en trabajo anterior (Tello et al. 2015). Estas condiciones fueron escogidas con la finalidad de producir MPLukenetia y MPmauritia, obteniéndose diferencias en las micropartículas por su intensa coloración.

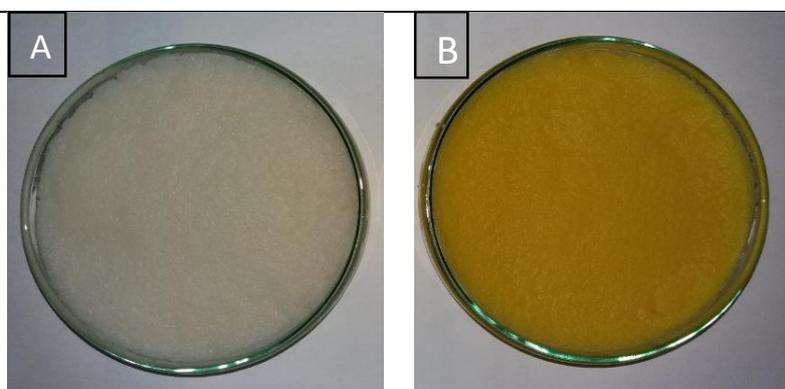


Figura 16: Micropartículas de Pc producidas por GI. A) MPLukenetia, B) MPmauritia.

4.5. Caracterización de micropartículas obtenidas por gelificación iónica

Fue realizado la caracterización de MPLukenetia y MPmauritía obtenidas por GI, con el objetivo de obtener la composición de las micropartículas previo recubrimiento proteico. Los resultados son mostrados en la tabla 9.

Tabla 9: Caracterización de micropartículas producida por gelificación iónica

Micropartículas	Humedad (%)	Ceniza (%)	Lípidos (%)	EE (%)
MPLukenetia	94.31 ± 0.10	0.23 ± 0.00	35.40 ± 1.72	78.32 ± 1.06
MPmauritía	94.50 ± 0.18	0.24 ± 0.00	37.31 ± 0.68	82.54 ± 0.92

Promedio ± desvío padrón (n=3); EE= Eficiencia de encapsulación.

4.5.1. Morfología y tamaño medio de micropartículas por gelificación iónica

El tamaño medio de las micropartículas fue determinado con la finalidad de tener una medida control, previo recubrimiento con proteína de Gpd.

Tabla 10: Tamaño medio de micropartículas obtenidas por gelificación iónica

	MPLukenetia	MPmauritía
Tamaño medio (µm)	193.87 ± 16.16	195.41 ± 18.25

Promedio ± desvío padrón (n=3).

La Figura 17 muestra la morfología de las micropartículas húmedas sin recubrimiento conteniendo AcPLukenetia y AcMauritia. Las imágenes muestran que el método por GI es adecuado para la producción de micropartículas con biopolímeros de Pc con forma esférica.

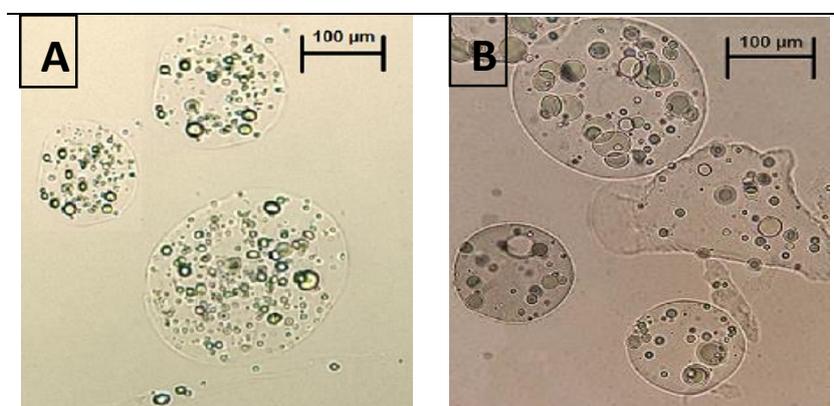


Figura 17: Imágenes obtenidas por MO. A) MPLukenetia; B) MPmauritía. Barra MO = 100 µm. Objetivo: 10x

4.6. Recubrimiento y caracterización de micropartículas de pectina con gelatina de piel de doncella, por interacción electrostática

4.6.1. Contenido de materia seca y adsorción de proteína

Las cantidades de materia seca y proteína adsorbida en micropartículas por IE se muestran en la Tabla 11. Altas cantidades de proteína fueron adsorbidas a medida que el contenido de proteína en solución aumentó.

Tabla 11: Contenido de materia seca y proteína adsorbida de micropartículas de pectina, recubiertas con gelatina de piel de doncella

Proteína en solución (%)	MPmauritia		MPlukenetia	
	Materia seca (%)	Proteína adsorbida (%)	Materia seca (%)	Proteína adsorbida (%)
2	17.32 ± 0.09 ^c	63.61 ± 1.33 ^b	16.45 ± 0.10 ^b	64.80 ± 0.37 ^b
4	20.16 ± 0.10 ^a	65.43 ± 0.96 ^b	20.03 ± 0.13 ^a	68.40 ± 0.91 ^a
8	19.25 ± 0.13 ^b	71.11 ± 0.74 ^a	19.61 ± 0.32 ^a	69.66 ± 0.52 ^a

Promedio ± desvío padrón (n=3). Nota: Letras diferentes en la misma columna indican diferencia entre los tratamientos ($P < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

4.6.2. Contenido de lípidos en las micropartículas con recubrimiento proteico

La Tabla 12 muestra el contenido de lípidos en micropartículas de Pc, después del recubrimiento con Gpd conteniendo AcPlukenetia y AcMauritia cuando fueron utilizados concentraciones de 2, 4 y 8% de gelatina en solución.

Tabla 12: Contenido de lípidos de micropartículas de pectina, recubiertas con gelatina de piel de doncella

Proteína en solución (%)	MPmauritia	MPlukenetia
	Lípidos (%)	Lípidos (%)
2	17.59 ± 0.73 ^a	17.07 ± 1.66 ^a
4	18.25 ± 0.89 ^a	17.52 ± 1.01 ^a
8	18.19 ± 0.35 ^a	17.89 ± 0.26 ^a

Promedio ± desvío padrón (n=3). Nota: Letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencia estadística entre los tratamientos ($P > 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey.

4.6.3. Morfología y tamaño medio de micropartículas con recubrimiento proteico

Los tamaños medios de las micropartículas de Pc recubiertas con gelatina fueron determinados por microscopía óptica (MO), mostrando disminución del tamaño de las micropartículas cuando mayor fue la concentración de proteína en solución. Los tamaños son presentados en la Tabla 13.

Tabla 13: Tamaño medio de micropartículas de pectina producidas por gelificación iónica, recubiertas con diferentes concentraciones de gelatina de piel de doncella.

Proteína en solución (%)	MPmauritía	MPlukenetia
	Tamaño medio con recubrimiento (μm)	Tamaño medio con recubrimiento (μm)
2	135.97 \pm 29.02	131.91 \pm 25.40
4	126.87 \pm 16.24	117.63 \pm 18.20
8	124.34 \pm 18.71	116.96 \pm 18.74

Promedio \pm desvío padrón (n=3).

La morfología permite evaluar las micropartículas producidas por GI, revelando la formación de una matriz multinucleada, con gotas de aceite distribuidas en la extensión de las micropartículas. Las morfologías son mostradas en la figura 18.

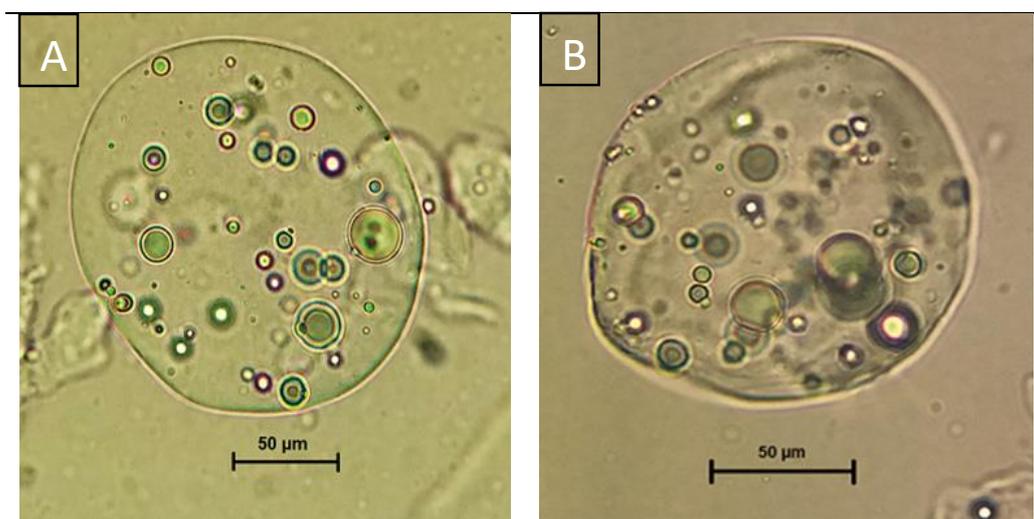


Figura 18: Imágenes obtenidas por MO. A) MPlukenetia recubiertas con Gpd. B) MPmauritía recubierta con Gpd. Barra MO = 50 μm . Objetivo: 40x

4.7. Evaluación de la estabilidad oxidativa de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico sometidos a efectos de la temperatura

La estabilidad oxidativa de los AcPlukenetia y AcMauritia contenidos en micropartículas producidas por GI con y sin recubrimiento proteico frente a la oxidación, fue evaluada por la medida del índice de peróxidos en experimentos acelerados, durante 5 horas a 45, 55 y 65°C, de acuerdo con la metodología descrita en el ítem 3.3.8.

Fue construida una curva estándar utilizando diluciones de 1 a 50µm de Fe³⁺ de acuerdo con la metodología de IDF 74^a:1991. El coeficiente de correlación (R²) para la curva obtenida fue de 0.9964, indicando que la curva explica 99.94% de la variación de datos observados.

4.7.1. Evaluación de la estabilidad oxidativa de AcPlukenetia encapsulado en micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico

Las variaciones el índice de peróxidos de AcPlukenetia contenidos en micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico con gelatina de piel de doncella, son mostrados en la Figura 19.

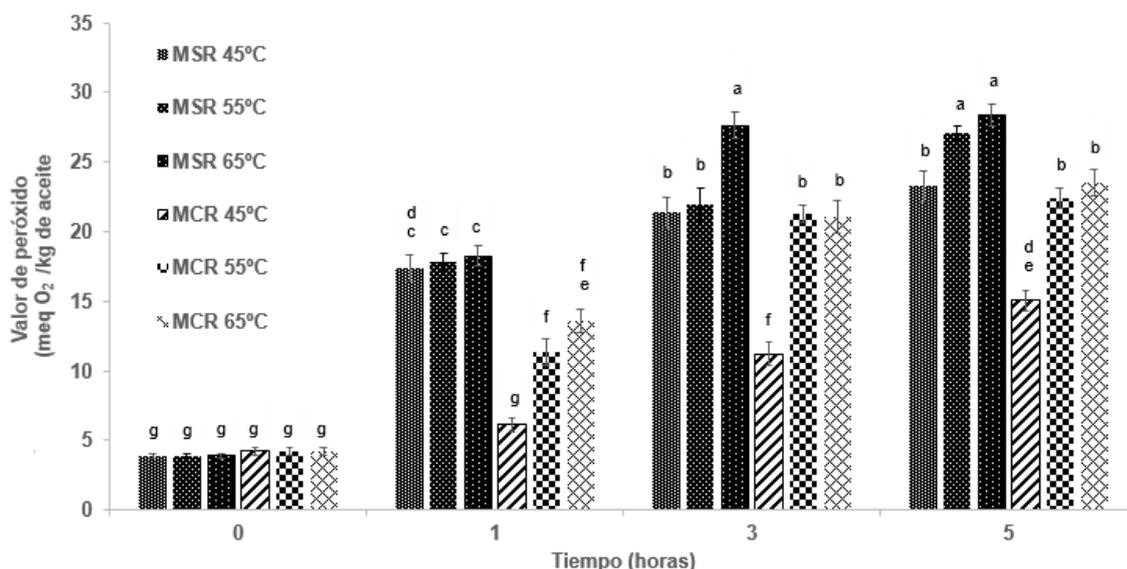


Figura 19: Variaciones en el índice de peróxidos de AcPlukenetia en micropartículas con y sin recubrimiento proteico evaluados durante 0, 1, 3 y 5 horas, a 45, 55 y 65°C.

Los resultados muestran que MPlukenetia recubiertas con proteína (Gpd) tienen un índice de peróxido ligeramente más bajo que los sin recubrir, encontrándose diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre 45 y 65°C.

4.7.2. Evaluación de estabilidad oxidativa de AcMauritia encapsulado en micropartículas de pectina con y sin recubrimiento proteico

Las variaciones el índice de peróxidos de AcMauritia contenido en micropartículas de Pc con y sin recubrimiento proteico con Gpd son mostrados en la Figura 20.

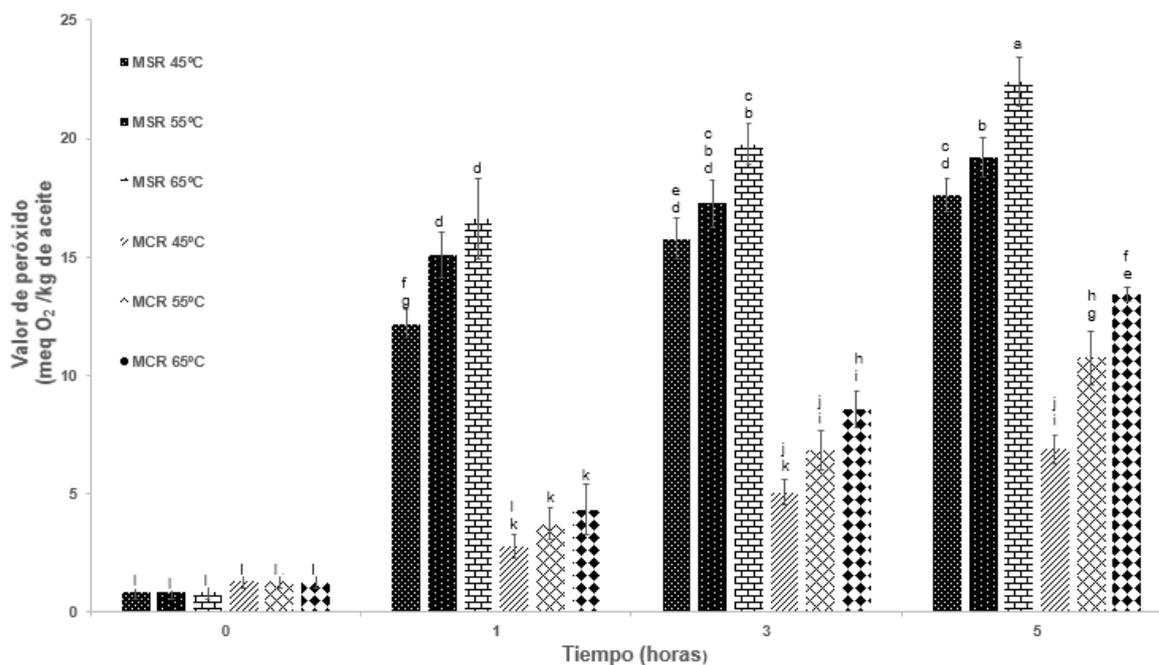


Figura 20: Variaciones en el índice de peróxidos de AcMauritia en micropartículas con y sin recubrimiento proteico evaluados durante 0, 1, 3 y 5 horas, a 45, 55 y 65°C

Los resultados muestran que MPmauritia recubiertas con proteína (Gpd) tienen un índice de peróxido más bajo que los sin recubrir, encontrándose diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) entre 45 y 65°C. Los valores de peróxidos del AcMauritia contenidos en micropartículas con o sin recubrimiento proteico, son inferiores cuando comparado a los valores de peróxidos del AcPlukenetia.

CAPÍTULO V

DISCUSIONES

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Extracción de los aceites

Los rendimientos mostrados en la Tabla 5, demostró que las semillas de *Plukenetia volubilis* L. contienen mayores valores de aceite frente al fruto de *Mauritia flexuosa*. Esto puede ser posiblemente debido al porcentaje de materia lipídica contenido en las semillas de *Plukenetia volubilis* L. frente al del fruto de *Mauritia flexuosa*. Según Chirinos et al. (2015), indica que el 35.4% de la composición total de la semilla de *Plukenetia volubilis* L. es aceite, en comparación a los fruto de *Mauritia flexuosa* que contiene 18.10% de aceite (Quispe et al. 2009).

Reciente investigación reportado por Silva et al. (2016) encontraron resultados próximos al presente estudio con relación al aceite crudo en semillas de *Plukenetia volubilis* L. siendo el rendimiento de extracción de 24.10%, utilizando prensado en frío. Por otro lado, resultados próximos fueron encontrados en frutos de *Mauritia flexuosa* por Alfaro y Chanamé (2008), donde el rendimiento fue de 9.55% de aceite crudo. Cabe mencionar que la variabilidad de los rendimientos de los aceites está en función de la composición fisicoquímica de la matriz alimenticia, así como también de la temperatura y fuerza de compresión aplicada al momento del prensado (Moreno 1991). Estudios realizados por Adrianzén et al. (2011) y Pantoja y Maldonado (2012), confirman que el aumento de la temperatura y presión ejercida sobre las almendras de *Plukenetia volubilis* L. muestran mejores rendimientos (26% a 37.86%) de aceite, debido al ablandamiento y desgarramiento que sufren los tejidos celulares de la matriz alimenticia, liberando de manera fácil y rápido mayor cantidad de aceite (Señorans 2006).

Resultados diferentes de rendimiento de extracción fueron reportados por Restrepo, Arias y Madriñán (2016), donde utilizando el método Soxhlet se obtuvo 41.09% de aceite de *Mauritia flexuosa* (AcMauritia). Por otro lado, Follegatti-Romero et al. (2009) obtuvieron rendimientos de 54.3% de aceite de *Plukenetia volubilis* L. (AcPlukenetia) utilizando el mismo método. Por lo tanto, cuando comparado con el método por prensado en frío los rendimientos obtenidos son menores. Sin embargo, el método utilizado en este trabajo de investigación

permite preservar componentes termolábiles de los aceites, además de no utilizar solventes orgánicos que consecuentemente ofrecerán bajos costos de producción, permitiendo trabajar con matrices oleaginosos en estado natural, sin tratamientos previos, salvo solo el proceso de molienda.

5.2. Caracterización de los aceites

Los parámetros fisicoquímicos mostrados en la Tabla 6 y 7, son importantes para la caracterización de aceites vegetales, mediante ello, se podrá verificar la posible adulteración que pueden tener durante su procesamiento, distribución y comercialización del producto. Los ácidos grasos libres y peróxidos son parámetros principales que determina su estado de calidad en la que se encuentran, cuanto menor sean estos valores, menor será el grado de hidrólisis y oxidación que tiene. Sin embargo, valores ligeramente alto indican el tipo de extracción de los aceites como también la probabilidad de que los aceites haya sido sometidos algún procesamiento que puede considerarse como adulteración o mala conservación (Grasso 2013).

El índice de acidez de *AcPlukenetia* fue de $0.17\% \pm 0.02$ de ácido oleico, valor inferior a los reportados por Paucar-Menacho et al. (2015) y Chasquibol et al. (2011), que indican cantidades superiores a 1.0% de ácido oleico, esta diferencia podría estar relacionado a la variación del ecotipo utilizada, el estado de las semillas, así como también a la tecnología de extracción. La acidez indica la primera fase de degradación lipídica, debido a la alteración de los triglicéridos produciendo una hidrólisis química, enzimática o microbiológica en la matriz alimenticia, ya sea por la acción de golpes, mala manipulación o procesamiento de extracción (Adrian et al. 2000).

Por otro lado, *AcMauritia* muestra valor de índice de acidez de $0.18\% \pm 0.02$ de ácido oleico, resultados próximos (0.22%) a los reportado con anterioridad por Alfaro y Chanamé (2008). Sin embargo, valores superiores fueron encontrados por Quispe et al. (2009), donde indican que el índice de acidez del *AcMauritia* fue de 2.65% de ácido oleico, esta diferencia podría estar relacionado al ecotipo de la variedad utilizada, así como también a las condiciones de los frutos empleados en el proceso tecnológico de extracción.

Según Adrian et al. (2000), señala que, a menor contenido de ácidos grasos libres en los aceites, menor será la posibilidad de que el aceite haya sufrido un proceso de adulteración. Asimismo, Bailey (1961) indica que los aceites de buena calidad se encuentran entre 0.5 – 1.5% de ácido oleico. Los resultados encontrados en la presente investigación cumplen los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana (NTP 151.400; 2009) y *Codex Alimentarius* (1999), la que indica que los aceites de calidad deben contener de 1 a 2% de ácido grasos libres.

El índice de peróxido encontrado en el AcPlukenetia en el presente estudio fue de 3.96 ± 0.10 meq de O_2/kg de aceite, cantidad superior (0.892 meq de O_2/kg de aceite) a lo reportado por Sihuayro (2013). Sin embargo, próximo (4.14 meq de O_2/kg de aceite) a lo encontrado por Pascual y Mejía (2000). Estudios de Merino-Zegarra et al. (2008) y Betancourth (2013), señalan que el AcPlukenetia contiene un índice de peróxido superior a 4.00 meq de O_2/kg de aceite. El incremento o disminución de los peróxidos es la progresión de la descomposición oxidativa de una matriz alimenticia (Betancourth 2013), el cual se manifiesta a través de la unión del oxígeno en los dobles enlaces de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados de los aceites, produciendo hidroperóxidos que posteriormente oxidara el producto hasta disminuir su calidad nutricional y organoléptica (Matissek, Schnepel y Steiner 1998).

En cuanto al AcMauritia, mostró valores de 0.78 ± 0.15 meq de O_2/kg de aceite. Asimismo, en investigaciones anteriores encontraron valores de índice de peróxido de 4.61 y 1.07 meq de O_2/kg de aceite, reportados por Ingunza (2009) y Quispe y Solarzano (2015), respectivamente. Estos resultados son posiblemente debido al tratamiento de deshidratación utilizado antes de la extracción, en el presente estudio la extracción se realizó sin previa deshidratación.

Los valores de índices de peróxidos determinados en AcPlukenetia y AcMauritia, se encuentran en el rango permisible del *Codex Alimentarius* (1999) y Norma Técnica Peruana (NTP 151.400; 2009), el cual indica el valor máximo de 15 y 10 meq de O_2/kg de aceite, respectivamente. Para ser considerado apto para el consumo humano, valores superiores indican deterioro y/o adulteración del aceite pudiendo presentar peligro para la salud del consumidor.

El índice de refracción es una medida para identificar el grado de insaturación de los enlaces, la presencia de compuestos de oxidación y si se ha realizado un tratamiento térmico del aceite. El valor del índice de refracción y el valor del iodo disminuyen al aumentar la saturación del aceite (Paul, Mittal y Chinnan 1997).

Los índices de refracción para ambos aceites están dentro de los valores aceptables por *Codex Alimentarius* (2009) y Norma Técnica Peruana (NTP 151.400, 2009), y a su vez refleja valores próximos (1.475) a los encontrados por Paucar-Menacho et al. (2015) para el AcPlukenetia y 1.4773 encontrado por Quispe et al. (2009) y Quispe y Solarzano (2015) para el AcMauritia. El índice de refracción es una propiedad física del aceite, que refleja la calidad, es decir mediante este parámetro se comprueba el grado de pureza del aceite, este mecanismo actúa en el proceso de hidrogenación mediante el grado de insaturación en los aceites (Karabulut, Kayahan y Yaprak 2003).

Vicente, De Carvalho y Garcia-Rojas (2015) reportaron datos de índice de refracción de 1.47514 para AcPlukenetia, resultado similar a lo encontrado en este estudio. En otro estudio, Pereira et al. (2008) reportaron índices de refracción para varios aceites vegetales semejantes al presente estudio que incluyen 1.467 para aceite de oliva, 1.473 para aceite de soja, 1.473 para aceite de girasol, 1.473 para aceite de maíz y 1.468 para aceite de algodón. Asimismo, los datos reportados son próximos a los encontrados por Gutiérrez, Rosada y Jiménez (2011) cuando utilizó AcPlukenetia.

El índice de iodo para el AcPlukenetia encontrado en este estudio fue de 191.19 ± 0.06 g I/100 g de aceite. Valores próximos (193.1 ± 1.0) fue encontrado por Gutiérrez, Rosada y Jiménez (2011). Por otro lado, Chasquibol et al. (2011) y Hurtado (2013), indicaron en su estudio que el AcPlukenetia contiene 214.5 y 198.1 de índice de iodo, respectivamente. Esto refleja su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados contenido en las semillas, el cual puede variar según el punto de variedad y lugar de obtención de las semillas. El índice de iodo es una medida del grado de insaturación que tiene los aceites, siendo reflejado a su vez en características físicas como la densidad y viscosidad. Este mecanismo se da mediante una reacción entre ácidos grasos saturados o insaturados con el iodo que es absorbido (Benatmane et al. 2011).

Por otro lado, el AcMauritia muestra índice de iodo 70.95 ± 0.09 g I/100g de aceite, valor superior (66,60) al indicado por Quispe et al. (2009), pero inferior (117.39) a lo reportado por Alfaro y Chanamé (2008). Este resultado podría atribuirse al mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados cuando comparado con el contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Por lo tanto, los resultados indican que los aceites cumplen los requisitos de calidad del *Codex Alimentarius* (1999) y Norma Técnica Peruana (NTP 151.400, 2009) a pesar de su diferencia de peso molecular en ambos aceites.

El índice saponificación para el AcPlukenetia fue de $202.55\% \pm 0.72$. Chasquibol et al. (2011) indican que el AcPlukenetia contiene 185.50% de materia saponificable. Con relación al índice de AcMauritia fue de $192.75\% \pm 0.57$ de materia saponificable. Valores próximos (194.82%) fueron encontrados por Quispe et al. (2009). Esta diferencia puede ser debido a la selección de la variedad de semilla de *Plukenetia volubilis* L. y del fruto de *Mauritia flexuosa* utilizado como material de estudio.

Los valores de densidad de los aceites fueron 0.92 ± 0.01 g/ ml para el AcPlukenetia y 0.93 ± 0.01 g/ ml para el AcMauritia. Valores próximos fueron encontrado por Chasquibol et al. (2011) para el AcPlukenetia (0.92 g/ml) y en cuanto al AcMauritia (0.91 g/ml) reportados por Quispe Lukaña y Solarzano Cutipa (2015). Estos valores se encuentran dentro de los requisitos establecidos por *Codex Alimentarius* (1999) y Norma Técnica Peruana (NTP 151.400, 2009) indicando que los aceites no presentan indicios de haber sido adulterado con otra sustancia que no sea de su composición nativa.

En cuanto al perfil de ácidos grasos mostrados en la tabla 7, son componentes característico y mayoritario de aceites obtenidos de matrices oleaginosos, sus valores reflejan su grado de calidad y frescura. Sin embargo, el alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados como del AcPlukenetia dificulta su incorporación en aplicaciones alimenticias debido a las posibles pérdidas nutricionales y organolépticas (sabor color y olor) generados por la oxidación (Cisneros et al. 2014; Kaushik et al. 2015).

Resultados próximos fueron reportados con relación al perfil de ácidos grasos de AcPlukenetia por Fanali et al. (2011) (4.0% de palmítico, 3.0% de

esteárico, 9.0% de oleico, 36.0% linoleico, 47% de linolénico) y Liu et al. (2014) (4.0% de palmítico, 3.0% de esteárico, 9.0% de oleico, 40.0% linoleico y 47.0% de linolénico). La composición de estos aceites evidencia su alto contenido de insaturados cuya composición puede ser diferido según la zona de producción, condiciones climáticas, variedad y grado de madurez de las semillas de *Plukenetia volubilis* L.

Por su parte el perfil de ácidos grasos de AcMauritia, se observa que los ácidos grasos oleico y palmítico son los más abundantes. El ácido oleico representa el 76.10% de material lipídico, en comparación con el 9.09% de ácido oleico contenido en AcPlukenetia. El ácido palmítico 19.01%, es el de menor masa molar que posee un menor punto de evaporación, comparado con 4.06% contenido en el AcPlukenetia. En relación con el contenido de ácido linolénico 0.96% frente al 44.67% del mismo ácido presente en el AcPlukenetia. El perfil de ácidos grasos encontrados para el AcMauritia en el presente estudio es próximo (18.75% palmítico, 1.35% esteárico, 75.50% oleico) a lo reportado por Rodríguez et al. (2010). Asimismo, son próximos (19.61% palmítico, 1.57% esteárico y 75.63% oleico) a los reportado por Vásquez-Ocmín et al. (2010).

En general, la composición del AcMauritia evidencia un alto contenido de ácidos grasos de cadenas largas saludables para el organismo, además de contener proteínas, minerales y componentes de actividad antioxidante como el β -caroteno (Restrepo, Arias y Madriñán 2016).

5.3. Caracterización de los biopolímeros

El contenido de proteína de la piel de doncella utilizado en este estudio fue próximo a lo reportado por Songchotikunpan, Tattiyakul y Supaphol (2008) y Bueno (2008), donde obtuvieron 89.40% y 89.90% de contenido proteico cuando utilizó piel de tilapia, resultado adecuado para realizar interacciones electrostáticas con polisacáridos aniónicos. Las proteínas tienen la capacidad de formar complejos insolubles, cuando se encuentra por encima de su punto isoeléctrico, esto debido a la variación de su pH el cual generara una variación de sus cargas (Weinbreck et al. 2003). Sin embargo, en el contenido de humedad, lípidos y ceniza muestra valores diferenciados (7.3%, 0.3% y 0.4%, respectivamente) a los encontrados por el presente estudio. Esto es debido a la

edad y sexo del animal a utilizar en el proceso (Jongjareonrak et al. 2006), así como también al tipo de tratamiento (inmersión prolongada) que se aplica antes de la extracción, esto con la finalidad de obtener una eficiente remoción de la grasa (Bueno 2008).

El contenido de nitrógeno no proteico de la pectina (Pc) fue utilizado para la caracterización de las micropartículas, siendo descontado en el cálculo de la cantidad de proteína presente en la micropartícula producida.

5.4. Producción de micropartículas por gelificación iónica

Las micropartículas húmedas de Pc sin recubrimiento presentan aparentemente coloración diferente, en función del tipo de aceite utilizado para la emulsión, siendo blanco transparente cuando AcPlukenetia fue utilizado y amarillo intenso cuando AcMauritia fue utilizado, bastante próximo del color de la pulpa de *Mauritia flexuosa*. Asimismo, las micropartículas muestran textura blanda para ambas micropartículas.

La intensa coloración amarilla (Figura 16) de las micropartículas conteniendo el AcMauritia evidencia alto contenido del pigmento β -caroteno presente en el AcMauritia (Medeiros et al. 2015). Asimismo, el alto de contenido de carotenos en el AcMauritia es importante debido a su actividad antioxidante (Aquino et al. 2011).

Los carotenoides son un grupo de moléculas hidrofóbicas que tienen un potencial considerable como nutraceuticas debido a su efecto beneficioso sobre la salud, incluida la actividad antioxidante y provitamina A (Berman et al. 2015). Varios carotenoides han demostrado tener actividad biológica potencialmente beneficiosa para la salud, que incluyen β -caroteno, luteína, licopeno, zeaxantina y astaxantina. Sin embargo, la utilización de estas moléculas poliinsaturadas no polares como nutraceuticas en los alimentos, es un reto debido a su baja solubilidad en agua, inestabilidad química y baja biodisponibilidad oral. Para contornar el problema de baja solubilidad en agua y biodisponibilidad, la literatura indica disolver los carotenoides en una emulsión (Boon et al. 2009). Recientes estudios han demostrado que la estabilidad química de las gotas lipídicas enriquecidas con carotenoides se puede mejorar protegiéndoles en matrices de polisacáridos de Pc y/o alginato (Zhang, Zhang y McClements 2016).

5.5. Caracterización de micropartículas obtenidas por gelificación iónica

El contenido de agua para las micropartículas de Pc conteniendo AcPlukenetia fue de $94.31\% \pm 0.10$, y para las micropartículas de Pc conteniendo AcMauritia $94.50\% \pm 0.18$, sin diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$). Estudio reciente Tello et al. (2015), reportó 94.17% y 95.01% de contenido de agua para partículas de alginato y Pc producidas GI, utilizando aceite de girasol como material de relleno, resultados que muestran que el método de GI es replicable. El contenido de agua presente en las micropartículas, indica que las redes poliméricas producidas con pectina poseen alta capacidad de retención de agua, semejantes a tejidos biológicos, característica favorable para aplicaciones en alimentos, biomédicas y farmacéuticas (Hoffman 2012). En general, micropartículas producidas por GI unen alta cantidad de agua en la matriz del gel (Liu, Fishman y Hicks 2007).

El contenido de ceniza para las micropartículas de Pc conteniendo AcPlukenetia fue de $0.23\% \pm 0.00$, y para las micropartículas de Pc conteniendo AcMauritia fue de $0.24\% \pm 0.00$, sin diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), evidenciando la presencia de materia inorgánica (minerales) en las micropartículas.

El contenido de lípidos en micropartículas de Pc conteniendo AcPlukenetia fue de $35.40\% \pm 1.72$, y para las micropartículas de Pc conteniendo AcMauritia fue de $37.31\% \pm 0.68$, sin diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$), obteniendo 78.32% de eficiencia de encapsulación para micropartículas conteniendo AcPlukenetia y 82.54% para micropartículas conteniendo AcMauritia, en relación con el aceite utilizado inicialmente. Los resultados muestran alta retención de AcPlukenetia o AcMauritia utilizados como material de relleno de las micropartículas. Asimismo, evidencia que la matriz polimérica formado a base de Pc es eficiente para atrapar materiales hidrofóbicos.

Altas eficiencias de encapsulación (EE) de 87.60% y 90.80% para aceite de girasol por GI, utilizando mezcla de alginato-pectina fueron reportados por Córdova et al. (2015). Asimismo, 90% de eficiencia de encapsulación para aceite de palma por GI fueron reportados por Chan (2011).

Los resultados muestran que la matriz biopolimérica formado a base de Pc por GI es un método eficiente para encapsular compuestos hidrofóbicos (Chan 2011; Benavides et al. 2016), evidenciando que la matriz a pesar de que contiene un alto contenido de agua es inmisible al material de relleno (Lertsutthiwong et al. 2008). Asimismo, independientemente del material de encapsulación o material de relleno, la GI puede ser utilizada para encapsular sustancias de interés para la industria alimentaria, química o farmacéutica.

El tamaño promedio de las micropartículas húmedas de Pc obtenidas por GI fue de $193.87\mu\text{m} \pm 16.16$ para micropartículas conteniendo AcPlukenetia y $195.41\mu\text{m} \pm 18.25$ para micropartículas conteniendo AcMauritia, sin diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$).

En estudios recientes por Souza et al. (2012) y Tello et al. (2015), produjeron micropartículas utilizando Pc por GI, mostraron tamaños que varían de $215.41\mu\text{m} \pm 16.26$ a $285.2\mu\text{m} \pm 21.1$. Resultados superiores a los obtenidos en este trabajo. La variación del tamaño medio puede atribuirse probablemente a la presión de aire que se utiliza para pulverizar la emulsión, al diámetro de la aguja del atomizador, la concentración de las soluciones, la estructura de los polisacáridos (capacidad de reticulación de agua por grupos carboxílicos), la distancia entre la aguja, el nivel de la solución catiónica de calcio, así como también de la velocidad de flujo de las emulsiones preparadas (Smrdel, Bogataj y Mrhar 2008).

En cuanto a su morfología las imágenes mostradas en la Figura 17, muestran estructuras esféricas, con paredes posiblemente frágiles. Asimismo, es posible observar gotas de aceite distribuidas en las micropartículas. Por otro lado, es posible observar que las gotas de aceite presentan amplia distribución de tamaño, la cual nos indica, que el método de GI es adecuado para la producción de micropartículas de biopolímeros con forma esférica.

5.6. Recubrimiento y caracterización de micropartículas de pectina con gelatina de piel de doncella, por interacción electrostática

Para el desarrollo de esta etapa fue utilizado gelatina de piel de doncella (Gpd), extraída y caracterizada en el laboratorio. El objetivo de este estudio fue adsorber una capa de proteína por interacción electrostática en la superficie de

micropartículas de Pc. La hipótesis es que las micropartículas recubiertas con proteína conteniendo aceite tendrían propiedades mejoradas de protección contra la oxidación lipídica.

Los grupos cargados positivamente en las proteínas pueden interactuar electrostáticamente con grupos cargados negativamente presentes en los polisacáridos y, la cantidad de proteína adsorbida en las micropartículas se maximiza cuando las cargas de la proteína adsorbida se neutralizan (Fox y McSweeney 2003).

Fue observado un aumento de la materia seca de las micropartículas, independiente del tipo de aceite utilizado, comparado con la materia seca de las micropartículas sin recubrimiento. El contenido de materia seca de las micropartículas recubiertas con la mayor concentración de proteína en solución producidas con AcMauritia fue de $19.25\% \pm 0.13$ y para el AcPlukenetia 19.61 ± 0.32 , cuando comparado con la cantidad de materia seca de las micropartículas de Pc sin recubrimiento del AcPlukenetia y AcMauritia que muestran $5.69\% \pm 0.12$ y $5.50\% \pm 0.07$, respectivamente, con diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$).

La cantidad de proteína adsorbida varió de $63.61\% \pm 1.33$ a $71.11\% \pm 0.74$ para micropartículas conteniendo AcMauritia y de $64.80\% \pm 0.37$ a $69.66\% \pm 0.52$ para micropartículas conteniendo AcPlukenetia, con diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). En promedio, el 18.80% de materia seca fue cuantificado en las micropartículas de Pc recubiertas con Gpd cuando fueron utilizados 2, 4 y 8% proteína en solución. Estos resultados muestran que micropartículas recubiertas incrementan su contenido de materia seca independiente del tipo de polisacárido y de la concentración de proteína en solución.

Con el aumento del contenido proteico en solución, en todos los casos ocurrió un aumento significativo de proteína adsorbida sobre la superficie de las MPmauritia y MPlukenetia por GI. El fenómeno de adsorción de proteína es un complejo proceso que envuelve las propiedades químicas de la molécula de proteína (Fox y McSweeney 2003). Además, de las interacciones electrostáticas, otras interacciones pueden ocurrir, incluyendo fuerzas Van der Waals, puentes

de hidrógeno, efectos hidrofóbicos e impedimento estérico también pueden ser responsables de las asociaciones entre proteína-proteína e interacciones entre proteínas-superficies (Haynes y Norde 1994; Roach, Farrar y Perry 2005).

La Tabla 12, muestra el contenido de lípidos en micropartículas de Pc después del recubrimiento con Gpd, donde las micropartículas conteniendo AcPlukenetia fue de $17.07\% \pm 1.66$, $17.52\% \pm 1.01$ y $17.89\% \pm 0.26$ y las micropartículas conteniendo AcMauritia fue de $17.59\% \pm 0.73$, $18.25\% \pm 0.89$ y $18.19\% \pm 0.35$, cuando fueron utilizados concentraciones de 2, 4 y 8% de gelatina en solución, no encontrándose diferencias estadísticas significativas ($P > 0.05$). Estos resultados muestran disminución del contenido de lípidos debido a la adición de la cantidad proteica, que modifica la proporcionalidad en todos los sistemas estudiados. Resultados diferentes ($23.32\% \pm 0.20$) fueron encontrados en relación al contenido lipídico en micropartículas de Pc producidas por GI, recubiertas con solución de proteínas de suero de leche a 12% de concentración, este resultado probablemente es debido a la menor cantidad de proteína adsorbida ($51.11\% \pm 0.47$) (Rodrigues et al. 2014), cuando comparado con los niveles de proteína adsorbida en el presente estudio.

En cuanto al tamaño de las micropartículas recubiertas, los resultados indican que las micropartículas de GI eran originalmente mayores que las micropartículas recubiertas con gelatina, independientemente de la concentración de proteína en solución utilizada. Esto indica, que cuando las proteínas interactúan con los grupos carboxílicos negativos remanentes de la superficie de las micropartículas de Pc, producen un prensado en las micropartículas; reduciendo su tamaño y posiblemente expulsa parte del agua presente en las micropartículas.

Las imágenes de microcopia óptica (MO) de las micropartículas húmedas mostrados en la figura 18, muestra la morfología de las micropartículas producidas por GI, permite la evaluación de la morfología, revelando la formación de una matriz multinucleada, con gotas de aceite distribuidas en la extensión de la micropartícula, además de mostrar una segunda capa más resistente, que probablemente mejore la barrera de protección del bioactivo encapsulado frente a factores externo que lo rodean.

5.7. Evaluación de la estabilidad oxidativa de las micropartículas con y sin recubrimiento proteico sometidos a efectos de la temperatura

Micropartículas de Pc conteniendo AcPlukenetia y AcMauritia con y sin recubrimiento con Gpd en la concentración de 8% en solución, fueron utilizados para evaluar la estabilidad oxidativa de los aceites encapsulados mediante la determinación del valor de peróxido durante 0, 1, 3 y 5 horas, a 45, 55 y 65 °C. El tiempo de utilizado fue debido a disponibilidad de micropartículas húmedas, y los niveles de temperatura utilizada fueron para acelerar el proceso de oxidación. Los peróxidos son los primeros y menos estables productos de la oxidación y se descomponen fácilmente en productos secundarios más estables.

En el tiempo cero el AcPlukenetia contenido en las micropartículas con o sin recubrimiento muestran los valores más bajo de peróxidos, 4.45 y 3.96 meq de O₂ / kg de aceite, respectivamente, con valor ligeramente superior para el aceite contenido en las micropartículas con recubrimiento, quizás debido al manipuleo durante la producción y la temperatura utilizada para el recubrimiento con gelatina.

Después de una hora de tratamiento el AcPlukenetia contenido en micropartículas sin recubrimiento proteico mostraron 17.35 ± 0.94 , 17.78 ± 0.65 , 18.26 ± 0.69 a 45°C, 55°C, y 65°C, respectivamente y, 6.13 ± 0.51 , 11.32 ± 0.94 , 13.58 ± 0.88 a 45°C, 55°C y 65°C para AcPlukenetia contenido en micropartículas recubiertas con gelatina, siendo estas últimas las que presentaron menor valor de oxidación. Los valores de peróxidos de los aceites contenidos en micropartículas con o sin recubrimiento proteico en el tiempo cero, se encuentran por debajo de los valores máximos admitidos por el *Codex Alimentarius* (1999) y Norma Técnica Peruana (NTP 151.400, 2009).

Durante la tercera hora de tratamiento la tendencia de oxidación continua, siendo mayor para el aceite contenido en las micropartículas sin recubrimiento independiente de la temperatura utilizada.

En la quinta hora de tratamiento, el aceite contenido en las micropartículas sin recubrimiento presentó índice de oxidación (28.32 ± 0.78 meq de O₂ / kg de aceite) superiores a los valores de los índices de aceite contenido en las micropartículas recubiertas con gelatina (23.53 ± 0.94 meq de O₂ / kg de aceite)

cuando fue utilizado la mayor temperatura (65°C). La temperatura ejerció un efecto negativo sobre la estabilidad del AcPlukenetia, de cierta forma lo esperado, debido a la presencia de ácidos grasos poliinsaturados presentes en el aceite son bastante sensibles al calor. En relación con la estabilidad del aceite encapsulado durante el tratamiento a las temperaturas utilizadas se puede concluir que las matrices recubiertas con gelatina influenciaron para una menor producción de peróxidos.

Lee et al. (2009) concluyeron en su estudio que la estabilidad oxidativa del ácido linoleico conjugado fue aumentada por la encapsulación. Los autores estudiaron las estabilidades del ácido linoleico conjugado microencapsulado (almidón de maíz como encapsulante y Tween 20 como emulsificante) y aceite puro (control). Como resultado obtuvieron un menor índice de peróxidos cuando los aceites estuvieron encapsulados. Cabe resaltar que el tiempo de análisis fue en escala de horas, análogo al tiempo utilizado en este trabajo.

El índice de peróxido es una medida del oxígeno unido a un material lipídico en forma de peróxido. Por lo tanto, el índice proporciona información relacionado al grado de oxidación de una muestra y permite, con cierta limitación, una estimación de hasta qué punto la muestra lipídica es apto para consumo o ha sido alterado (Matissek, Schnepel y Steiner 1998). Los factores que influyen son los ácidos grasos, la duración y tipo del almacenamiento (Lawson 1999). Un aumento de índice de peróxido es justificado por reacciones (térmicas, químicas y bioquímicas siendo la oxidación de los lípidos la más frecuente por efecto químico) que sufren los aceites durante su procesamiento. Los dobles enlaces de los ácidos grasos constituyentes reaccionan con el oxígeno formando compuestos que al descomponerse originan otros, a los cuales se les atribuye el olor y sabor desagradables característicos de los lípidos oxidados, y es esto lo que se conoce como de rancidez. El aumento de la cantidad de peróxido es evidencia del deterioro del aceite durante su procesamiento, almacenamiento, manipulación o cuando fue usado en las frituras (Rivera et al. 2014).

En cuanto al AcMauritia, la Figura 20 muestra los valores de peróxidos del aceite encapsulado en micropartículas de Pc con y sin recubrimiento proteico con Gpd. En el tiempo cero el aceite contenido en las micropartículas con o sin recubrimiento muestran valores de peróxidos de 1.30 ± 0.31 y 0.78 ± 0.15 meq

de O_2 / kg de aceite, comportamiento semejante cuando fue utilizado AcPlukenetia, con valor ligeramente superior para el aceite contenido en las micropartículas con recubrimiento.

La primera y tercera hora de tratamiento el AcMauritia contenido en micropartículas sin recubrimiento proteico mostraron aumento de índice peróxidos en todas las temperaturas utilizadas superior al índice de peróxidos de las micropartículas con recubrimiento a 45°C, 55°C y 65°C.

En la quinta hora de tratamiento, el aceite contenido en las micropartículas sin recubrimiento presentó índice de oxidación de 17.58 ± 0.90 , 19.20 ± 0.70 y 22.41 ± 0.85 meq de O_2 / kg de aceite, para 45°C, 55°C y 65°C, respectivamente, frente a índices de peróxidos contenidos en las micropartículas con recubrimiento fueron de 6.89 ± 1.04 , 10.73 ± 0.59 y 13.40 ± 1.11 meq de O_2 / kg de aceite, para 45°C, 55°C y 65°C, respectivamente. Los valores menores de índices de peróxidos se deben probablemente a mejor protección con la capa de gelatina.

Sin embargo, los valores de peróxidos del AcMauritia contenidos en micropartículas con o sin recubrimiento proteico, son inferiores cuando comparado a los valores de peróxidos del AcPlukenetia, esto puede ser posiblemente debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados que tiene el AcPlukenetia (Gutiérrez, Rosada y Jiménez 2011; Follegatti-Romero et al. 2009).

La diferencia del nivel de oxidación del aceite contenido en las micropartículas con y sin recubrimiento, puede estar relacionada a la capa de gelatina que disminuyó la permeabilidad al oxígeno y mitigó el efecto del calor. Los resultados del presente estudio indican que la formación de peróxidos continúa incrementándose para micropartículas con y sin recubrimiento proteico. El índice de peróxido utilizado en el presente estudio es un indicador útil de la oxidación de lípidos, los peróxidos están presentes en los aceites en la etapa de iniciación de la oxidación (Verleyen, Van Dyck y Adams 2005).

Por otro lado, la mayor estabilidad oxidativa de los aceites de las micropartículas recubiertas podría deberse a diferencias en las concentraciones de biopolímeros, así como a la proximidad de los biopolímeros a las gotas de lípidos (Salcedo-Sandoval et al. 2015).

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

El presente estudio evidenció el efecto protector de micropartículas producidas por gelificación iónica sobre los aceites de *Mauritia flexuosa* y *Plukenetia volubilis L.* encapsulados, indicando su gran utilidad en la industria alimentaria para su aprovechamiento en el desarrollo de alimentos funcionales.

El rendimiento de extracción por prensa en frío de aceite de *Plukenetia volubilis L.* fue mayor cuando comparado al rendimiento de aceite de *Mauritia flexuosa*, debido a su composición intrínseca de las matrices alimenticias.

Los parámetros fisicoquímicos de los aceites extraídos se encuentran dentro de los rangos permisibles por la legislación alimentaria y Norma Técnica Peruana, estando aptas para su industrialización y comercialización.

La composición de ácidos grasos de aceite de *Plukenetia volubilis L.* determinados, evidencia su alto potencial nutricional por su contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Oleico, linoleico y linolénico) en comparación al perfil de aceite de *Mauritia flexuosa* que posee más ácidos grasos monoinsaturados (Oleico, Palmítico y esteárico).

Micropartículas obtenidas por gelificación iónica tuvieron alta eficiencia de encapsulación cuando fue utilizado aceite de *Plukenetia volubilis L.* y *Mauritia flexuosa*, respectivamente, lo cual representa altos valores de aceite atrapado por las micropartículas de pectina, indicando que la gelificación iónica es un método eficiente para encapsular sustancia o compuestos bioactivos de interés.

Altos valores de adsorción de proteína se observaron en la superficie de las micropartículas conteniendo aceite de *Plukenetia volubilis L.* y *Mauritia flexuosa* cuando mayor concentración de solución de gelatina de piel de doncella se utilizó, mostrando mayor fuerza de protección para el control de la oxidación de los bioactivos.

El tamaño medio de las micropartículas húmedas de pectina obtenidas por gelificación iónica conteniendo aceite de *Plukenetia volubilis L.* fue ligeramente menor al aceite de *Mauritia flexuosa*, al igual que micropartículas recubiertas con gelatina de piel de doncella.

En el estudio de oxidación de aceite de *Plukenetia volubilis* L. y aceite de *Mauritia flexuosa*, micropartículas sin recubrimiento mostraron menor protección frente a la oxidación. Micropartículas recubiertas con gelatina de piel de doncella proporcionaron mejor protección cuando comparado con las micropartículas sin recubrimiento proteico.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

Estudiar el comportamiento del grado de porosidad de las micropartículas, además de evaluar el potencial Z de la solución, emulsión y partículas.

Estudiar la evaluación de la vida útil de almacenamiento utilizando condiciones drásticas de actividad de agua y temperatura para una mejor determinación de los límites críticos de almacenamiento de las micropartículas conteniendo AcPlukenetia y AcMauritia, como un producto final para el mercado.

Realizar estudios de antioxidantes naturales de los aceites *Plukenetia volubilis L.* y aceites de *Mauritia flexuosa*, con el objetivo de evaluar la influencia en el proceso de oxidación.

Realizar aplicaciones de las micropartículas conteniendo aceite de *Plukenetia volubilis L.* y *Mauritia flexuosa* en la elaboración de alimentos balanceados para peces, considerando una alternativa para el sector acuicultor.

CAPÍTULO VIII

FUENTES DE INFORMACIÓN

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- ACEITUNO, P. P., 2005. El Cultivo de Sacha Inchi. Boletín Técnico. Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales-ADRA. Misión Nor Oriental. Moyobamba.
- ADRIAN, J., POTUS, J., POIFFAIT, A. y DAUVILLIER, P., 2000. Análisis nutricional de los Alimentos, Zaragoza, España, Acribia. pp. 314. ISBN 978-84-200-0919-3.
- ADRIANZÉN YAJAHUANCA, N., ROJAS PADILLA, C. y LINARES LUJÁN, G., 2011. Efecto de la temperatura y tiempo de tratamiento térmico de las almendras trituradas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el rendimiento y las características físico-químicas del aceite obtenido por prensado mecánico en frío. *Agroindustrial Science*, vol. 2, no. 1, pp. 46-55.
- AGUILERA, C.M., RAMIREZ-TORTOSA, M.C., MESA, M.D. y GIL, A., 2001. Efectos protectores de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados sobre el desarrollo de la enfermedad cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, vol. 16, no. 3, pp. 78-91. ISSN 02121611.
- AIDOS, I., JACOBSEN, C., JENSEN, B., LUTEN, J.B., VAN DER PADT, A. y BOOM, R.M., 2002. Volatile oxidation products formed in crude herring oil under accelerated oxidative conditions. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 104, no. 12, pp. 808-818. ISSN 14387697. DOI 10.1002/1438-9312(200212)104:12<808: AID-EJLT808>3.0.CO;2-J.
- ALFARO ABANTO, K.Y. y CHANAMÉ IDROGO, E.M., 2008. Determinación de los parámetros operacionales en la obtención de un producto oleoso de la *Mauritia flexuosa* (Aguaje). S.I.: Universidad Nacional de Trujillo. pp. 68.
- AL-TAHAMI, K. y SINGH, J., 2007. Smart Polymer Based Delivery Systems for Peptides and Proteins. *Recent Patents on Drug Delivery & Formulation*, vol. 1, no. 1, pp. 65-71. ISSN 18722113. DOI 10.2174/187221107779814113.
- ANAL, A.K. y SINGH, H., 2007. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. *Trends in Food*

- Science and Technology, vol. 18, no. 5, pp. 240-251. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2007.01.004.
- ANDRES, C., 1977. Encapsulation ingredients: I. Food Processing, vol. 38, no. 12, pp. 44-56.
- AOCS, 2002. Métodos oficiales y prácticas recomendadas de la Sociedad Americana de Químicos Petroleros. Champaign, Illinois: American Oil Chemists Society ed. Firestone.
- AQUINO DE SOUZA, J., PESSOA DE PONTES, D.C.N., ARAÚJO, K. de L.G. V., EPAMINONDAS, P.S., SCHULER, A.R.P., DE SOUZA, A.G. y STAMFORD, T.L.M., 2011. Refining of Buriti Oil (*Mauritia flexuosa*) Originated from the Brazilian Cerrado: Physicochemical, Thermal-Oxidative and Nutritional Implications. Journal of the Brazilian Chemical Society, vol. 23, no. 2, pp. 212-219.
- ARANGO, G. H., 2002. Metabolitos primarios de interés farmacognóstico. Universidad de Antioquia, Medellín, CO, pp. 17.
- ARÉVALO GARAZATÚA, G., 1996. El cultivo del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la Amazonía (No. F01 A748). Instituto Nacional de Investigación Agraria, Lima (Perú).
- ARNESEN, J.A. y GILDBERG, A., 2007. Extraction and characterisation of gelatine from Atlantic salmon (*Salmo salar*) skin. Bioresource Technology, vol. 98, no. 1, pp. 53-57. ISSN 09608524. DOI 10.1016/j.biortech.2005.11.021.
- ASKER, D., WEISS, J. y MCCLEMENTS, D.J., 2011. Formation and stabilization of antimicrobial delivery systems based on electrostatic complexes of cationic-Non-ionic Mixed micelles and anionic polysaccharides. Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 59, no. 3, pp. 1041-1049. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf103073w.
- AYALA, J., LÓPEZ, C., HONG, A., OBERTO, C., PAIVA, A. y LARES, M., 2009. Efecto de los ácidos grasos poliinsaturados (omega 3) sobre la agregación plaquetaria. Revista Latinoamericana de Hipertensión, vol. 4, no. 3, pp. 71-78.

- BAILEY, A. E., 2001. Aceites y grasas industriales. Barcelona, España. Reverté S.A., pp. 746. ISBN: 9788429179019.
- BAKRY, A.M., ABBAS, S., ALI, B., MAJEED, H., ABOUELWAFI, M.Y., MOUSA, A. y LIANG, L., 2016. Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 15, no. 1, pp. 143-182. ISSN 15414337. DOI 10.1111/1541-4337.12179.
- BENATMANE, F., KOUBA, M., YOUYOU, A. y MOUROT, J., 2011. Effect of a linseed diet on lipogenesis, fatty acid composition and stearoyl-CoA-desaturase in rabbits. *Animal*, vol. 5, no. 12, pp. 1993-2000. ISSN 17517311. DOI 10.1017/S1751731111001145.
- BENAVIDES, S., CORTÉS, P., PARADA, J. y FRANCO, W., 2016. Development of alginate microspheres containing thyme essential oil using ionic gelation. *Food Chemistry*, vol. 204, pp. 77-83. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.02.104.
- BERBEL, R.L., 2010. Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible. Universidad Politécnica de Catalunya: Catalunya. pp. 93.
- BERMAN, J., ZORRILLA-LÓPEZ, U., FARRÉ, G., ZHU, C., SANDMANN, G., TWYMAN, R.M., CAPELL, T. y CHRISTOU, P., 2015. Nutritionally important carotenoids as consumer products. *Phytochemistry Reviews*, vol. 14, no. 5, pp. 727-743. ISSN 1572980X. DOI 10.1007/s11101-014-9373-1.
- BETANCOURTH LÓPEZ, C. F., 2013. Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite.
- BLIGH, E. G. y DYER, W. J., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry Physiology*, vol. 37, no. 8, pp. 911-917.
- BOBBIO, F.O. y BOBBIO, P.A., 1989. Introducción a la Química de Alimentos. 2ª Ed. São Paulo: Livraria Varela, pp. 231.

- BOON, C.S., MCCLEMENTS, D.J., WEISS, J. y DECKER, E.A., 2009. Role of iron and hydroperoxides in the degradation of lycopene in oil-in-water emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, no. 7, pp. 2993-2998. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf803747j.
- BORAN, G., LAWLESS, H.T. y REGENSTEIN, J.M., 2010. Effects of Extraction Conditions on the Sensory and Instrumental Characteristics of Fish Gelatin Gels. *Journal of Food Science*, vol. 75, no. 9, pp. S469-S476. DOI 10.1111/j.1750-3841.2010.01827. x.
- BRAKO, L. y ZARUCCHI, J., 1993. Catalogue of the flowering plants and gymnosperms of Perú. *Monographs in systematic botany from the Missouri Botanical Garden*, vol. 45, pp. 1-1286.
- BRAVO, A.; MURAYARI, H.; RIOS-MERA, J.D.; PAREDES, R. S. V. y TELLO, F., 2018. Obtención de gelatina de doncella (*Pseudoplatystoma fasciatum*) para uso como encapsulante. In: Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial - IV CIIA 2017, Puno, Perú. *Anales del Congreso Internacional de Ingeniería Agroindustrial - IV CIIA 2017-2018*.
- BRAZEL, C.S., 1999. Microencapsulation: offering solutions for the food industry. *Cereal Foods World*, vol. 44, no 6, pp. 388–393. ISSN: 0146-6283.
- BUENO, C. M., 2008. Extração e Caracterização de Gelatina de Pele de Tilapia e Aplicação como Micropartículas Obtidas por Coacervação Complexa. Tese (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP, pp. 113.
- BUREY, P., BHANDARI, B.R., HOWES, T. y GIDLEY, M.J., 2008. Hydrocolloid gel particles: Formation, characterization, and application. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 48, no. 5, pp. 361-377. ISSN 10408398. DOI 10.1080/10408390701347801.
- BURNS, J. K. y PRESSEY, R., 1987. Ca²⁺ in cell walls of ripening tomato and peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
- CAMPBELL, L. A. y PALMER, G. H., 1978. Pectin. In *Topics in dietary fiber research*. Springer, Boston, MA, pp. 105-115.

- CANELA, M., 2013. Potencial de Hidrogeniones- pH. Revista de Actualización Clínica, vol. 40, pp. 2076-2082.
- CÁRDENAS, A. G, 2017. La agroindustria de la palma de aceite en América. Revista Palmas, vol. 37, pp. 215-228.
- CARRILLO FERNÁNDEZ, L., DALMAU SERRA, J., MARTÍNEZ ÁLVAREZ, J.R., SOL ALBERICH, R. y PÉREZ JIMÉNEZ, F., 2011. Grasas de la dieta y salud cardiovascular. Anales de Pediatría, vol. 74, no. 3, pp. 192-e16. ISSN 16954033. DOI 10.1016/j.anpedi.2010.12.005.
- CASTILLO, J., 2007. Evaluación de la estabilidad oxidativa de grasas interesterificadas enzimáticamente. Universidad Industrial de Santander. Santander, Colombia.
- CHAN, E., 2011. Preparation of Ca-alginate beads containing high oil content : Influence of process variables on encapsulation efficiency and bead properties. Carbohydrate Polymers journal, vol. 84, no. 4, pp. 1267-1275. DOI 10.1016/j.carbpol.2011.01.015.
- CHASQUIBOL SILVA, N. y MORALES GOMERO, J.C., 2010. Contribución al estudio del proceso de gelación de la pectina del níspero de la sierra. Ingeniería Industrial, vol. 28, no. 1, pp. 157-176. ISSN 1025-9929.
- CHASQUIBOL, N., GUINDA, A., DEL ÁGUILA, C., YÁCONO, J. C. y PÉREZ, M. C., 2011. Estudios preliminares sobre la caracterización de aceites de semillas de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana*), cultivadas en la provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas-Perú. pp. 28.
- CHATTERJEA M. y SHINDE, R., 2012. Textbook of Medical biochemistry, JAYPP, New Delhi. ISBN: 9789350254844.
- CHATTERJEE, S. y BOHIDAR, H.B., 2005. Effect of cationic size on gelation temperature and properties of gelatin hydrogels. International Journal of Biological Macromolecules, vol. 35, no. 1-2, pp. 81-88. ISSN 01418130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2005.01.002.
- CHEN, K.N., CHEN, M.J. y LIN, C.W., 2006. Optimal combination of the encapsulating materials for probiotic microcapsules and its experimental

- verification (R1). *Journal of Food Engineering*, vol. 76, no. 3, pp. 313-320. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2005.05.036.
- 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*, vol. 173, no. 1, pp. 1203-1206. ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/j.foodchem.2014.10.120.
- CHOE, E. y MIN, D.B., 2006. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety Mechanisms and Factors for Edible Oil Oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, vol. 5, no. 4, pp. 169-186. ISSN 15414337. DOI 10.1111/j.1541-4337.2006.00009. x.
- CHOI, S.S. y REGENSTEIN, J.M., 2000. Physicochemical and sensory characteristic of fish gelatin. *Journal of Food Science*, vol. 65, no. 2, pp. 194-199.
- CISNEROS, F.H., PAREDES, D., ARANA, A. y CISNEROS-ZEVALLOS, L., 2014. Chemical composition, oxidative stability and antioxidant capacity of oil extracted from roasted seeds of Sacha-inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 62, no. 22, pp. 5191-5197. ISSN 15205118. DOI 10.1021/jf500936j.
- COCK, L. S., CUERVO, D. P. y APONTE, A. A., 2007. Aplicación de endopeptidasa alcalina en carnaza bovina para mejorar la calidad de la gelatina. *Revista Colombiana de Química*, vol. 36, no. 2, pp. 169-181.
- COLLOMB, M., SCHMID, A., SIEBER, R., WECHSLER, D. y RYHÄNEN, E.L., 2006. Conjugated linoleic acids in milk fat: Variation and physiological effects. *International Dairy Journal*, vol. 16, no. 11, pp. 1347-1361. ISSN 09586946. DOI 10.1016/j.idairyj.2006.06.021.
- CÓRDOVA AGUILAR, K., TELLO, F., BIERHALZ, A.C.K., GARNICA ROMO, M.G., MARTÍNEZ FLORES, H.E. y GROSSO, C.R.F., 2015. Protein adsorption onto alginate-pectin microparticles and films produced by ionic gelation. *Journal of Food Engineering*, vol. 154, pp. 17-24. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2014.12.020.

- CÓRSICO, B., FALOMIR LOCKHART, L.J., FRANCHINI, G.R. y SCAGLIA, N., 2013. Análisis estructural y funcional de Macromoléculas. 1a ed. Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata. ISBN 9789503410578.
- COVIELLO, T., MATRICARDI, P., MARIANECCI, C. y ALHAIQUE, F., 2007. Polysaccharide hydrogels for modified release formulations. *Journal of Controlled Release*, vol. 119, no. 1, pp. 5-24. ISSN 01683659. DOI 10.1016/j.jconrel.2007.01.004.
- CRISPÍN, P. L. M., CARO, R. R. y OCHOA, M. D. V., 2012. Pectina: Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas. In *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, vol. 78, no. 1.
- DARVILL, J. E., MCNEIL, M., DARVILL, A. G. y ALBERSHEIM, P., 1980. Structure of Plant Cell Walls: XI. Glucuronoarabinoxylan, a second hemicellulose in the primary cell walls of suspension-cultured sycamore cells. *Plant Physiology*, vol. 66, no. 6, pp. 1135-1139.
- DE OLIVEIRA, A.I., MAHMOUD, T.S., DO NASCIMENTO, G.N.L., DA SILVA MOREIRA, J.F., PIMENTA, R.S. y DE MORAIS, P.B., 2016. Chemical Composition and Antimicrobial Potential of Palm Leaf Extracts from Babaçu (*Attalea speciosa*), Buriti (*Mauritia flexuosa*), and Macaúba (*Acrocomia aculeata*). *The Scientific World Journal*, vol. 2016, no. 1, pp. 1-5. ISSN 1537744X. DOI 10.1155/2016/9734181.
- DE WIT, N., DERRIEN, M., BOSCH-VERMEULEN, H., OOSTERINK, E., KESHTKAR, S., DUVAL, C., DE VOGEL-VAN DEN BOSCH, J., KLEEREBEZEM, M., MULLER, M. y VAN DER MEER, R., 2012. Saturated fat stimulates obesity and hepatic steatosis and affects gut microbiota composition by an enhanced overflow of dietary fat to the distal intestine. *AJP: Gastrointestinal and Liver Physiology*, vol. 303, no. 5, pp. G589-G599. ISSN 0193-1857. DOI 10.1152/ajpgi.00488.2011.
- DEL CASTILLO D, OTÁROLA E. y FREITAS L., 2006. Aguaje, la maravillosa palmera de la Amazonía. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Ediciones Wust. vol. 51.
- DELGADO, C., COUTURIER, G. y MEJIA, K., 2007. *Mauritia flexuosa* (Arecaceae: Calamoideae), an Amazonian palm with cultivation purposes

in Peru. *Fruits*, vol. 62, no. 3, pp. 157-169. ISSN 05677572. DOI 10.1051/fruits.

DOSTERT, N., ROQUE, J., BROKAMP, G., CANO, A., LA TORRE, M. I. y WEIGEND, M. (2009). Factsheet: Datos botánicos de Sacha Inchi. Desarrollo de monografías botánicas (factsheets) para cinco cultivos peruanos. *Hojas Botánicas: Sacha inchi – Plukenetia volubilis L.*, pp. 3-20.

DRAGET, K.I., STRAND, B., HARTMANN, M., VALLA, S., SMIDSRØD, O. y SKJÅK-BRÆK, G., 2000. Ionic and acid gel formation of epimerised alginates; The effect of AlgE4. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 27, no. 2, pp. 117-122. ISSN 01418130. DOI 10.1016/S0141-8130(00)00115-X.

DRAGO SERRANO, M.E., LÓPEZ LÓPEZ, M. y SAÍNZ ESPUÑES, T. del R., 2006. Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, vol. 37, no. 4, pp. 58-68. ISSN 1870-0195.

DURÁN AGÜERO, S., TORRES GARCÍA, J. y SANHUEZA CATALÁN, J., 2015. Aceites vegetales de uso frecuente en Sudamérica: características y propiedades. *Nutricion Hospitalaria*, vol. 32, no. 1, pp. 11-19. ISSN 16995198. DOI 10.3305/nh.2015.32.1.8874.

DWEIGHT, W., 2018. Aguaje. HERBAR Live Pharmacy [en línea]. [Consulta: 14 noviembre 2018]. Disponible en: <http://livepharmacy.eu/fr/dons-d-arbres/aguaje/16/>.

FAIRWEATHER-TAIT, S. J., 1987. The concept of bioavailability as it relates to iron nutrition. *Nutrition Research*, vol. 7, no. 3, pp. 319-325.

FANALI, C., DUGO, L., CACCIOLA, F., BECCARIA, M., GRASSO, S., DACHÀ, M., DUGO, P. y MONDELLO, L., 2011. Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 24, pp. 13043-13049. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf203184y.

FANG, Z. y BHANDARI, B., 2010. Encapsulation of polyphenols - A review. *Trends in Food Science and Technology* [en línea], vol. 21, no. 10, pp.

510-523. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2010.08.003. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>.

FAO, 1999. THE CODEX ALIMENTARIUS - Fats, Oils and Related Products (Second ed.). Rome, Italy, vol. 8.

FAVARO-TRINDADE, C.S., SANTANA, A.S., MONTERREY-QUINTERO, E.S., TRINDADE, M.A. y NETTO, F.M., 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. Food Hydrocolloids, vol. 24, no. 4, pp. 336-340. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2009.10.012.

FENNEMA, O. 2000. Química de los Alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España, pp. 1280. ISBN: 9788420009148.

FIORAMONTI, S.A., MARTINEZ, M.J., PILOSOF, A.M.R., RUBIOLO, A.C. y SANTIAGO, L.G., 2015. Multilayer emulsions as a strategy for linseed oil microencapsulation: Effect of pH and alginate concentration. Food Hydrocolloids, vol. 43, pp. 8-17. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2014.04.026.

FOLCH, J., LEES, M. y STANLEY, G., 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. The Journal of Biological Chemistry vol. 226, no. 1, pp. 497-509.

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. Journal of Supercritical Fluids, vol. 49, no. 3, pp. 323-329. ISSN 08968446. DOI 10.1016/j.supflu.2009.03.010.

FOX, P.F. y MCSWEENEY, P. L. H., 2003. Advanced dairy chemistry. 3rd Ed. New York, N.Y.: Kluwer Academic/Plenum. pp 1349.

FRITZEN-FREIRE, C.B., PRUDÊNCIO, E.S., AMBONI, R.D.M.C., PINTO, S.S., NEGRÃO-MURAKAMI, A.N. y MURAKAMI, F.S., 2012. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. Food Research International, vol. 45, no. 1, pp. 306-312. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2011.09.020.

- FUENTES-BERRIO, L. F., ACEVEDO-CORREA, D. y GELVEZ-ORDOÑEZ, V. M., 2015. Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 13, no. 2, pp. 140-149. ISSN 1909-9959. DOI 10.18684/BSAA (13)140-149.
- FUNAMI, T., FANG, Y., NODA, S., ISHIHARA, S., NAKAUMA, M., DRAGET, K.I., NISHINARI, K. y PHILLIPS, G.O., 2009. Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca²⁺binding. *Food Hydrocolloids*, vol. 23, no. 7, pp. 1746-1755. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2009.02.014.
- GALAZKA, V.B., SMITH, D., LEDWARD, D.A. y DICKINSON, E., 1999. Complexes of bovine serum albumin with sulphated polysaccharides: effects of pH, ionic strength and high pressure treatment. *Food Chemistry*, vol. 64, pp. 303-310. ISSN 03088146. DOI 10.1016/S0308-8146(98)00104-6.
- GALEANO, G. y BERNAL R., 2010. *Palmas de Colombia: Guía de campo*. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, pp. 688.
- GAO, M. y LIU, C.Z., 2005. Comparison of techniques for the extraction of flavonoids from cultured cells of *Saussurea medusa* Maxim. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 21, no. 8-9, pp. 1461-1463. ISSN 09593993. DOI 10.1007/s11274-005-6809-1.
- GARDNER, H. W., 1985. Oxidation of lipids in biological tissue and its significance. In *Chemical Changes in Food During Processing*. Springer, Dordrecht, pp. 177-203. ISBN: 9789401710183.
- GIBBS, B.F., KERMASHA, S., ALLI, I. y MULLIGAN, C.N., 1999. Encapsulation in the food industry: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 50, no. 3, pp. 213-224. ISSN 09637486. DOI 10.1080/096374899101256.

- GIMÉNEZ, B., TURNAY, J., LIZARBE, M.A., MONTERO, P. y GÓMEZ-GUILLÉN, M.C., 2005. Use of lactic acid for extraction of fish skin gelatin. *Food Hydrocolloids*, vol. 19, no. 6, pp. 941-950. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2004.09.011.
- GLASER, C., HEINRICH, J. y KOLETZKO, B., 2010. Role of FADS1 and FADS2 polymorphisms in polyunsaturated fatty acid metabolism. *Metabolism: Clinical and Experimental*, vol. 59, no. 7, pp. 993-999. ISSN 00260495. DOI 10.1016/j.metabol.2009.10.022.
- GOITIA FUNES, M.B. y AMURRIO DERPIC, D., 2016. Micro-encapsulación de aceite de chía. *Acta Nova*, vol. 7, no. 3, pp. 289-302. ISSN: 1683-0768.
- GOMES, G.V.L., SIMPLÍCIO, I.A.S., SOUTO, E.B., CARDOSO, L.P. y PINHO, S.C., 2013. Development of a lipid particle for β -carotene encapsulation using a blend of tristearin and sunflower oil: Choice of lipid matrix and evaluation of shelf life of dispersions. *Food Technology and Biotechnology*, vol. 51, no. 3, pp. 383-391. ISSN 13309862.
- GONNET, M., LETHUAUT, L. y BOURY, F., 2010. New trends in encapsulation of liposoluble vitamins. *Journal of Controlled Release*, vol. 146, no. 3, pp. 276-290. ISSN 01683659. DOI 10.1016/j.jconrel.2010.01.037.
- GRASSO, F.V., 2013. Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de La Plata. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/26889/Documento_completo__pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- GRUNDY, S. M., BILHEIMER, C. D., BLACKBURN, H., 1982. Rationale of the Diet-Heart Statement of the American Heart Association| Report of Nutrition Committee. *Nutrition Today*, Vol. 17, no. 5, pp. 16-20. ISSN: 0029-666X. DOI: 10.1097/NT.0b013e3181fe1597.
- GUDMUNDSSON, M., 2002. Rheological properties of fish gelatins. *Journal of Food Science*, vol. 67, no. 6, pp. 2172-2176. ISSN: 2446-8711.
- GUIDA, L., MARTINEZ, V., LÓPEZ, M.C., BLASCO, R., HERMIDA, L. y GALLARDO, G., 2013. Microencapsulación de aceite vegetal rico en

ácidos grasos ω -3 para el desarrollo de alimentos funcionales. [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 1-2. Disponible en: <https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/592.pdf>.

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*, vol. 80, no. 8, pp. 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*, vol. 62, no. 1, pp. 76-83. ISSN 0017-3495. DOI 10.3989/gya044510.

HARTMAN, L., y LAGO, R. C., 1973. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. *Laboratory practice*, vol. 22, no. 6, pp. 475-6.

HAYNES, C.A. y NORDE, W., 1994. Globular proteins at solid/liquid interfaces. *Colloids and Surfaces B Biointerfaces*, vol. 2, pp. 517-566. ISSN 09277765. DOI 10.1016/0927-7765(94)80066-9.

HAZEN, Y. S. y STOEWESAND, Y., 1980. Resultados de análisis del aceite y proteína del cultivo de sacha inchi. Universidad de Cornell. USA

HELGERUD, T., GASEROD, O., FJÆREIDE, T., ANDERSEN, P. y LARSEN, C., 2010. 4. Alginates. Food stabilisers, thickeners and gelling agents. Wiley-Blackwell, Oxford, pp. 50-72.

HERRERA VALENCIA, W., HERNÁNDEZ LONDOÑO, C. y MONTEALEGRE RAMIREZ, Y., 2010. Plantas oleaginosas del Caquetá, Amazonia Colombiana. *Ingenierías & Amazonia*, vol. 3, no. 1, pp. 28-39.

HERRERA, W., HERNÁNDEZ, C. y MONTEALEGRE, Y., 2010. Potencial industrial de plantas oleaginosas del Caquetá, Amazonia Colombiana. *Ingenierías & Amazonia*, vol. 3, no. 1, pp. 28-39.

HOFFMAN, A.S., 2012. Hydrogels for biomedical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 64, pp. 18-23. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.addr.2012.09.010>.

- HUANG, H.-J., YUAN, W.-K. y CHEN, X.D., 2006. Microencapsulation Based on Emulsification for Producing Pharmaceutical Products: A Literature Review. *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*, vol. 14, no. 3-4, pp. 515-544. ISSN 09691855. DOI 10.1002/apj.5500140318.
- HURTADO ORDOÑEZ, Z.A., 2013. Análisis composicional de la torta y aceite de semillas de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) cultivada en Colombia [en línea]. S.I.: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>.
- HUSSAIN, M.R. y MAJI, T.K., 2008. Preparation of genipin cross-linked chitosan-gelatin microcapsules for encapsulation of *Zanthoxylum limonella* oil (ZLO) using salting-out method. *Journal of Microencapsulation*, vol. 25, no. 6, pp. 414-420. ISSN 0265-2048. DOI 10.1080/02652040802025901.
- INGUNZA, G., 2009. Extracción, caracterización y refinación de aceite de pulpa y cascara de aguaje (*Mauritia flexuosa*). Facultad de Industrias Alimentarias. La Molina, Perú. pp. 172.
- ITP. Instituto Tecnológico Pesquero del Perú, 2009. Información Nutricional Sobre Algunos Peces Comerciales de la Amazonía Peruana, Boletín de Investigación, Pedro G. Aguilar Fernández, Blgo. Dr. CB., Callao –Perú, vol. 9, ISSN 1023-7070.
- JAMILAH, B. y HARVINDER, K.G., 2002. Properties of gelatins from skins of fish - Black tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and red tilapia (*Oreochromis nilotica*). *Food Chemistry*, vol. 77, no. 1, pp. 81-84. ISSN 03088146. DOI 10.1016/S0308-8146(01)00328-4.
- JARAMILLO GARCÉS, Y., 2013. La chía (*salvia hispánica* L.), una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos saludables. Corporación Universitaria Lasallista [en línea], pp. 1-43. Disponible en: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1043/1/La_chia_salvia_hispanica_L_desarrollo_alimentos_saludables.pdf.
- JIZOMOTO, H., KANAOKA, E., SUGITA, K. y HIRANO, K., 1993. Gelatin-Acacia Microcapsules for Trapping Micro Oil Droplets Containing Lipophilic Drugs

- and Ready Disintegration in the Gastrointestinal Tract. 1993. S.I.: s.n. ISBN 0724-8741.
- JOHNSON, J. D, 1997. Non-wood forest products: tropical palms. RAP Publication 1997/10. FAO, Bangkok, pp.166.
- JOHNSTON-BANKS, F. A., 1990. Gelatine. Ch. 7 in Food Gels, P. Harris (Ed.), p. 233-291. Elsevier Applied Food Science Series, London.
- JONGJAREONRAK, A., BENJAKUL, S., VISESSANGUAN, W. y TANAKA, M., 2006. Skin gelatin from bigeye snapper and brownstripe red snapper: Chemical compositions and effect of microbial transglutaminase on gel properties. Food Hydrocolloids, vol. 20, no. 8, pp. 1216-1222. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2006.01.006.
- JUMPSSEN, J. Y CLANDININ, M. T., 1995. Brain development: relationship to dietary lipid and lipid metabolism. AOCS Publishing.
- KARABULUT, İ., KAYAHAN, M. y YAPRAK, S., 2003. Determination of changes in some physical and chemical properties of soybean oil during hydrogenation. Food Chemistry, vol. 81, no. 3, pp. 453-456. ISSN 03088146. DOI 10.1016/S0308-8146(02)00397-7.
- KAUSHIK, P., DOWLING, K., BARROW, C. J. y ADHIKARI, B., 2015. Microencapsulation of omega-3 fatty acids: a review of microencapsulation and characterization methods. Journal of Functional Foods, vol. 19, no. 8, pp. 868–881.
- KHEIREDDIN, B., ZHANG, M. y AKBULUT, M., 2013. Adhesion, friction and lubrication of polymeric nanoparticles and their application. In: Polymer adhesion friction and lubrication. H. Zeng (Ed.). John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 617-657.
- KIM, J. y YOON, J.-Y.Y., 2002. Protein adsorption on polymer particles. Encyclopedia of surface and colloid science, vol. 1, no. 2, pp. 4373-4381. ISSN 0021-9304. DOI 10.1002/jbm.820210202.
- KING, A. H., 1988. Flavor encapsulation with alginates. In ACS Symposium series American Chemical Society, vol. 370, no. 13, pp. 122-125. ISBN: 9780841214828. DOI: 10.1021/bk-1988-0370.ch013.

- KIRK, R. E., OTHMER, D. F. y ABUNDIS CANALES, O., 1998. Enciclopedia de tecnología química. pp. 1492. SBN 9789681855765.
- KITTIPHATTANABAWON, P., BENJAKUL, S., VISESSANGUAN, W., NAGAI, T. y TANAKA, M., 2005. Characterisation of acid-soluble collagen from skin and bone of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*). *Food Chemistry*, vol. 89, no. 3, pp. 363-372. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2004.02.042.
- KOMMAREDDY, S., SHENOY, D.B. y AMIJI, M.M., 2005. Gelatin Nanoparticles and Their Biofunctionalization. *Nanotechnologies for the Life Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 330-352. DOI 10.1002/9783527610419.ntls0011.
- KOOLEN, H.H.F., DA SILVA, F.M.A., GOZZO, F.C., DE SOUZA, A.Q.L. y DE SOUZA, A.D.L., 2013. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC-ESI-MS/MS. *Food Research International*, vol. 51, no. 2, pp. 467-473. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2013.01.039.
- KRIVANKOVA, B., POLESNY, Z., LOJKA, B., LOJKAVA, J., BANOUT, J. y PREININGER, D., 2007. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae): A Promising Oilseed Crop from Peruvian Amazon. In *Proceedings of the Conference on International Agricultural Research and Development*, Witzenhausen, Germany, vol. 911, pp. 165.
- LAMARDO, R., 2016. Sacha inchi. *SANASANA Latino Health Magazine* [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.sanasana.com/latinohealthmagazine/conoce-los-beneficios-de-consumir-sacha-inchi/>
- LAWSON, H., 1999. Aceites y grasas alimentarios: tecnología, utilización y nutrición. *Acribia*. pp. 333. ISBN 9788420008806.
- LEE, J.-S., SONG, Y.-B., LEE, J.Y., KIM, M.K., JUN, S.J. y LEE, H.G., 2009. Optimization and oxidative stability of the microencapsulated conjugated linoleic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 45, no. 4, pp. 348-351. ISSN 01418130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2009.07.012.

- LERTSUTTHIWONG, P., NOOMUN, K., JONGAROONNGAMSANG, N., ROJSITTHISAK, P. y NIMMANNIT, U., 2008. Preparation of alginate nanocapsules containing turmeric oil. *Carbohydrate Polymers*, vol. 74, no. 2, pp. 209-214. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2008.02.009.
- LEWIS-MCCREA, L.M. y LALL, S.P., 2007. Effects of moderately oxidized dietary lipid and the role of vitamin E on the development of skeletal abnormalities in juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, vol. 262, no. 1, pp. 142-155. ISSN 00448486. DOI 10.1016/j.aquaculture.2006.09.024.
- LIU, L., FISHMAN, M.L. y HICKS, K.B., 2007. Pectin in controlled drug delivery – a review. *Cellulose*, vol. 14, no. 1, pp. 15-24. ISSN 0969-0239. DOI 10.1007/s10570-006-9095-7.
- LIU, Q., XU, Y.K., ZHANG, P., NA, Z., TANG, T. y SHI, Y.X., 2014. Chemical composition and oxidative evolution of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil from Xishuangbanna (China). *Grasas y Aceites*, vol. 65, no. 1, pp. e012. DOI <http://dx.doi.org/10.3989/gya.075713>.
- LUNN, J. y HANNAH, E., 2006. Nutrition in pregnancy. British Nutrition Foundation. Londres. Reino Unido.
- LUQUE DE CASTRO, M.D. y GARCÍA-AYUSO, L.E., 1998. Soxhlet extraction of solid materials: An outdated technique with a promising innovative future. *Analytica Chimica Acta*, vol. 369, no. 1-2, pp. 1-10. ISSN 00032670. DOI 10.1016/S0003-2670(98)00233-5.
- MACK, B., 1989. Mercado Mundial de las Grasas y los Aceites. *Revista Palmas*, vol. 10, no. 3, pp. 25-31.
- MAGDASSI, S., VINETSKY, Y., 1996. Microencapsulation of oil-in-water emulsions by proteins. *Drugs and the pharmaceutical sciences*, vol. 73, no. 1, pp. 21-33.
- MANCO, E., 2006. Cultivo de sachá inchi. INIA (Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria); Subdirección De Recursos Genéticos Y Biotecnología Estación Experimental Agraria "El Porvenir" - Tarapoto. 8p.

- MASSON, L. y MELLA, M., 1985. Materias grasas de consumo habitual y potencial en Chile. Editorial Universitaria, Santiago. Chile.
- MATISSEK, R., SCHNEPEL, F. M. y STEINER, B. O., 1998. Análisis de los alimentos: fundamentos, métodos, aplicaciones. Acribia, pp. 416. ISBN 9788420008509.
- MEDEIROS, M.C., AQUINO, J.S., SOARES, J., FIGUEIROA, E.B., MESQUITA, H.M., PESSOA, D.C. y STAMFORD, T.M., 2015. Buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.) negatively impacts somatic growth and reflex maturation and increases retinol deposition in young rats. *International Journal of Developmental Neuroscience*, vol. 46, pp. 7-13. ISSN 1873474X. DOI 10.1016/j.ijdevneu.2015.05.001.
- MENDONÇA, L.F., DA SILVA, M.C., FILHO, M.C.J., AMARAL, V.M., FILHO, S.A.M., ELIAS, J., SOUZA, R. y DE, R.R., 2017. Ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e ômega-6: importância no Alzheimer. *Revista Educação em Saúde*, vol. 5, no. 1.
- MERINO-ZEGARRA, C., VÁSQUEZ-OCMÍN, P., MACO, M., DEL-CASTILLO, D., VÁSQUEZ, G., CACHIQUE, D., PASQUEL, A. y SOTERO, V., 2008. Caracterización química de nueve accesiones de *Plukenetia volubilis* L. de los departamentos de Loreto y San Martín. *Folia amazónica*, vol. 17, no. 1-2, pp. 39-45.
- MESA, L. y GALEANO, G., 2013. Usos De Las Palmas En La Amazonia Colombiana. *Caldasia* [en línea], vol. 35, no. 2, pp. 351-369. ISSN 03665232. Disponible en: <http://www.icn.unal.edu.co/>.
- MINAGRI, 2013. Cultivo de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Boletín Técnico, Lima – Perú.
- MINEMOTO, Y., ADACHI, S. y MATSUNO, R., 1997. Comparison of Oxidation of Methyl Linoleate Encapsulated with Gum Arabic by Hot-Air-Drying and Freeze-Drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 45, no. 12, pp. 4530-4534. ISSN 00218561. DOI 10.1021/jf970465h.

- MOLDRICKX, M., 2012. Extracción del aceite oleoso de las semillas de cáñamo. DEMETER. [en línea]. [Consulta: 28 junio 2018]. Disponible en: http://www.demeter.org.es/cms/doku.php?id=es:tec.pro_sem_ace
- MONTERO, P. y GOMEZ-GUILLEN, M.C., 2000. Extracting Conditions for Megrim (*Lepidorhombus boscii*) Skin Collagen Affect Functional Properties of the Resulting Gelatin. *Journal of Food Science*, vol. 65, no. 3, pp. 434-438. ISSN 0022-1147. DOI 10.1111/j.1365-2621.2000.tb16022. x.
- MORENO SÁNCHEZ, G. A., 1991. Obtención y caracterización de aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y ungurahui (*Jessenia bataua*).
- NAVARRO-GARCÍA, G., BRINGAS-ALVARADO, L. y PACHECO-AGUILAR, R., 2004. Nueva Herramienta para el Estudio de la Oxidación de los Ácidos Grasos, una de las Causas Fundamentales de la Pérdida de Calidad de los Alimentos para la Acuicultura. *Avances en Nutrición Acuícola VII. Memorias del VII Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, vol. 1, no. 1, pp. 480-503.
- NORIS-SUÁREZ, K., LIRA-OLIVARES, J., FERREIRA, A.M., GRATEROL, A., FEIJOO, J.L. y LEE, S.W., 2007. Electrochemical Influence of Collagen Piezoelectric Effect in Bone Healing. *Materials Science Forum*, vol. 544-545, pp. 981-984. ISSN 1662-9752. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.544-545.981.
- NORVEEL, T. 2012. Analytical methods for determination of the oxidative status in oils (Master's thesis, Institutt for bioteknologi), pp. 4-5.
- NTP 151.400; (2009). (Norma Técnica Peruana). Aceite de Sacha Inchi del género *Plukenetia*. Requisitos.
- NUÑEZ, C.E., 2008. Extracción con Equipo Soxhlet. *Bioquímica y Biología Molecular* [en línea], vol. 15, no. 3, pp. 5. Disponible en: <http://www.cenunez.com.ar/archivos/39-extraccinconequiposoxhlet.pdf>.
- ORTUÑO SÁNCHEZ, M. F., 2006. Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes. aiyana ediciones, pp. 250. ISBN: 978-84-934522-1-6.

- OZDEMIR, M. Y FLOROS, J. D., 2004. Active food packaging technologies. *Critical reviews in food science and nutrition*, vol. 44, no. 3, pp. 185-193. ISSN: 1040-8398. DOI: 10.1080/10408690490441578.
- PAGAN, J., 1999. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes, pp. 1-138. DOI <https://doi.org/84-688-3807-1>.
- PANTOJA AREVALO, L. y MALDONADO MUÑOZ, S., 2012. Caracterización del contenido de aceite de dos oleaginosas: Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Y CANOLA (*Brassica napus* y *Brassica rapa*) [en línea]. S.l.: Universidad San Francisco de Quito. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1899/1/104939.pdf>.
- PARRA HUERTAS, R.A., 2010. Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Open Journal Systems*, vol. 63, no. 2, pp. 5669-5684. ISSN 0304-2847. DOI 0304-2847.
- PASCUAL CH, G. y MEJÍA, M., 2000. Extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.). (Ene-Mar 2000), vol. 42, no. 1, pp. 143-157.
- PASTUÑA-PULLUTASIG, A., LÓPEZ-HERNÁNDEZ, O., DEBUT, A., VACA, A., RODRÍGUEZ-LEYES, E., VICENTE, R., GONZALEZ, V., GONZÁLEZ-SANABIA, M. y TAPIA-HERNÁNDEZ, F., 2016. Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, vol. 45, no. 3, pp. 422-437. ISSN 1909-6356. DOI 10.15446/rcciquifa.v45n3.62029.
- PAUCAR-MENACHO, L.M., 2013. Guía de práctica de tecnología de aceites y grasas. Universidad Nacional del Santa, pp. 1-44.
- PAUCAR-MENACHO, L.M., SALVADOR-REYES, R., GUILLÉN-SÁNCHEZ, J., CAPA-ROBLES, J. y MORENO-ROJO, C., 2015. Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado. *Scientia agropecuaria*, vol. 6, no. 4, pp. 279-290. ISSN 20779917. DOI 10.17268/sci.agropecu.2015.04.05.

- PAUL, S., MITTAL, G.S. y CHINNAN, M.S., 1997. Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat/oil food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 37, no. 7, pp. 635-662. ISSN 1040-8398. DOI 10.1080/10408399709527793.
- PEREIRA COSTA, A.F., PONTES COELHO, M.J., NETO GAMBARRA, F.F., SANTOS BEZERRA, S.R., GALVÃO HARROP, R.K. y ARAÚJO UGULINO, M.C., 2008. NIR spectrometric determination of quality parameters in vegetable oils using iPLS and variable selection. *Food Research International*, vol. 41, no. 4, pp. 341-348. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2007.12.013.
- PÉREZ, C.E. y GUERRERO, C.A., 2006. Ácidos grasos en la dieta-diabetes mellitus e insulino resistencia. *Revista de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia*, vol. 54, no. 2, pp. 134-142.
- PÉREZ, J. y MERINO, M., 2010. Definición de estabilidad. recuperado de <https://definicion.de/estabilidad/>
- PONCE, M., 2000. Algunos aspectos de la biología poblacional de *Mauritia flexuosa* L. f. (Palma moriche) en los llanos sur orientales del Estado Guárico, Venezuela. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias.
- PONCELET, D., LENCKI, R., BEAULIEU, C., HALLE, J.P., NEUFELD, R.J. y FOURNIER, A., 1992. Production of alginate beads by emulsification/internal gelation. I. Methodology. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 43, no. 4, pp. 644-650. ISSN 14320614. DOI 10.1007/BF00164768.
- POPPE, J., 1997. Gelatin. In A. Imeson (Ed.), *Thickening and gelling agents for food* (2nd ed.). London: Blackie Academic and Professional, pp. 144-168.
- POPPEWELL, L. M., 2001. Evaluating encapsulation economics. *Perfumer & flavorist*, vol. 26, no. 2, pp. 2-6.
- PUIGVERT, J. Y. y GARZA, S., 2003. Los geles de pectina y su aplicación en la industria alimentaria. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, vol. 342, pp. 93-98.

- QUIPE, S. y SOLORZANO, R., 2015. Separación de ácidos grasos libres, carotenoides y tocoferoles contenidos en aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa*), Mediante destilación discontinua a vacío y cromatografía preparativa en columna. pp. 112.
- QUISPE JACOBO, F., AYALA ROJAS, M., INGUNZA REYES, G., LANDEO PINO, E. y PASCUAL CHAGMAN, G., 2009. Caracterización De Aceites, Tortas Y Harinas De Frutos De Ungurahui (*Jessenia Polycarpa*) Y Aguaje (*Mauritia flexuosa* L.) De La Amazonía Peruana. Revista de la Sociedad Química del Perú, vol. 75, no. 752, pp. 243-253.
- QUISPE LUKAÑA, S.S. y SOLARZANO CUTIPA, R. del P., 2015. Separación de ácidos grasos libres, carotenoides y tocoferoles contenidos en aceite de aguaje (*Mauritia flexuosa*), mediante destilación discontinua a vacío y cromatografía preparativa en columna [en línea]. S.l.: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Disponible en: <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/70/004-2-1-017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- RALET, M. C., DRONNET, V., BUCHHOLT, H. C. y THIBAUT, J. F., 2001. Enzymatically and chemically de-esterified lime pectins: characterization polyelectrolyte behavior and calcium binding properties. Carbohydrate Research, vol. 336, no. 2, pp. 117-125.
- RAMÍREZ, M. J., 2013. Evaluación de variables de un proceso de micro-encapsulación para la estabilización de polifenoles (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales).
- RANKES, M., 2000. Manual de la industria de los alimentos; ed. Acibia. Zaragoza, España, pp. 393-394.
- RESTREPO, J., ARIAS, N. y MADRIÑÁN, C., 2016. Determination of the Nutritional Value, Fatty Acid Profile and Antioxidant Capacity of Aguaje Pulp (*Mauritia Flexuosa*). Revista de Ciencias, vol. 20, no. 1, pp. 71-78. ISSN 0121-1935.
- RIVERA, Y., GUITÉRREZ, C., GÓMEZ, R., MATUTE, M. y IZAGUIRRE, C., 2014. Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio

- Libertador del Estado Mérida. Ciencia e ingeniería, vol. 35, no. 3, pp. 157-164.
- ROACH, P., FARRAR, D. y PERRY, C.C., 2005. Interpretation of Protein Adsorption: Surface-Induced Conformational Changes. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 127, no. 22, pp. 8168-8173. ISSN 0002-7863. DOI 10.1021/ja042898o.
- RODRIGUES, J.B., LEITÃO, N.J., CHAVES, K.S., GIGANTE, M.L., PORTELLA, M.C. y GROSSO, C.R.F., 2014. High protein microparticles produced by ionic gelation containing *Lactobacillus acidophilus* for feeding pacu larvae. *Food Research International*, vol. 63, pp. 25-32. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2014.02.005.
- RODRÍGUEZ, Á., CORAZON-GUIVIN, M., CACHIQUE, D., MEJÍA, K., DEL CASTILLO, D. y GARCÍA DÁVILA, C.R., 2010. Diferenciación morfológica y por ISSR (Inter simple sequence repeats) de especies del género *Plukenetia* (Euphorbiaceae) de la Amazonía peruana: propuesta de una nueva especie. *Revista Peruana de Biología*, vol. 17, no. 3, pp. 325-330. ISSN 1727-9933. DOI 10.15381/rpb.v17i3.7.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D.B., 2001. *A Guide To Carotenoid Analysis in Foods*. ILSI Press. Washington, DC: s.n. ISBN 1578810728.
- ROJO MARTÍNEZ, G., GARCÍA ESCOBAR, E., ARANDA, J. J., OLVEIRA, G., GARCÍA FUENTES, E., MORCILLO, S. y SORIGUER, F., 2005. La proporción de oleico en la dieta correlacionada con la actividad lipolítica de los adipocitos en cultivo y con la concentración de grasa de los tejidos. *Nutrición Hospitalaria*, vol. 20, pp. 197-211.
- ROLLOT, J. M., COUVREUR, P., ROBLOT-TREUPEL, L. y PUISIEUX, F., 1986. Physicochemical and morphological characterization of polyisobutyl cyanoacrylate nanocapsules. *Journal of pharmaceutical sciences*, vol. 75, no. 4, pp. 361-364.
- RONAYNE DE FERRER, P.A., 2000. Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación del lactante. *Arch. Argent. pediatr. Nutrición Clínica*, vol. 98, no. 4, pp. 231-238.

- ROSSELL, J. B., y PRITCHARD, J. L. R., 1991. Analysis of oilseeds, fats and fatty foods. Elsevier Science Publishers Ltd.
- ROSSELLÓ, C. G., 2006. Estudio Teórico De Las Interacciones Entre Aniones Y Sistemas π (Doctoral dissertation, Universitat de les Illes Balears), pp. 1-189.
- RUIZ-MURRIETA, J. y LEVISTRE-RUIZ, J., 2011. "El Aguajal": the Forest of Life in the Peruvian Amazon. *Ciencia Amazónica*, vol. 1, no. 1, pp. 31-40.
- RUZ, M., ARAYA, H., ATALAH, E. y SOTO, D., 1996. *Nutrición y Salud*. Departamento de Nutrición-Facultad de Medicina, universidad de Chile, Santiago. S.A., pp. 740.
- SALCEDO-SANDOVAL, L., COFRADES, S., RUIZ-CAPILLAS, C., MATALANIS, A., MCCLEMENTS, D.J., DECKER, E.A. y JIMÉNEZ-COLMENERO, F., 2015. Oxidative stability of n-3 fatty acids encapsulated in filled hydrogel particles and of pork meat systems containing them. *Food Chemistry*, vol. 184, no. 1, pp. 207-213. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.03.093.
- SANDOLO, C., MATRICARDI, P., ALHAIQUE, F. y COVIELLO, T., 2007. Dynamo-mechanical and rheological characterization of guar gum hydrogels. *European Polymer Journal*, vol. 43, no. 8, pp. 3355-3367.
- SANTAGAPITA, P.R., 2010. Estabilidad de enzimas en medios de movilidad molecular. Impacto de interacciones con azúcares y biopolímeros y de la encapsulación. Tesis Doctoral. «Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. <http://digital.bl.fcen.uba.ar>».
- 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
- SEZER, A.D. y AKBUG, J., 1999. Release characteristics of chitosan treated alginate beads: II. Sustained release of a low molecular drug from chitosan treated alginate beads However, there is limited information

- about chitosan treated alginate beads. *Journal of Microencapsulation*, vol. 16, no. 6, pp. 687-696.
- SHAHIDI, F. y HAN, X. Q., 1993. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, vol. 33, no. 6, pp. 501-547. DOI:10.1080/10408399309527645.
- SHANTHA, N. C. y DECKER, E. A., 1994. Rapid, Sensitive, Iron-Based Spectrophotometric Methods for Determination of Peroxide Values of Food Lipids. *Journal of AOAC International*, vol. 77, pp. 421-424.
- SHĪBUYA, N. y IWASAKI, T., 1978. Polysaccharides and Glycoproteins in the Rice Endosperm Cell Wall. *Agricultural and Biological Chemistry*, vol. 42, no. 12, pp. 2259-2266. ISSN 00021369. DOI 10.1080/00021369.1978.10863347.
- SHOULDERS, M.D. y RAINES, R.T., 2009. Collagen Structure and Stability. *Annual Review of Biochemistry*, vol. 78, no. 1, pp. 929-958. ISSN 0066-4154. DOI 10.1146/annurev.biochem.77.032207.120833.
- SIHUAYRO LARICO, D., 2013. evaluación del rendimiento en la extracción del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) del ecotipo predominante en el valle del río Apurímac (Ayacucho) y su caracterización físico-química y sensorial [en línea]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Disponible en: <http://tesis.unjbg.edu.pe:8080/handle/unjbg/294>.
- SILVA, D.F., FAVARO-TRINDADE, C.S., ROCHA, G.A. y THOMAZINI, M., 2012. Microencapsulation of lycopene by gelatin-pectin complex coacervation. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 36, no. 2, pp. 185-190. ISSN 01458892. DOI 10.1111/j.1745-4549.2011.00575. x.
- SILVA, M., DE LA ROSA, E., LINARES, T., TOMÁS, G. y GARRIDO, A., 2016. Obtención y caracterización del aceite de semilla de huayllabambana. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 19, no. 1, pp. 85-88.
- SMRDEL, P., BOGATAJ, M. y MRHAR, A., 2008. The influence of selected parameters on the size and shape of alginate beads prepared by

ionotropic gelation. *Scientia Pharmaceutica*, vol. 76, no. 1, pp. 77-89. ISSN 00368709. DOI 10.3797/scipharm.0611-07.

SONGCHOTIKUNPAN, P., TATTIYAKUL, J. y SUPAPHOL, P., 2008. Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 42, no. 3, pp. 247-255. ISSN 01418130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2007.11.005.

SOUZA, F.N., GEBARA, C., RIBEIRO, M.C.E., CHAVES, K.S., GIGANTE, M.L. y GROSSO, C.R.F., 2012. Production and characterization of microparticles containing pectin and whey proteins. *Food Research International*, vol. 49, no. 1, pp. 560-566. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2012.07.041.

SOXHLET, F., 1879. Die gewichtsanalytische Bestimmung des Milchfettes. *Polytechnisches J.*, 232, 461.

SPRECHER, H. y CHEN, Q., 1999. Polyunsaturated fatty acid biosynthesis: A microsomal-peroxisomal process. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, vol. 60, no. 5-6, pp. 317-321. ISSN 09523278. DOI 10.1016/S0952-3278(99)80006-4.

STORTI, E. F., 1993. Biología floral de *Mauritia flexuosa* Lin. Fil. na região de Manaus, Am, Brasil. En: *Acta amazónica*, vol. 23, no. 4, pp. 371-381.

SUAREZ, T., 2009. Aplicación del sachá inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) en la elaboración de mantequilla con alto contenido de omega 3 y evaluación de su aceptabilidad. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Chanchamayo-Perú.

SUFFREDINI, G., EAST, J.E. y LEVY, L.M., 2013. New Applications of Nanotechnology for Neuroimaging. *American Journal of Neuroradiology*, vol. 35, no. 7, pp. 1246--1253. DOI 10.3174/ajnr. A3543.

TANG, Y., SUN, J., FAN, H. y ZHANG, X., 2012. An improved complex gel of modified gellan gum and carboxymethyl chitosan for chondrocytes encapsulation. *Carbohydrate Polymers*, vol. 88, no. 1, pp. 46-53. ISSN 01448617. DOI 10.1016/j.carbpol.2011.11.058.

- TARI, T.A. y SINGHAL, R.S., 2002. Starch based spherical aggregates: Reconfirmation of the role of amylose on the stability of a model flavouring compound, vanillin. *Carbohydrate Polymers*, vol. 50, no. 4, pp. 417-421. ISSN 01448617. DOI 10.1016/S0144-8617(02)00033-4.
- TEITELBAUM, J.E. y WALKER, W. A., 2001. Review: the role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation. *The Journal of nutritional biochemistry*, vol. 12, no. 1, pp. 21-32. ISSN 1873-4847. DOI 10.1016/S0955-2863(00)00141-8.
- TELLO, F., FALFAN-CORTÉS, R.N., MARTINEZ-BUSTOS, F., MARTINS DA SILVA, V., HUBINGER, M.D. y GROSSO, C., 2015. Alginate and pectin-based particles coated with globular proteins: Production, characterization and anti-oxidative properties. *Food Hydrocolloids*, vol. 43, pp. 670-678. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2014.07.029.
- THIES, C., 1995. Preparation of microcapsules by using centrifugal force, needles, nozzles and sprays. *How to make microcapsules: lecture and laboratory manual*. St. Louis: Thies Technology.
- THU, B., BRUHEIM, P., ESPEVIK, T., SMIDSRØD, O., SOON-SHIONG, P. y SKJÅK-BRÆK, G., 1996. Alginate polycation microcapsules: I. Interaction between alginate and polycation. *Biomaterials*, vol. 17, no. 10, pp. 1031-1040. ISSN 01429612. DOI 10.1016/0142-9612(96)84680-1.
- TORRES, W., PONCE, A., OTAROLA, J., MURILLO, B. y ZARATE, B., 2009. Aplicación del sachá inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) en la elaboración de mantequilla con alto contenido de omega 3 y evaluación de su aceptabilidad. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Vicerrectorado de Investigación y Asuntos Internacionales. Perú.
- ULLAURI, P. G., 2010. Transporte de masa en extracción fase sólido-líquido. Quito-Ecuador: Recitela. *Vergou*, vol. 10, no. 2, pp. 1-13.
- ULLOA, C., ZARUCCHI, J. L. y LEÓN, B., 2004. Diez años de Adiciones a la Flora del Perú: 1993-2003. *Revista del Museo de Historia Natural*, pp.1-242.

- VALLES, C. E., 1995. *Plukenetia volubilis* L. "sacha inchi", Importante oleaginosa selvática. *Revista Pura Selva, Amazonas-Perú*, vol.10, no. 2, pp. 40-41.
- VALLES, C. R., 1991. El "sacha inchi", planta nativa de importancia proteica y aceitera promisorio para la selva alta. *Revista Pura Selva. Tingo María. Perú*, pp. 2.
- VÁSQUEZ-OCMÍN, P.G., FREITAS ALVARADO, L., SOTERO SOLÍS, V., PAVÁN TORRES, R. y MANCINI-FILHO, J., 2010. Chemical characterization and oxidative stability of the oils from three morphotypes of *Mauritia flexuosa* L.f, from the Peruvian Amazon. *Grasas y Aceites*, vol. 61, no. 4, pp. 390-397. ISSN 1988-4214. DOI 10.3989/gya.010110.
- VENEREO, J. R., 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana de medicina militar*, vol. 31, no. 2, pp. 126-133.
- VERLEYEN, T.; VAN DYCK, S.; ADAMS, C. A., 2005. Accelerated Stability Tests: "Analysis of Lipid Oxidation", 5th ed.; AOCS Press: Champaign-U.S.A.
- VICENTE, J., DE CARVALHO, M.G. y GARCIA-ROJAS, E.E., 2015. Fatty acids profile of Sacha Inchi oil and blends by ¹H NMR and GC-FID. *Food Chemistry*, vol. 181, pp. 215-221. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.02.092.
- VILLACHICA, H., 1996. Frutales y hortalizas promisorias de la amazonia. SPT-TCA. N° 44. Lima, Perú, pp. 8-16.
- WARD, A. G. y COURTS, A., 1977. *The Science and Technology of Gelatin* (New York: Academic), pp. 564. ISBN: 0127350500 9780127350509.
- WEINBRECK, F., DE VRIES, R., SCHROOYEN, P. y DE KRUIF, C.G., 2003. Complex Coacervation of Whey Proteins and Gum Arabic. *Biomacromolecules*, vol. 4, no. 2, pp. 293-303.
- WEST, J. M., 1986. *Corrosión y oxidación: fundamentos* (1. ed.). México d.f.: Limusa-Noriega. Disponible en <http://www.worldcat.org/title/corrosion-y-oxidacion-fundamentos/oclc/52978610#borrow>
- WONG, D. W., 1994. *Química de los alimentos: mecanismos y teoría*. Acribia, pp. 496. ISBN: 9788420007755.

- YEHUDA, S., RABINOVITZ, S., CARASSO, R.L. y MOSTOFSKY, D.I., 2002. The role of polyunsaturated fatty acids in restoring the aging neuronal membrane. *Neurobiology of Aging*, vol. 23, no. 5, pp. 843-853. ISSN 01974580. DOI 10.1016/S0197-4580(02)00074-X.
- YÉPEZ R. F., 2004. *Bioquímica Médica*. Quito: Arco Iris Producción Gráfica. pp. 503.
- YODIM, K.A., MARTIN, A. y JOSEPH, J.A., 2000. Essential fatty acids and the brain: Possible health implications. *International Journal of Developmental Neuroscience*, vol. 18, no. 4-5, pp. 383-399. ISSN 07365748. DOI 10.1016/S0736-5748(00)00013-7.
- ZHANG, Z., ZHANG, R. y MCCLEMENTS, D.J., 2016. Encapsulation of β -carotene in alginate-based hydrogel beads: Impact on physicochemical stability and bioaccessibility. *Food Hydrocolloids*, vol. 61, pp. 1-10. ISSN 0268005X. DOI 10.1016/j.foodhyd.2016.04.036.
- ZILLER, S., 1996. *Grasas y aceites alimentarios*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 71.
- ZUIDAM, N.J. y SHIMONI, E., 2010. Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, no. 1970, pp. 3-29. ISSN 1098-6596. DOI 10.1007/978-1-4419-1008-0.

ANEXOS

Anexo 1: Imágenes del proceso de extracción de AcPlukenetia.



Recepción de semillas de *Plukenetia volubilis* L.



Proceso de Lavado y desinfección de semillas *Plukenetia volubilis* L.



Proceso de sanitización de semillas de *Plukenetia volubilis* L.



Proceso de selección de almendras *Plukenetia volubilis* L.



Proceso de molienda de almendras de *Plukenetia volubilis* L.



Plukenetia volubilis L. molido



Proceso de llenado de *Plukenetia volubilis* L. molido en moldes.



Proceso de extracción de AcPlukenetia por prensa hidráulica



Acopio de AcPlukenetia



Filtrado de AcPlukenetia



Proceso de llenado en envase de vidrio AcPlukenetia.



Producto (AcPlukenetia.)

Anexo 2: Imágenes del proceso extracción de AcMauritia



Recepción de frutos de *Mauritia flexuosa*



Proceso de despulpado del fruto de *Mauritia flexuosa*



Proceso de pesado de la pulpa de *Mauritia flexuosa*.



Proceso de llenado de la pulpa de *Mauritia flexuosa* en moldes



Proceso de extracción de AcMauritia por prensa hidráulica



Proceso de separación del nadante.



1er proceso térmico para la obtención de AcMauritia



1er proceso de filtrado para la obtención de AcMauritia



2do proceso de tratamiento térmico.



2do proceso de filtrado



Proceso de llenado en envase de vidrio AcMauritia



Producto (AcMauritia)

Anexo 3: Producción de micropartículas por gelificación iónica



Preparación de la emulsión



Atomización



Micropartículas sin recubrir lavados y tamizadas



Micropartículas lavadas



Interacción electrostatica de MPmauritia y MPlukenetia



Micropartículas recubiertas lavados y tamizados

Anexo 4: Gráfica de la curva estándar de Fe^{3+} para evaluar peróxidos

