

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería y Arquitectura  
Carrera de Ingeniería Industrial



**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA VIDA  
ÚTIL DE LOS ACEITES DE SACHA INCHI  
(*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*)  
MICROENCAPSULADOS Y SU  
IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA**

Trabajo de investigación para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Karen Julissa Iparraguirre Chipana**

**Código 20122799**

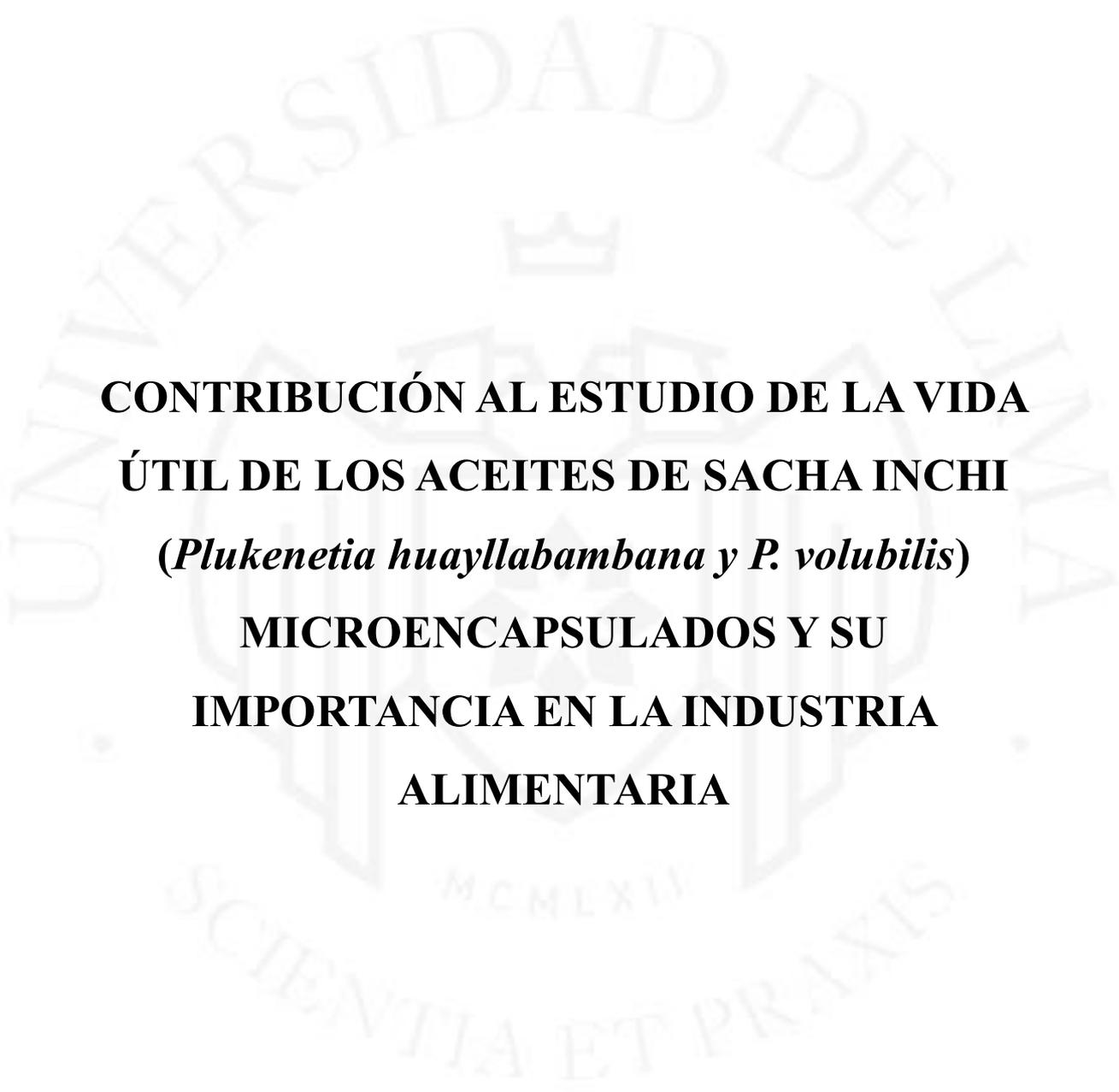
**Asesora**

Nancy Ascención Chasquibol Silva

Lima – Perú

Abril de 2019





**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA VIDA  
ÚTIL DE LOS ACEITES DE SACHA INCHI  
(*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*)  
MICROENCAPSULADOS Y SU  
IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA  
ALIMENTARIA**

# TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>5</b>
1.1. Situación problemática .....	5
1.2. Formulación del problema.....	10
1.3. Justificación de la investigación .....	10
1.3.1 Justificación social.....	10
1.3.2 Justificación tecnológica.....	17
1.3.3 Justificación económica.....	18
1.4. Objetivos de la investigación.....	30
1.4.1. Objetivo general .....	30
1.4.2. Objetivos específicos .....	30
1.5. Hipótesis de trabajo .....	31
1.6. Marco referencial.....	32
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>40</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	40
2.2. Bases teóricas .....	40
2.3. Marco conceptual.....	67
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....</b>	<b>73</b>
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	73
3.2. Unidad de análisis.....	73
3.3. Población de estudio.....	74

3.4. Tamaño de muestra.....	74
3.5. Selección de muestra .....	74
3.6. Procedimiento experimental .....	76
3.7. Técnicas de recolección de datos.....	80
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>82</b>
4.1. Resultados experimentales.....	82
4.2. Análisis de resultados experimentales .....	110
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>134</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>136</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>137</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>149</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Importaciones y exportaciones de productos de sachá inchi, 2013-2017 (kg neto) .....	29
Tabla 2.1 Clasificación de los lípidos según su complejidad .....	53
Tabla 2.2 Clasificación de los lípidos según su composición química, propiedades físicas y función .....	53
Tabla 2.3 Composición en ácidos grasos (% en peso del total) de alimentos comunes .	49
Tabla 2.4 Tiempo de inducción (ti) con desviación estándar (S) según el método Rancimat a diferentes temperaturas (horas).....	67
Tabla 4.1 Parámetros de calidad de los aceites de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> .....	82
Tabla 4.2 Porcentaje humedad y porcentaje rendimiento de las microcápsulas de los aceites sachá inchi.....	83
Tabla 4.3 Índice de peróxido (IP) del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado durante el tiempo de almacenamiento .....	108
Tabla 4.4 Índice de peróxido (IP) del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado durante el tiempo de almacenamiento .....	109
Tabla 4.5 Parámetros de calidad de los aceites de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> sin microencapsular y rangos establecidos .....	110
Tabla 4.6 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C .....	114
Tabla 4.7 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA+MD+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C .....	115

Tabla 4.8 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C.....	116
Tabla 4.9 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C .....	117
Tabla 4.10 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> sin microencapsular en el Rancimat a 25°C .....	118
Tabla 4.11 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C .....	119
Tabla 4.12 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C.....	120
Tabla 4.13 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C .....	121
Tabla 4.14 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C.....	122
Tabla 4.15 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C.....	123
Tabla 4.16 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> sin microencapsular en el StabNet a 25°C.....	124
Tabla 4.17 Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi, <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C.....	125
Tabla 4.18 Tiempo de inducción y tiempo de vida útil extrapolada a 25°C de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulado.....	126

Tabla 4.19 Índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> .....	130
Tabla 4.20 Índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite sachá inchi <i>P. volubilis</i> .....	131
Tabla 4.21 Energía de activación de las microcápsulas con aceite sachá inchi.....	133



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Composición en ácidos grasos de los aceites de sacha inchi ( <i>Plukenetia volubilis</i> ), oliva, crudo de pescado (%).....	6
Figura 1.2 Sacha inchi ( <i>Plukenetia huayllabambana</i> ) cultivado junto a la planta de huayruro como tutor vivo .....	8
Figura 1.3 Plagas del fruto, hoja y semilla de sacha inchi ( <i>Plukenetia huayllabambana</i> ).....	9
Figura 1.4 Visita técnica del equipo técnico de la Universidad de Lima a la “Cooperativa Agraria de Productores Sacha Inchi Huayllabamba - Rodríguez de Mendoza - Amazonas” .....	16
Figura 1.5 Exportación FOB, precios y kilos de los aceites vegetales exportados, 2015 - 2018 (%) .....	19
Figura 1.6 Exportación FOB, según las empresas exportadoras de aceites vegetales, 2017-hasta noviembre 2018 (\$) .....	20
Figura 1.7 Exportación FOB, según los países destino de exportación de aceites vegetales, 2018 (%).....	21
Figura 1.8 Exportación FOB, según principales presentaciones del producto sacha inchi, 2017 (%) .....	22
Figura 1.9 Exportación FOB, según evolución de las principales presentaciones del producto sacha inchi, 2014-2017 (\$) .....	22
Figura 1.10 Exportación FOB, según la presentación del producto sacha inchi, 2014-2017 (\$).....	23
Figura 1.11 Exportación FOB, según países destino de exportación del producto sacha inchi, 2017 (%) .....	23
Figura 1.12 Exportación FOB, según países destino de exportación del producto sacha inchi, 2014-2017 (\$) .....	24
Figura 1.13 Peso neto, según de productos exportados de sacha inchi, 2013-2017 (%) .....	25

Figura 1.14 Peso neto, según empresas exportadoras de productos de sachá inchi, 2013-2017 (%) .....	26
Figura 1.15 Peso neto, según países destinos de los productos de sachá inchi, 2013-2017 (%) .....	26
Figura 1.16 Peso neto, según productos importados de sachá inchi, 2013-2017 (%).....	27
Figura 1.17 Peso neto, según empresas importadoras de productos de sachá inchi, 2013-2017 (%) .....	28
Figura 1.18 Peso neto, según países origen de los productos de sachá inchi, 2013-2017 (%) .....	28
Figura 1.19 Importaciones y exportaciones de productos que contienen aceite de sachá inchi, 2013-2017 (kg neto).....	30
Figura 2.1 Principales diferencias morfológicas de los ecotipos de aceites de sachá inchi del género <i>Plukenetia</i> .....	42
Figura 2.2 Parámetros físico-químicos del aceite de sachá inchi ( <i>P. huayllabambana</i> ) 44	
Figura 2.3 Compuestos principales de ácidos grasos del aceite de sachá inchi ( <i>P. huayllabambana</i> ) .....	44
Figura 2.4 Compuestos principales de ácidos grasos del aceite de sachá inchi ( <i>P. volubilis</i> ) .....	45
Figura 2.5 Características físico-químicas de los ecotipos <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i> (%).....	45
Figura 2.6 Composición de ácidos grasos de los ecotipos <i>P. volubilis</i> y <i>P. huayllabambana</i> (%).....	46
Figura 2.7 Composición de ácidos grasos de granos de café.....	47
Figura 2.8 Información nutricional de la bebida de café sin azúcar .....	48
Figura 2.9 Composición de ácidos grasos de la semilla de kiwicha ( <i>Amaranthus</i> ).....	49
Figura 2.10 Composición de ácidos grasos de la semilla de quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> ).....	50
Figura 2.11 Perfil de ácidos grasos en 13 variedades y una línea de quinua (%).....	50

Figura 2.12 Composición de ácidos grasos de la semilla chía ( <i>Salvia hispanica</i> ) .....	51
Figura 2.13 Tipos de ácidos grasos.....	56
Figura 2.14 Forma <i>cis</i> y <i>trans</i> de los ácidos grasos insaturados.....	57
Figura 2.15 Ácidos grasos saturados palmítico y esteárico .....	57
Figura 2.16 Ácido oleico: <i>cis</i> -9-octadecenoico (18:1 n-9) .....	58
Figura 2.17 Ácido linolénico: <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-octadecatrienoico (18:3 n-3) .....	58
Figura 2.18 Ácido eicosapentanoico 20:5 n-3 (EPA) .....	58
Figura 2.19 Ácido docosahexanoico 22:6 n-3 (DHA).....	59
Figura 2.20 Ácido linoleico: <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-octadecadienoico (18:2 n-6) .....	59
Figura 2.21 Ácido araquidónico 20:4 n-6 (AA) .....	59
Figura 2.22 Mecanismo de autooxidación y los productos que se obtienen a partir de los hidroperóxidos .....	63
Figura 2.23 Equipo 892 Professional Rancimat .....	66
Figura 2.24 Principales ácidos grasos del aceite de sachá inchi ( <i>P. volubilis</i> ) sin microencapsular y microencapsulado (%).....	69
Figura 2.25 Equipo Mini Spray Dryer B-290 (marca Büchi).....	70
Figura 3.1 Prensa hidráulica utilizada para la extracción del aceite de sachá inchi .....	77
Figura 3.2 Balanza de humedad Sartorius MA-30 .....	78
Figura 3.3 Oxitester CDR .....	79
Figura 4.1 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> sin microencapsular a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	84
Figura 4.2 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> sin microencapsular a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	85
Figura 4.3 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	86

Figura 4.4 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	87
Figura 4.5 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	88
Figura 4.6 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	89
Figura 4.7 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	90
Figura 4.8 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	91
Figura 4.9 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90 °C .....	92
Figura 4.10 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70 °C .....	93
Figura 4.11 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	94
Figura 4.12 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	95
Figura 4.13 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> sin microencapsular a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	96

Figura 4.14 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> sin microencapsular a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	97
Figura 4.15 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	98
Figura 4.16 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	99
Figura 4.17 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	100
Figura 4.18 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	101
Figura 4.19 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	102
Figura 4.20 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	103
Figura 4.21 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	104
Figura 4.22 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C .....	105
Figura 4.23 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C .....	106

Figura 4.24 Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C.....	107
Figura 4.25 Porcentaje humedad y porcentaje rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi ( <i>P. huayllabambana</i> ).....	112
Figura 4.26 Porcentaje humedad y porcentaje rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi ( <i>P. volubilis</i> ).....	112
Figura 4.27 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C.....	114
Figura 4.28 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA+MD+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C.....	115
Figura 4.29 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C.....	116
Figura 4.30 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C.....	117
Figura 4.31 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> sin microencapsular en el Rancimat a 25°C.....	118
Figura 4.32 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C.....	119
Figura 4.33 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C.....	120
Figura 4.34 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C.....	121

Figura 4.35 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C....	122
Figura 4.36 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C .....	123
Figura 4.37 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> sin microencapsular en el StabNet a 25°C.....	124
Figura 4.38 Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C .....	125
Figura 4.39 Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C del aceite de sachá inchi, <i>P. huayllabambana</i> sin microencapsular y microencapsulado con diferentes materiales de pared (horas) .....	127
Figura 4.40 Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C del aceite de sachá inchi, <i>P. volubilis</i> sin microencapsular y microencapsulado con diferentes materiales de pared (horas) .....	128
Figura 4.41 El índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de sachá inchi ( <i>P. huayllabambana</i> ) con diferentes materiales de pared.....	130
Figura 4.42 El índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de sachá inchi ( <i>P. volubilis</i> ) con diferentes materiales de pared.....	131
Figura 4.43 Diagrama de la inversa de la temperatura absoluta y el logaritmo natural de los índices de estabilidad oxidativa .....	132

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Primera visita técnica realizada a los productores sacha inchi Huayllabamba - Rodríguez de Mendoza – Amazonas .....	150
Anexo 2: Sacha inchi <i>Plukenetia huayllabambana</i> de la provincia de Rodríguez de Mendoza departamento de Amazonas .....	151
Anexo 3: Base de datos ProQuest y Scopus .....	152
Anexo 4: Aceites vegetales ofrecidos en el mercado nacional .....	154



## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la estabilidad oxidativa de los aceites de sachá inchi *Plukenetia huayllabambana* (ASIH) y *Plukenetia volubilis* (ASIV) sin microencapsular y de los aceites de sachá inchi (*P. volubilis* y *P. huayllabambana*) microencapsulados con diferentes materiales de pared (Goma Arábica (GA), Hi-Cap, Capsul, Maltodextrina (MD) y Proteína concentrada de suero de leche (WPI)) empleando el método de Rancimat a las temperaturas 70, 80, 90 y 100°C. El proceso de extracción del aceite de sachá inchi (*P. volubilis* y *P. huayllabambana*) se realizó por prensado hidráulico en frío, con la finalidad de no dañar los ácidos grasos.

Los análisis físico-químicos que se realizaron a los aceites de sachá inchi y a los microencapsulados fueron: índice de acidez, índice de peróxidos, estabilidad oxidativa y humedad. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los tiempos de vida útil extrapolados de los aceites y las microcápsulas a 25°C fueron las siguientes: ASIH + Hi-Cap (2,232 h), ASIH + WPI + GA + MD (1614 h), ASIH + GA (1507 h), ASIH + GA + MD (1457 h), ASIH + Capsul (838.3 h), ASIH (1,388 h), ASIV + Hi-Cap (3464 h), ASIV + WPI + GA + MD (2019 h), ASIV + GA (1918 h), ASIV + GA + MD (1895 h), ASIV + Capsul (341.2 h) y ASIV (1105 h). El material de pared que mejor protegió a los aceites a 25°C fue el Hi-Cap con un tiempo de vida de 2,232 horas para el ecotipo *P. huayllabambana* y 3,464 horas para el ecotipo *P. volubilis*. Finalmente, se determinó que la energía de activación de la reacción de oxidación de los aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* fueron 71.20 kJ/mol y 78.35 kJ/mol, respectivamente.

El presente trabajo de investigación se desarrolló con el asesoramiento de la Dra. Nancy Chasquibol Silva y con la colaboración de los miembros del proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE “Microencapsulación de aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) y antioxidantes de la biodiversidad peruana. Contribución al desarrollo de alimentos funcionales conteniendo omega-3 para prevenir enfermedades no transmisibles” financiado por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, el Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

## ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the oxidative stability of sacha inchi oils *Plukenetia huayllabambana* (ASIH) and *Plukenetia volubilis* (ASIV) without microencapsulation and the sacha inchi oils (*P. volubilis* and *P. huayllabambana*) microencapsulated with different materials of wall (Arabic Gum (GA), Hi-Cap, Capsul, Maltodextrin (MD) and Whey Concentrate Protein (WPI)) using the Rancimat method at temperatures 70, 80, 90 and 100°C. The extraction process of sacha inchi oils (*P. volubilis* and *P. huayllabambana*) was carried out by cold hydraulic pressing, in order not to damage the fatty acids.

The physical-chemical analyzes that were carried out on sacha inchi oils and on the sacha inchi oils microencapsulated were the index acidity, peroxide index, oxidative stability and humidity. All determinations were carried out in triplicate. Extrapolated shelf lives (in hours) of the oils and the microcapsulated oils at 25°C were: ASIH + Hi-Cap (2,232 h), ASIH + WPI + GA + MD (1614 h), ASIH + GA (1507 h), ASIH + GA + MD (1457 h), ASIH + Capsul (838.3 h), ASIH (1.388 h), ASIV + Hi-Cap (3464 h), ASIV + WPI + GA + MD (2019 h), ASIV + GA (1918 h), ASIV + GA + MD (1895 h), ASIV + Capsul (341.2 h) and ASIV (1105 h). The wall material that best protected the oils was the Hi-Cap with a lifetime extrapolated to 25°C of 2,232 hours for the *P. huayllabambana* ecotype and 3,464 hours for the *P. volubilis* ecotype. Finally, it was determined that the activation energy of the oxidation reaction of the sacha inchi oils *P. huayllabambana* and *P. volubilis* were 71.20 kJ / mol and 78.35 kJ / mol, respectively.

The present research work was developed on the advice of Dr. Nancy Chasquibol Silva and with collaboration of the members of the project N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE "Microencapsulation of sacha inchi oils (*Plukenetia volubilis* and *P. huayllabambana*) and antioxidants of Peruvian biodiversity. Contribution to the development of functional foods containing omega-3 to prevent noncommunicable diseases" funded by the National Program of Agrarian Innovation of the Ministry of Agriculture and Irrigation, the World Bank and the Institute of Scientific Research of the University of Lima.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación está relacionada con la evaluación del tiempo de vida útil de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) debido a que es uno de los productos de exportación más importante en la cartera de biocomercio peruana (Sánchez Bartra, 2017; Biocomercio Perú; PROMPERU, 2013). La determinación de la estabilidad a la oxidación de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulados en sus dos ecotipos (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) se realizó mediante el método Rancimat y es una contribución a los procesos de la industria alimentaria en el Perú dado que la principal desventaja de los aceites de sachá inchi es su alta susceptibilidad a la oxidación por factores como el aire, luz, humedad y calor o por su propia naturaleza química (Fanali, Dugo, Cacciola, Beccaria, & Grasso, 2011).

El proceso de oxidación limita la vida útil de los lípidos y trae como consecuencias la pérdida del valor nutricional, la obtención de productos de baja calidad y la formación de compuestos indeseables; por ello, es necesario utilizar tecnologías industriales como la microencapsulación para mejorar la vida útil del producto final en polvo, favoreciendo el incremento de la economía, el consumo saludable del sachá inchi por su valor nutricional y funcional; y la conservación de su composición química, características funcionales, entre otros. El proceso de microencapsulación por el método de secado por aspersión (spray drying) es una tecnología de empaquetamiento que emplea diferentes materiales de pared (gomas, almidones, proteínas, entre otros) que permiten retardar las reacciones oxidativas de degradación, y del mismo modo, incrementar la vida útil de los aceites, disminuyendo significativamente los efectos de la degradación para un mejor aprovechamiento en el consumo saludable. Existen diferentes métodos para la determinación de la estabilidad oxidativa de los aceites, el método óptimo es el método Rancimat (Cabré Cabré & Massó Maresch, 2014; Paucar Menacho, Salvador Reyes, Guillén Sánchez, Capa Robles, & Moreno Rojo, 2015; Rodríguez, Villanueva, Glorio, & Baquerizo, 2015; Villanueva López, Castillo Benites, & Rodríguez Páucar, 2013), el cual fue empleado en el presente trabajo para determinar el tiempo de vida útil de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulados.

Por otro lado, la presente investigación promueve la revaloración de la biodiversidad peruana ya que el sachá inchi es oriundo de la selva peruana y es una de las pocas semillas que cuentan con un elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturado (omega 3 y omega 6); ácidos grasos monoinsaturados (omega 9), compuestos fenólicos, carotenoides, tocoferoles y esteroides que son beneficiosos para la salud porque ayudan a prevenir algunas enfermedades crónicas no transmisibles (CNT) y fomentan el biocomercio en el país.

El presente trabajo se encuentra desarrollado en cuatro capítulos. En el capítulo I, se realizó el planteamiento del problema donde se definió la situación problemática de los aceites vegetales, se formuló la pregunta del problema, se detallaron los objetivos (general y específicos), se planteó la hipótesis y se elaboró el marco referencial. En el capítulo II, se presentó el marco teórico, las bases teóricas y el marco conceptual de la investigación. En el capítulo III se detalló la metodología a usar en las determinaciones analíticas y en la determinación del índice de estabilidad oxidativa mediante el método Rancimat. Por último, en el capítulo IV, se presentaron los resultados experimentales de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulados obtenidos en el “Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales” del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales (CEIAF) para su evaluación y conclusiones finales.

El presente trabajo de investigación forma parte del proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE “Microencapsulación de aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) y antioxidantes de la biodiversidad peruana. Contribución al desarrollo de alimentos funcionales conteniendo omega-3 para prevenir enfermedades no transmisibles” del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, el Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Situación problemática

Dentro del ámbito nutricional, los lípidos, las proteínas y los carbohidratos son las tres principales clases de productos alimentarios para establecer dietas balanceadas para cada individuo. Los lípidos (representados mayoritariamente por aceites, grasas y ácidos grasos de cadena larga) juegan un papel importante porque son nutrientes esenciales de la dieta humana, fuentes de energía concentrada y aportan ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles en la nutrición humana.

Los aceites y grasas pueden sufrir reacciones químicas ya sea por su naturaleza química o por su manipulación (hidrólisis, hidrogenación y oxidación) que se deben identificar para evitar posibles problemas durante la etapa de almacenamiento, procesamiento y transporte (Lawson, 1999); por lo que la industria alimentaria, busca conservar el alimento en todas las etapas de la cadena productiva, lo cual ofrece una ventaja competitiva que permite a los exportadores asegurar la calidad del producto en los mercados nacionales e internacionales y al consumidor local.

Los aceites y grasas son manipuladas de manera industrial con el fin de convertir el aceite líquido en grasa sólida, pero los efectos en la salud pueden ser nocivos (Morales Millan, 2012); ya que cambian su composición, como en el caso de los ácidos grasos insaturados que presentan una configuración geométrica *cis*, al ser manipuladas pueden adoptar la forma geométrica *trans*.

El cuerpo no biosintetiza los ácidos grasos poliinsaturados u omegas, por ello, es necesario consumirlos en la dieta en alimentos o en suplementos vitamínicos. Las fuentes más importantes de omega 3 se encuentran en algunos animales marinos (como: sardina, atún, anguila, anchoa, arenque, bacalao, congrio, entre otros); sin embargo, los aceites de ciertas semillas son fuente importante de omega 3 (Ancira, 2008) como el aceite de sacha inchi que es un aceite poliinsaturados rico en ácidos grasos esenciales (omega 3, omega 6 y omega 9 (Follegatti-Romero, Piantino, Grimaldi, & Cabral, 2009; Gutiérrez, Rosada, & Jiménez, 2011). El aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) posee mayor porcentaje ácidos grasos insaturados (84.87%), en comparación del aceite de oliva (79.31%) y el

aceite crudo de pescado (62.58%) (Figura 1.1) (Paucar Menacho, Salvador Reyes, Guillén Sánchez, Capa Robles, & Moreno Rojo, 2015). Los aceites de sacha inchi presentan una alta susceptibilidad a la oxidación por su naturaleza química limitando su vida útil, pérdida de valor nutricional y formación de compuestos indeseables.

Figura 1.1

Composición en ácidos grasos de los aceites de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*), oliva, crudo de pescado (%)

Ácidos grasos	Tipo de aceite		
	Sacha Inchi	Oliva	Crudo de pescado
(C14:0) Mirístico	0,10 ± 0,00 b	0,01 ± 0,00 b	10,22 ± 0,00 a
(C16:0) Palmítico	10,83 ± 0,02 b	18,41 ± 0,01 a	22,8 ± 0,01 a
(C16:1) Palmitoteico	0,12 ± 0,00 c	1,51 ± 0,00 b	10,54 ± 0,00 a
(C18:0) Estearico	4,16 ± 0,13 a	2,27 ± 0,00 b	4,40 ± 0,00 b
(C18:1 cis) Oleico	22,43 ± 0,05 b	56,82 ± 0,00 a	9,62 ± 0,00 c
(C18:2 cis) Linoleico	50,65 ± 0,10 a	19,96 ± 0,01 b	1,51 ± 0,01 c
(C18:3 cis) Linolenico	11,17 ± 0,05 a	1,03 ± 0,03 b	0,99 ± 0,03 b
(C20:5n3) Eicosaipentaenoico	0,37 ± 0,00 b	0,00 ± 0,00 b	20,28 ± 0,00 a
(C22:6n3) Docosahexaenoico	0,14 ± 0,01 b	0,00 ± 0,00 b	19,64 ± 0,00 a
Omega – 3	11,68 ± 0,06 b	1,03 ± 0,03 c	40,91 ± 0,03 a
Omega – 6	50,65 ± 0,10 a	19,96 ± 0,01 b	1,51 ± 0,01 c
Omega-6/Omega-3	4.34 ± 0.08 b	19.37 ± 0.02 a	0.04 ± 0.02 c
Ácido graso Saturado	15,13	20,69	37,42
Ácido graso monoinsaturado	22,54	58,33	20,16
Ácido graso poliinsaturado	62,33	20,98	42,42
PUFA/SFA	5,61	3,83	1,67

Fuente: Scientia Agropecuaria (2015)

La semilla de sacha inchi *Plukenetia volubilis* es el ecotipo más comercial en el Perú con un contenido de  $\omega$ -3 entre 42.00 - 48.00% (NTP 151,400, 2014) y es la que encuentra más documentada en revista nacionales e internacionales; por otro lado, la semilla de sacha inchi *Plukenetia huayllabambana* es el ecotipo menos cultivado y contiene el mayor porcentaje de  $\omega$ -3 entre 55.62 - 60.42%,  $\omega$ -6 entre 36% y  $\omega$ -9 en 8%, entre otros componentes biofuncionales (Chasquibol, Yacono, Pérez Camino, del Águila, & Moreda, 2014). De la primera visita técnica del equipo técnico de la Universidad de Lima realizada a la “Cooperativa Agraria de Productores Sacha Inchi Huayllabamba - Rodríguez de Mendoza – Amazonas” en compañía de su presidente el Sr. Angel Mori Culqui y algunos asociados en el mes de diciembre del 2018 se observó lo siguiente:

- No existe una denominación de origen que garantice la variedad genética única de la semilla de *Plukenetia huayllabambana*.
- El sachá inchi *Plukenetia huayllabambana* no cuenta con instrumentos y equipos de descapsulado y descascarado adaptado a su semilla.
- No existe documentación de la etapa de polinización, cultivo con tutores vivos (como planta de huairuro), procesos de poda de formación y la poda de cosecha, entre otros, como sí existe para la variedad *Plukenetia volubilis*.
- No se encuentra documentado la cadena de valor para el ecotipo de la *P. huayllabambana* como existe para la *P. volubilis* desde la preparación para la siembra hasta la llegada al consumidor.
- Falta de manejo agronómico y fitosanitario específico.
- No se cuenta a la fecha con un manejo integral de plagas como los nemátodos y la mosca de la fruta, este último ataca al fruto impidiéndole que madure.
- No se cuenta con un análisis de suelos para poder controlar el agregado de abono y fertilizantes orgánicos.
- Actualmente, el control de plagas se realiza de manera artesanal empleando compost, bioles, Caldo Sulfocálcico, caldo de cenizas con jabón, azufre y cal.
- Existen problemas en implementación de los procesos de poda de formación y la poda de cosecha en todas las parcelas de los asociados.

- No se cuenta con programas de capacitación continua para manejo de plagas, control de suelos, recolección y cosecha de semilla, almacenamiento de semillas, entre otros.
- Falta de apoyo de organismos estatales como el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), gobierno regional, municipalidades, entre otros.

En la Figura 1.2, se observa la parcela visitada en el distrito de Omia en la provincia Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas donde ya se inició el uso de buenas prácticas de cultivo del sacha inchi junto a tutores vivos como la planta de huayruro (*Eritrina sp*).

Figura 1.2

Sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana*) cultivado junto a la planta de huayruro como tutor vivo



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

En la Figura 1.3, se observa las consecuencias en el fruto, las hojas y la semilla de sacha inchi por las plagas de hongos e insectos que, actualmente, se contrarrestan con fertilizantes orgánicos, bioles o biocidas. El fertilizante orgánico usado para las plagas de sacha inchi es el Caldo Sulfocálcico ya que es muy útil en la prevención y control de enfermedades causadas por hongos (SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria, 2017; el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IAAP), 2017).

Figura 1.3

Plagas del fruto, hoja y semilla de sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana*)



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

El presente trabajo de investigación evaluó el tiempo de vida útil por el método de Rancimat de los aceites de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) sin microencapsular y de los aceites de sacha inchi microencapsulados con diferentes materiales de pared por el método de secado por aspersion para disminuir las reacciones oxidativas de degradación del sacha inchi; y así, incrementar el tiempo de vida útil de los aceites de sacha inchi conservando sus características organolépticas y manteniendo su valor nutricional y funcional.

## **1.2. Formulación del problema**

La pregunta para la formulación del problema fue:

¿De qué manera la determinación del tiempo de la vida útil, a través del método Rancimat, de los aceites de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) sin microencapsular y aceites de sacha inchi microencapsulados contribuyen en el control de calidad y tiempo de vida de los aceites de sacha inchi para ser empleado por la industria alimentaria y en otros procesos tecnológicos?

## **1.3. Justificación de la investigación**

### **1.3.1 Justificación social**

#### **Tendencia positiva al consumo de alimentos funcionales**

Los alimentos funcionales, aparecieron en el mercado de Estados Unidos en 1998, con el tiempo, este segmento ha evolucionado con grandes oportunidades en la industria de alimentación y salud gracias a la personalización y fragmentación. En las tendencias actuales, el consumidor busca mejorar la salud digestiva, alimentación con base vegetal y la obtención de alimentos que son funcionales de forma natural; por ello, el exportador peruano deberá considerar la oportunidad que representa para el desarrollo de nuevos productos e ingredientes bioactivos funcionales en este mercado tan complejo y tan fragmentado (OCEX (Oficina Comercial del Perú en el exterior), 2018). El aceite de sacha inchi es considerado como alimento funcional por su contenido de ácidos grasos esenciales. Los alimentos funcionales están relacionados con algún tipo de beneficio para la salud porque además de alimentar o nutrir, aportan muchos beneficios en la salud (PROMPERU, 2008).

Según un informe reciente de Moody's Investor Services, los hábitos alimenticios de muchos consumidores no son saludables y nutricionales provocando sobrepeso. En el Perú, en la actualidad han aumentado la demanda de los consumidores más conscientes de la salud y exigen productos alimenticios más saludables, al igual que en todo el mundo (Euromonitor, 2018). El Perú es líder exportador de “Superfoods” consumidos en todo el mundo, en este sentido, en el 2018 el gobierno alzó las tasas de productos como las

bebidas azucaradas con la finalidad de alentar a los consumidores el hábito de alimentación y bebidas más saludables (Perú 21, 2018).

### **Beneficios en la salud**

En 1957, la Dra. Johanna Budwig documentó los efectos de los ácidos grasos omega-3 sobre el organismo en base a resultados obtenidos en la experimentación en animales, y comprobó en personas que el  $\omega$ -3 limitaba las demencias, depresiones y el cáncer. La Dra. Johanna Budwig fue la primera científica que realizó una diferenciación de las grasas saturadas e insaturadas en un Congreso de investigadores sobre las grasas en Munich en 1950. En sus investigaciones, demostró la nocividad de las grasas *trans* que eran utilizadas en el comercio alimentario, con esto evidenció la relación entre la alimentación y los procesos patológicos. Respecto al cáncer, se basó en la hipótesis de Otto Heinrich Warburg que demostró falta de oxigenación de las células cancerígenas y que las células corporales que no utilizan oxígeno no desarrollarían cáncer (Nobel Lectures, 1970). La Dra. Budwig desarrolló un tipo de alimentación a nivel preventivo y terapéutico, dentro de ello, encontró los efectos positivos en la combinación aceite-proteína y afirmaba que con su dieta, baños de sol, ejercicio físico, reposo y actitud positiva se llegaba a curar el 90% de sus pacientes de cáncer (Vinyes, 2012); sin embargo, para documentarlo debió realizar investigaciones de campo. Más tarde, realizó las pruebas con enfermos desahuciados o en estado terminal, por lo que fue denunciada muchas veces por los doctores, pero nunca perdió un juicio por la condición en la que se encontraban los pacientes.

La semilla y la planta de sacha inchi son usados de manera medicinal, industrial y alimentaria. Los beneficios en la salud humana que ofrece el aceite de sacha inchi son:

- El aceite y la semilla de sacha inchi es utilizado como reconstituyente para el trabajo o fuente de energía (Flores & Lock, 2013; Norma Alayón & Echeverri J., 2016).
- La mezcla del aceite de sacha inchi y la harina de la semilla logran una crema para revitalizar, hidratar y rejuvenecer la piel y el cabello (Flores & Lock, 2013; PROMPERU, s.f.).

- El aceite de sacha inchi es untado para curar dolores musculares, artritis, osteoporosis y reumatismo, gracias a sus propiedades antiinflamatorias (Flores & Lock, 2013).
- Impacto positivo a la salud cardiovascular y regula la presión arterial, con esto, previene derrames cerebrales, infarto al miocardio y la trombosis arterial (Norma Alayón & Echeverri J., 2016; PROMPERÚ, s.f.; Garmendia, Pando, & Ronceros, 2011).
- Favorece la reducción de las lipoproteínas de baja densidad (LDL siglas en inglés) o también llamados colesterol malo en la sangre y estimula el crecimiento de las lipoproteínas de alta densidad (HDL siglas en inglés) o también llamados colesterol bueno (PROMPERÚ, s.f.; Garmendia, Pando, & Ronceros, 2011).
- Reduce las tasas de triglicéridos al mejorar el riego sanguíneo (PROMPERÚ, s.f.; Alves Vargas & Vásquez Ocmin, 2013).
- Contrarresta problemas de colon irritable e hígado graso (PROMPERÚ, s.f.; Jácome Pozo; Huamán, y otros, 2008).
- Las virtudes del uso de los aceites de omega-3 contra el cáncer y otras enfermedades degenerativas, el omega 3 facilita el paso de oxígeno a la célula lo que hace que el cáncer no sobreviva (Pitchford, 2007).
- Evita y disminuye los trastornos del sistema nervioso, la demencia en adultos mayores y de problemas cognitivos (Cubero Castillo, Gonzalez, Herrea, & Hernández, 2016).

Finalmente, el consumo del aceite de sacha inchi del ecotipo *Plukenetia volubilis* (aproximadamente 2 g de omega -3) mostró aceptabilidad y la falta de efectos adversos o contraindicaciones (Norma Alayón & Echeverri J., 2016); sin embargo, el consumo

excesivo del aceite de sacha inchi podría ocasionar resistencia a la insulina, es decir, elevar el azúcar en la sangre (Garmendia, Pando, & Ronceros, 2011).

### **Reconocimiento a nivel nacional e internacional**

El aceite de sacha inchi cuenta con la valoración y reconocimiento, a nivel nacional, del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (Mincetur) como la marca “Superfoods Peru” en la cual se promocionan alimentos peruanos en Europa, América, Asia y Oceanía; esta variedad de alimentos se caracteriza por ser de calidad y brindar beneficios al consumidor. La marca se encuentra respaldado por el sector privado, representado por gremios peruanos como la Asociación de Exportadores (ADEX), la Cámara de Comercio de Lima (CCL), Asociación de Gremios Productores Agrarios del Perú (AGAP), entre otros.

Por otro lado, la promoción de los superalimentos se logró gracias a las nuevas tendencias de los clientes y su preocupación por estilos de vida más saludables; actualmente, estos superalimentos se ofrecen en los principales mercados y ferias alimentarias globales debido a que el lanzamiento de estos alimentos y bebidas basadas se incrementaron a 202% entre el 2011 y el 2015 (Mincetur, 2017). Entre los alimentos promocionados encontramos: sacha inchi, castaña, cacao, chía, cañihua, quinua, entre otros.

Además, la semilla de sacha inchi es un producto nativo priorizado por el programa de promoción del biocomercio (PROMPERU, 2011) y su industrialización es fuente de ingreso, desarrollo social y fortalecimiento de cadenas productivas. Otro reconocimiento que se le otorga a la semilla de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) mediante la Ley Peruana N° 28477 del año 2005, que señala: “Ley que declara a los Cultivos, Crianzas Nativas y Especies Silvestres usufructuadas Patrimonio Natural de la Nación”, designando al Ministerio de Agricultura la responsabilidad del registro, la difusión, conservación y promoción del material genético, el fomento de las actividades de producción, industrialización, comercialización y consumo interno y externo de los cultivos, crianzas nativas y especies silvestres usufructuadas (El Peruano, 2005).

En septiembre del 2004, El Congreso de la República del Perú declaró a la semilla de sacha inchi como “Patrimonio genético nacional y producto alternativo en la lucha

contra la pobreza” bajo la Ley 11367/2004-CR (Congreso de la República, 2004). En el 2009, se presentó la primera edición de la Norma Técnica Peruana (NTO 151,400,2009) con el fin de estandarizar los niveles de calidad e inocuidad del aceite de sachá inchi para su comercialización (a nivel nacional, así como para exportación) o consumo directo (INDECOPI, 2009), esta norma sirve como precedente para la implementación de nuevas normas.

A nivel internacional, el aceite de sachá inchi se le consideró como “Aceites del Mundo” en el World Ethnic Food Show el 16 de junio del 2004 en París (Francia). En el 2009, la FAO reconoció a la semilla de sachá inchi como una semilla oleaginosa con un alto contenido de omegas; también, la FAO, OMS y ONU recomendó el consumo de sachá inchi en niños de la edad escolar en la Reunión Consultiva de Expositores en 1985 y reconoce el adecuado el contenido de aminoácidos esenciales encontrado en el aceite de sachá inchi en los ecotipos de *Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*. En el 2014, la Food and Drug Administration (FDA), autoridad sanitaria de Estados Unidos, declaró el aceite de sachá inchi un alimento seguro para el consumo humano y le otorgó la condición de Generally Recognized as Safe (GRAS) gracias a estudios científicos y ensayos de laboratorios realizados, esto permitió mayor aceptación en la exportación. En febrero del mismo año, la Unión Europea aceptó al aceite de sachá inchi en la lista de Novel Food donde fue necesario presentar un dossier científico que pruebe la inocuidad del producto y que este se encuentre apto para el consumo humano ante la Autoridad de Seguridad Alimenticia de Irlanda (El Comercio, 2014).

### **Programas nacionales en favor del desarrollo**

Existen programas que ayudan con una variada plataforma de oportunidades para lograr una Amazonía sostenible. En el caso de la selva, los productores que participan en estos programas se sienten orgullosos de su distancia con la producción de la hoja de coca e implementan cultivos alternativos ya que esta planta causa grandes problemas de tráfico de drogas (ANDINA, 2018). Los productores pueden ofrecer sus productos a las empresas compradoras nacionales e internacionales de forma directa como lo es la feria de Expoamazónica que reúne año a año a muchos productores de café, aguaje, castañas, sachá inchi, camu camu, palmito, unguirahui (El Peruano, 2017) ya que estos programas

los ayuda a promover sus productos, brindar asesorías para mejorar la cadena productiva de la elaboración de sus productos para darles un valor agregado y mejorar su calidad.

En el 2018, Expoamazónica generó negocios por más de S/.94 millones logrando superar la meta en un 10% donde el camu camu y el sacha inchi fueron las estrellas (El Comercio, 2018). Muchos de estos programas brindan incentivos para una mejora tecnológica a través del Ministerio de Producción Ministerio de Agricultura y Riego, Comisión Nacional para el Desarrollo, Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (Pomperú) con diferentes programas como: Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), Programa Presupuestal de Desarrollo Alternativo Integral y Sostenible y Vida sin Drogas (Devida); además, programas y fondos de Innóvate Perú como el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad, Programa de Ciencia y Tecnología, entre otros. Gracias a estos programas y a la articulación del Estado en estas regiones, muchas cooperativas junto a otras instituciones pueden ser partícipe de estos concursos. Los ganadores de dichos concursos reciben grandes beneficios como capacitaciones, pasantías, participación en ferias, entre otros.

Las semillas de sacha inchi son oriundas de la selva peruana y cuenta con alrededor de 19 acotipos de las cuales cinco de ella tiene sus orígenes en la Amazonía peruana como son: *Plukenetia volubilis*, *P. huayllabambana*, *P. brachybotrya*, *P. polyandenia* y *P. lorensis*. El ecotipo *P. volubilis* es la más cultivada en el Perú a una altitud entre los 30 a 2110 msnm y el ecotipo *P. huayllabambana*, se cultiva principalmente en la provincia de Rodríguez de Mendoza (departamento de Amazonas) a una altitud entre los 200 a 1500 msnm, registrado en la primera visita técnica del equipo técnico de la Universidad de Lima realizada a la “Cooperativa Agraria de Productores Sacha Inchi Huayllabamba - Rodríguez de Mendoza – Amazonas” en el mes de diciembre del 2018. Muchos agricultores se dedican al cultivo de esta semilla e incluso forman cooperativas para interactuar entre ellos, intercambiar conocimientos y poder concursar a los programas mencionados, algunas cooperativas de sacha inchi son:

- “Cooperativa Agraria de Productores de Sacha Inchi Huayabamba - Rodriguez de Mendoza – Amazonas”
- “Cooperativa Agraria de Productores de Sacha Inchi Sembrando Futuro” (San Martín)

- “Cooperativa la Buena Cosecha “Allima Pallama”-COOPALLIMAP” (Lamas - San Martín)
- “Cooperativa de Sacha Inchi Ltda-COOPERSACH” (Picota- San Martín).

Figura 1.4

Visita técnica del equipo técnico de la Universidad de Lima a la “Cooperativa Agraria de Productores Sacha Inchi Huayllabamba - Rodríguez de Mendoza - Amazonas”



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Los agricultores junto a la Cooperativa se encargan de evaluar el estado de las semillas de sachu inchi para ser ofrecidas a las empresas que comercializadoras que obtienen el sachu inchi en semilla o en aceite, según lo requieran. Las empresas con mayor participación en los últimos años en exportaciones son las siguientes:

- AMAZON HEALTH PRODUCTS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
- AGROINDUSTRIAS OSHO S.A.C.

- SHANANTINA S.A.C.
- EXPORTACIONES AMAZONICAS NATIVAS SRLTDA.
- RODA SELVA S.A.C.

Las empresas con mayor participación en los últimos años en importaciones son las siguientes:

- AGROINDUSTRIAS OSHO S.A.C.
- INKANATURA WORLD PERU EXPORT SOCIEDAD

### **1.3.2 Justificación tecnológica**

#### **Información disponible**

La información existente, en diferentes bases de datos, permite informarnos acerca de investigaciones realizadas con el aceite de sacha inchi en Scopus y Proquest (bases de datos de referencia bibliográficas, citas y artículos de revistas científicas, libro y otros). En estos recursos, con gran impacto a nivel mundial, se puede encontrar 25 documentos acerca de microencapsulación en Scopus y cerca de 69 artículos en Proquest. Por otro lado, se encuentran 87 documentos con información acerca del aceite de sacha inchi del ecotipo de *Plukenetia volubilis* y 4 documentos con información acerca del aceite de sacha inchi del ecotipo *P. huayllabambana* en Scopus y en la base de datos de Proquest, se puede encontrar 144 documentos con información acerca del aceite de sacha inchi del ecotipo de *P. volubilis* y 8 documentos con información acerca del aceite de sacha inchi del ecotipo *P. huayllabambana* (Ver anexos). Existen investigaciones previas de los aceites de sacha inchi de ambos ecotipos, de la cuáles se pueden usar dicha información para formular nuevas rutas de investigación. Existen 2 trabajos de investigación relacionados a la microencapsulación del aceite de sacha inchi *P. volubilis* y no existen investigaciones previas de microencapsulación de los aceites de sacha inchi del ecotipo

*P. huayllabambana*, siendo esta la primera en su clase (Ver anexos). Referente a la microencapsulación de aceites encontramos en la búsqueda los siguientes aceites: mora, pequi, café, tomillo y oliva.

### **Equipos y materiales necesarios para determinar los parámetros de calidad de los aceites**

Las empresas como clave de competitividad de los países buscan invertir en tecnología, investigación y desarrollo a fin de diversificar y conseguir nuevos productos o productos mejorados. Respecto a la microencapsulación del sachá inchi, no existe este producto en el mercado nacional, por ello, se debe determinar el tiempo de vida útil y otros parámetros de calidad para ser incorporado a nivel industrial.

La investigación aplicada se llevó a cabo en el “Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales” del Centro de Innovación y Alimentos Funcionales (CEIAF) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en las instalaciones de la Universidad de Lima.

Los equipos, materiales, reactivos e insumos fueron obtenidos con fondos del proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE “Microencapsulación de aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) y antioxidantes de la biodiversidad peruana. Contribución al desarrollo de alimentos funcionales conteniendo omega-3 para prevenir enfermedades no transmisibles”, para determinar los parámetros de calidad de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y de los aceites de sachá inchi microencapsulado como el periodo de inducción (PI), determinación del tiempo de vida útil de los aceites de sachá inchi, entre otros.

### **1.3.3 Justificación económica**

Dentro de la justificación económica se encontró información en diferentes bases de datos nacionales utilizados por empresas nacionales e internacionales que están interesadas en conocer el mercado de los aceites vegetales como el aceite de sachá inchi, entre otros.

El sector de aceites vegetales, a nivel mundial tiene un panorama prometedor y tendencia positiva en los últimos años porque los consumidores prefieren una alimentación más sana y que le otorgue otros beneficios a la salud. Además, se observa que, a mayor ingreso de la población, existe una mayor participación de los aceites

vegetales y; respecto a la seguridad alimentaria, existe disponibilidad y acceso a los aceites vegetales en Latinoamérica que satisface ampliamente la demanda mundial de aceites puesto que dispone con más de 22 millones de hectáreas (Fry, 2018).

Algunos aceites vegetales exportados desde el Perú son los aceites de achiote, aguaje, chia, copaiba, palta, jojoba, castaña, linaza, sacha inchi, entre otros. Desde el año 2015 hasta el 2017, el aceite de sacha inchi es exportado con un precio por litro en aumento, mientras que el peso (kg) y el FOB (\$) son variantes en el tiempo. Según Agrodataperu, plataforma que procesa información relacionada con el Comercio Exterior Agropecuario de Perú, los aceites vegetales que exportó el Perú desde el año 2015 hasta noviembre del 2018 son mostrados en la Figura 1.5.

Figura 1.5

Exportación FOB, precios y kilos de los aceites vegetales exportados, 2015 - 2018 (%)

PRODUCTO	2,018			2,017			2,016			2,015		
	FOB US\$	KILOS	PRECIO									
Aceite Achiote				92,122	2,000	46.06	214,455	5,000	42.89			
Aceite de Aguaje	37,374	1,108	33.73	46,800	1,178	39.73	37,703	985	38.28	38,107	1,192	31.97
Aceite Castaña	693,562	35,841	19.35	482,372	28,960	16.66	706,759	56,245	12.57	223,638	18,619	12.01
Aceite de Chia	206,735	9,250	22.35	257,450	18,636	13.81	109,208	8,159	13.38	29,415	1,020	28.84
Aceite Copaiba	7,869	754	10.44	1,952	51	38.27	3,437	116	29.63	2,195	40	54.88
Aceite Eucalipto	25	5	5.00	10	2	5.00						
Aceite Inca Inchi	260,906	15,788	16.53	433,693	22,613	19.18	273,493	14,505	18.86	347,970	20,153	17.27
Aceite Jojoba	6,901	259	26.64	582,065	41,040	14.18	475,776	32,160	14.79	8,042,057	464,135	17.33
Aceite Maracuya	142,759	14,216	10.04	131,872	12,748	10.34	77,813	8,397	9.27	19,836	1,760	11.27
Aceite Linaza												
Aceite Nuez de Brasil	340,685	17,480	19.49	228,363	15,290	14.94				259,858	20,377	12.75
Aceite Palo de Rosa	207,896	482	431.32	305,216	795	383.92				64,750	227	285.24
Aceite Palo Santo	875	2	437.50				99,358	993	100.06			
Aceite Palta	1,396,120	167,200	8.35	1,550,840	182,438	8.50	1,329,554	159,420	8.34	1,301,733	152,219	8.55
Aceite Ricino	15	1		4	1	4.00	4	1	4.00			
Aceite Sacha Inchi	1,857,379	99,335	18.70	1,575,913	98,603	15.98	1,570,396	89,453	17.56	1,576,448	91,456	17.24
Aceite Ungurahui				5,664	131	43.24	10,460	309	33.85			
Aceite Vegetal Varios	85,658	3,108	27.56	4,357	2,918	1.49	26,487	3,840	6.90	122,414	4,460	27.45
<b>Total general</b>	<b>5,244,759</b>	<b>364,829</b>	<b>14.38</b>	<b>5,698,693</b>	<b>427,404</b>	<b>13.33</b>	<b>4,934,903</b>	<b>379,583</b>	<b>13.00</b>	<b>2,028,421</b>	<b>775,658</b>	<b>15.51</b>

Fuente: Agrodataperu (2018)

Los aceites vegetales con mayor participación en las exportaciones nacionales fueron los aceites de palta, jojoba, castaña y sacha inchi.

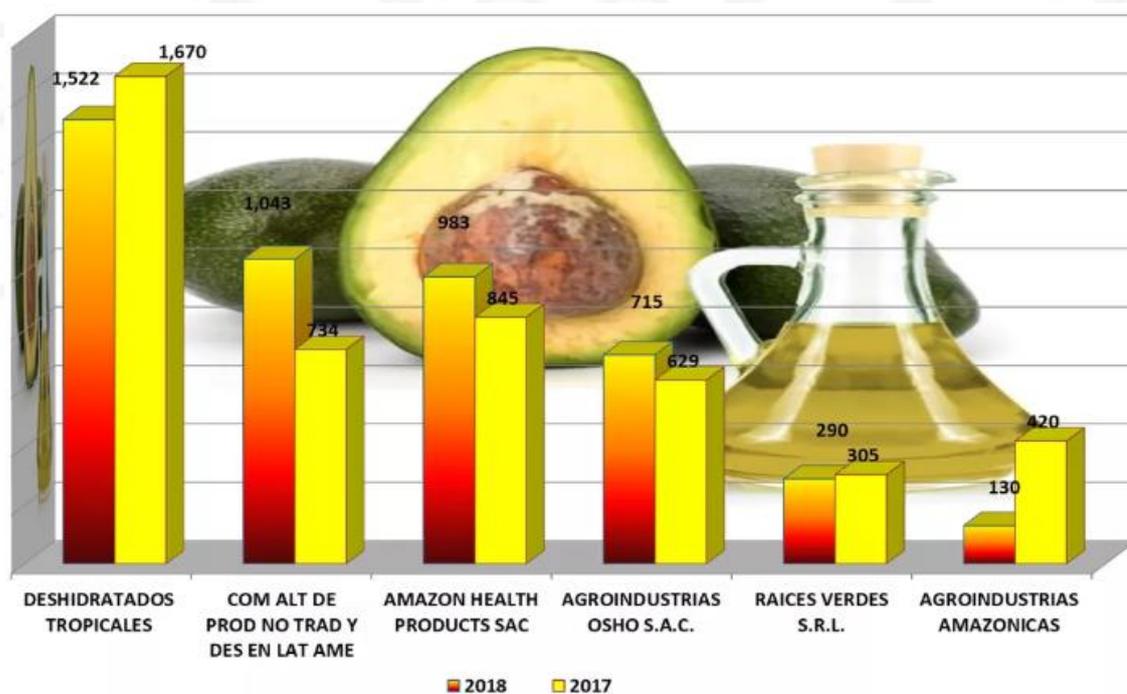
Durante el año 2017 hasta noviembre del 2018, las empresas que exportaron aceites fueron (Figura 1.6):

- Deshidratados tropicales

- Candela Perú (COM ALT DE PROD NO TRAD Y DES EN LAT AME)
- Amazon Health Product
- Agroindustrias OSHO
- Raíces verdes
- Agroindustrias amazónicas

Figura 1.6

Exportación FOB, según las empresas exportadoras de aceites vegetales, 2017-hasta noviembre 2018 (\$)

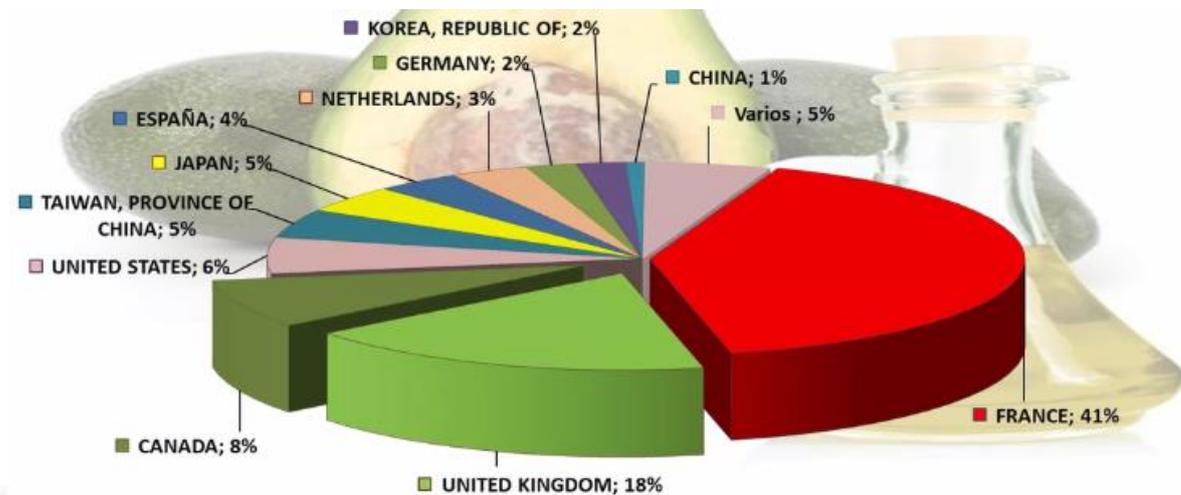


Fuente: Agrodaperu (2018)

Durante el 2018, los países de destino de los aceites vegetales exportados (Figura 1.7) con mayor participación fueron: Francia, Reino Unido, Canadá, Estados Unidos, China, Japón, entre otros.

Figura 1.7

Exportación FOB, según los países destino de exportación de aceites vegetales, 2018 (%)



Fuente: Agrodaperu (2018)

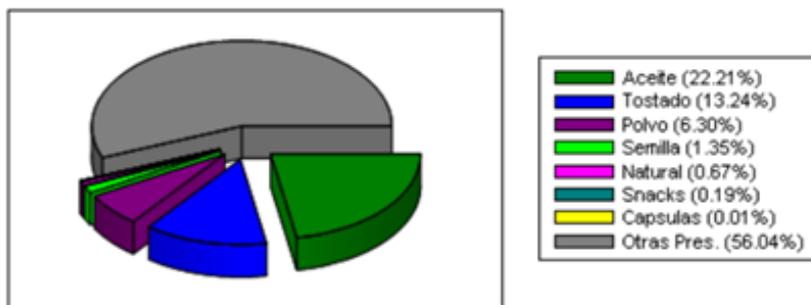
Existe una gran evolución en la exportación de la semilla de sachu inchi ya que es conocida y consumida en diferentes países, a su vez la demanda en el extranjero sigue en alza, es decir, hay un crecimiento en el volumen de compradores. Las exportaciones en los últimos años han ido de manera positiva y constante. En el 2017, las exportaciones peruanas de los productos elaborados con sachu inchi crecieron en 137% respecto al 2016. En el 2018, el producto sachu inchi ha tenido mayor dinamismo en los últimos trimestres con un crecimiento de 142% respecto al 2017 refirió la presidenta del Comité de Productos Naturales de la Asociación de Exportadores, Luz María Janampa (ADEX, 2018).

Los ecotipos seleccionadas para el presente trabajo de investigación fueron: *Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana* por encontrarse muy difundidas en el mercado nacional e internacional.

El producto de sachu inchi puede ser exportado en diferentes presentaciones (Figura 1.8) como semilla, tostadas; o en presentaciones más elaboradas como: aceites, polvos, natural y snacks (acaramelado, salado y picante), cápsulas, entre otras presentaciones.

Figura 1.8

Exportación FOB, según principales presentaciones del producto sacha inchi, 2017 (%)

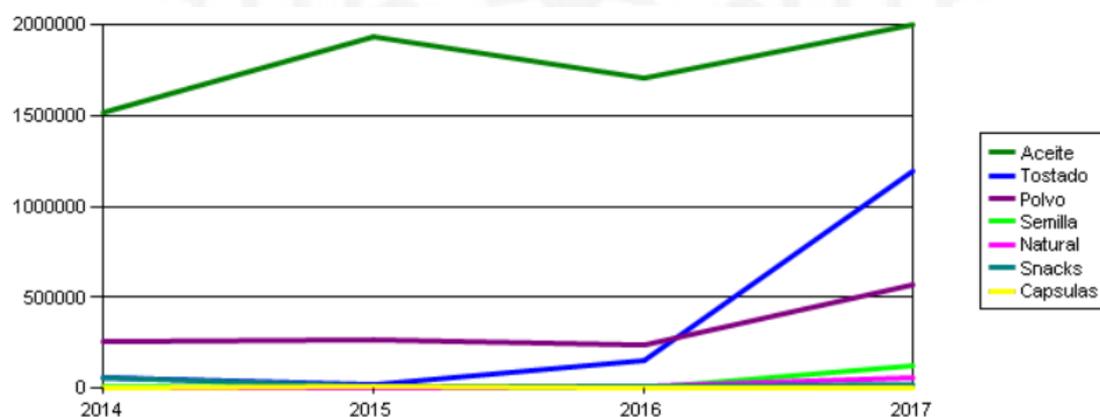


Fuente: SUNAT (2017)

En la Figura 1.9 se observa que el producto de sacha inchi es más comercializado en la presentación de aceite, y en los últimos años, la presentación de tostado y polvo han aumentado en la preferencia de los consumidores; sin embargo, la presentación en semilla, natural, snack y cápsula de sacha inchi es menos comercializado.

Figura 1.9

Exportación FOB, según evolución de las principales presentaciones del producto sacha inchi, 2014-2017 (\$)



Fuente: SUNAT (2017)

La Figura 1.10 se muestra la exportación FOB en dólares detallada según presentación en el periodo 2014 al 2017.

Figura 1.10

Exportación FOB, según la presentación del producto sachá inchi, 2014-2017 (\$)

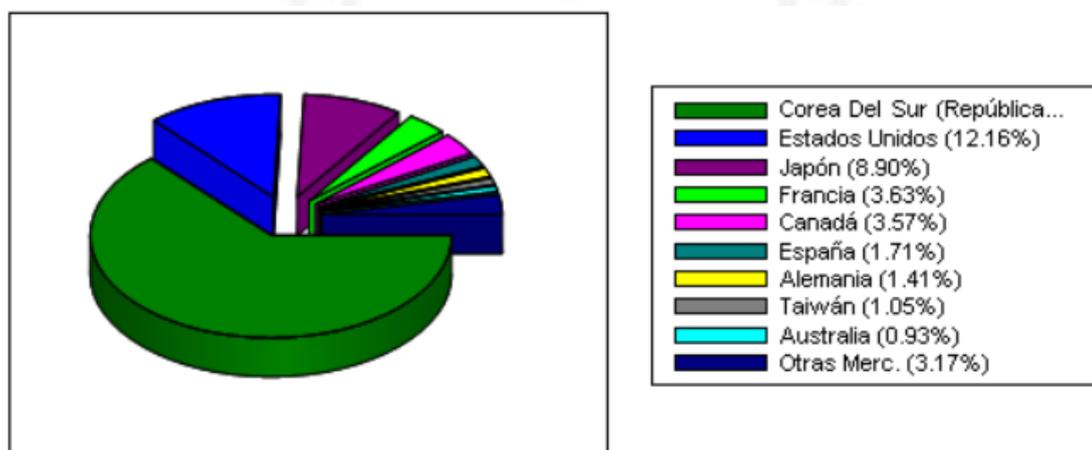
	2014	2015	2016	2017
Aceite	1.519.596,94	1.935.044,41	1.707.520,66	1.997.494,15
Tostado	53.975,61	18.450,34	154.968,43	1.190.687,07
Polvo	258.321,91	262.118,79	233.365,01	566.436,87
Semilla	8.303,11	21,96	0,00	121.685,00
Natural	509,46	4.447,78	6.977,00	60.469,02
Snacks	55.314,87	10.701,00	11.332,65	16.790,00
Capsulas	2.320,10	8.810,68	4.791,80	648,00
Grano	4.030,00	0,00	0,00	0,00
Cosmético	263,80	949,19	0,00	0,00
Otras Presentaciones	1.256.837,48	2.290.939,07	1.935.072,90	5.040.732,56
<b>Total</b>	<b>3.159.473,28</b>	<b>4.531.483,22</b>	<b>4.054.028,45</b>	<b>8.994.942,67</b>

Fuente: SUNAT (2017)

El producto de sachá inchi en diferentes presentaciones es exportada a muchos países (Figura 1.11), a continuación, se muestra los porcentajes de participación de los países de destino:

Figura 1.11

Exportación FOB, según países destino de exportación del producto sachá inchi, 2017 (%)

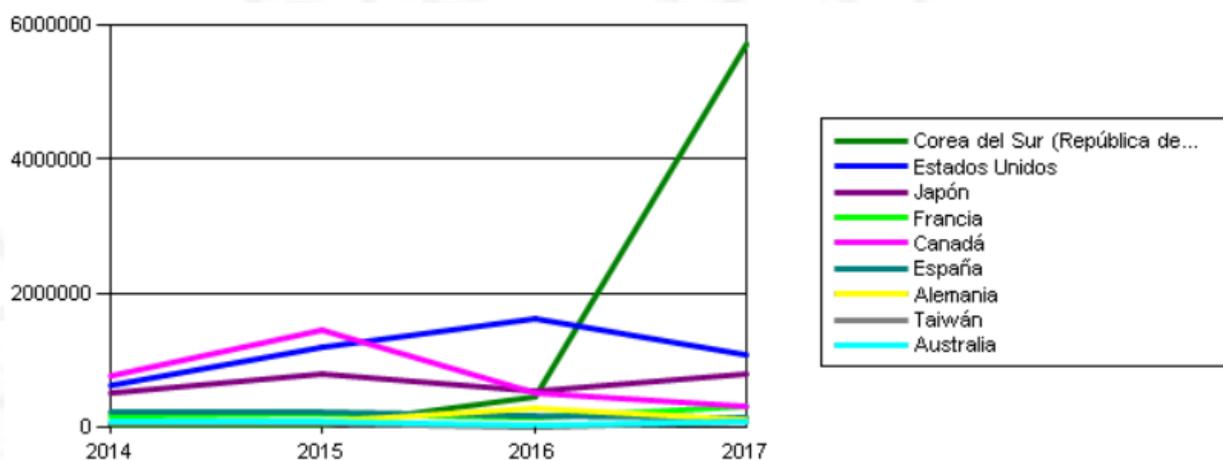


Fuente: SUNAT (2017)

En el 2017, los productos de sachá inchi fueron más exportado en los países de Corea Del Sur, Estados Unidos, Japón, Francia y Canadá; sin embargo, existen otros mercados más pequeños como se observa en la Figura 1.12.

Figura 1.12

Exportación FOB, según países destino de exportación del producto sachá inchi, 2014-2017 (\$)



Fuente: SUNAT (2017)

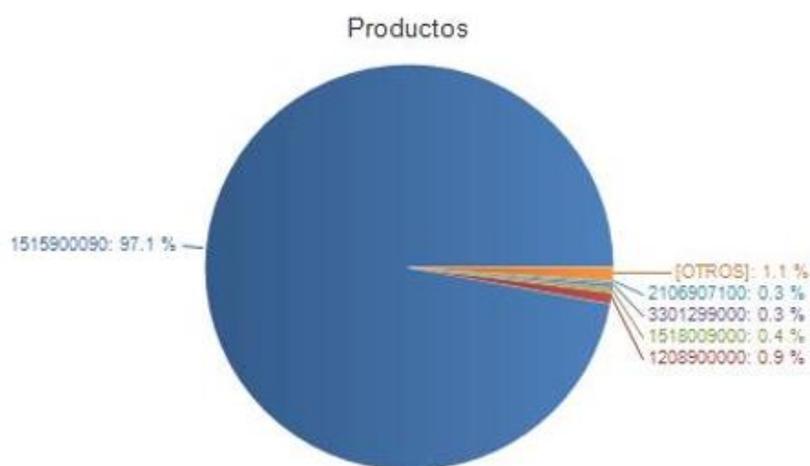
En la Figura 1.13, se muestra la participación de las partidas arancelarias de Aduanas en la exportación de productos de sachá inchi en el periodo 2013 al 2017 (se exceptuaron las maquinarias utilizadas para extraer el aceite de las semillas y semillas en su estado natural y tostadas). Se han importado 407,944.66 kilogramos netos de estos productos. Las partidas arancelarias con mayor participación fueron:

- 1515900090 Los demás aceites de maíz y sus fracciones, incl. refinados, pero sin modificar químicamente
- 1208900000 Las demás harinas de semillas o frutos oleaginosos, excepto la harina
- 1518009000 Demás grasas y aceites animales o vegetales y sus fracciones, cocidos, oxidados, deshidratado

- 3301299000 Los demás aceites esenciales, excepto de agrios.
- 2106907100 Que contengan como ingrediente principal uno o más extractos vegetales, partes de plantas, semillas o frutos, incluidas las mezclas entre sí

Figura 1.13

Peso neto, según de productos exportados de sachá inchi, 2013-2017 (%)



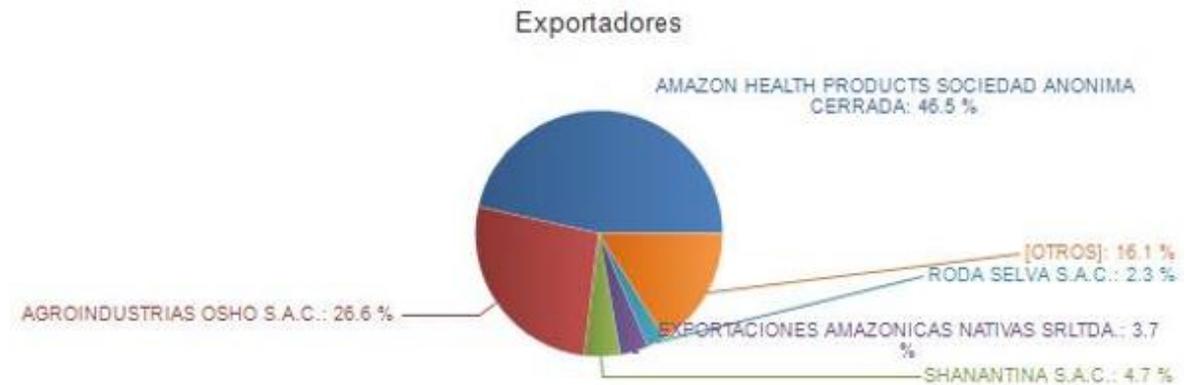
Fuente: Veritrade (2018)

Las empresas exportadoras con mayor participación de los productos indicados anteriormente en el periodo 2013 al 2017 (Figura 1.14) fueron las siguientes:

- AMAZON HEALTH PRODUCTS SOCIEDAD ANONIMA CERRADA
- AGROINDUSTRIAS OSHO S.A.C.
- SHANANTINA S.A.C.
- EXPORTACIONES AMAZONICAS NATIVAS SRLTDA.
- RODA SELVA S.A.C.

Figura 1.14

Peso neto, según empresas exportadoras de productos de sachá inchi, 2013-2017 (%)

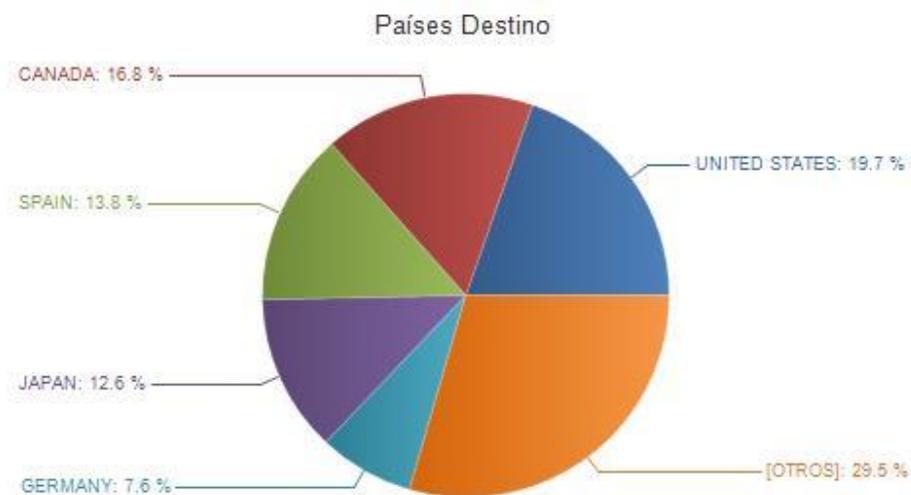


Fuente: Veritrade (2018)

Los países destinos con mayor participación en la exportación de los productos indicados anteriormente en el periodo 2013 al 2017 (Figura 1.15) son las siguientes: Estados Unidos (19.7%), Canadá (16.8%), España (13.8%), Japón (12.6%), Alemania (7.6%), entre otros.

Figura 1.15

Peso neto, según países destinos de los productos de sachá inchi, 2013-2017 (%)



Fuente: Veritrade (2018)

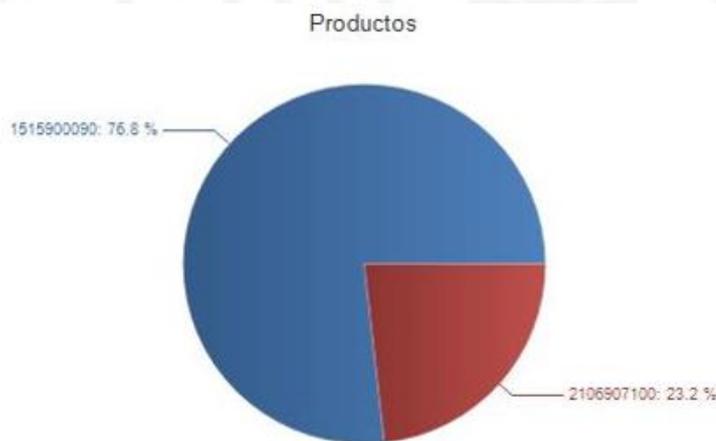
Actualmente el Perú exporta productos de sachá inchi en diferentes presentaciones; sin embargo, se importa productos en otras presentaciones más procesadas en su mayoría productos de belleza (cremas, aceites y óleos, entre otros) y

productos medicinales (como: cápsulas, infusiones, entre otros). En la Figura 1.16, se muestra la participación de las partidas arancelarias en la importación de productos de sachá inchi en el periodo del 2013 al 2017 (se exceptuaron las maquinarias utilizadas para extraer el aceite de las semillas y semillas en su estado natural y tostadas). Se han importado 4,113.49 kilogramos netos de estos productos. Las partidas arancelarias con mayor participación fueron:

- 1515900090 Los demás aceites de maíz y sus fracciones, incluso refinados, pero sin modificar químicamente
- 2106907100 Productos que contengan como ingrediente principal uno o más extractos vegetales, partes de plantas, semillas o frutos, incluidas las mezclas

Figura 1.16

Peso neto, según productos importados de sachá inchi, 2013-2017 (%)



Fuente: Veritrade (2018)

En la Figura 1.17, se muestra las empresas importadoras con mayor participación de los productos indicados anteriormente en el periodo 2013 al 2017 son las siguientes:

- AGROINDUSTRIAS OSHO S.A.C.
- INKANATURA WORLD PERU EXPORT SOCIEDAD

Figura 1.17

Peso neto, según empresas importadoras de productos de sachá inchi, 2013-2017 (%)

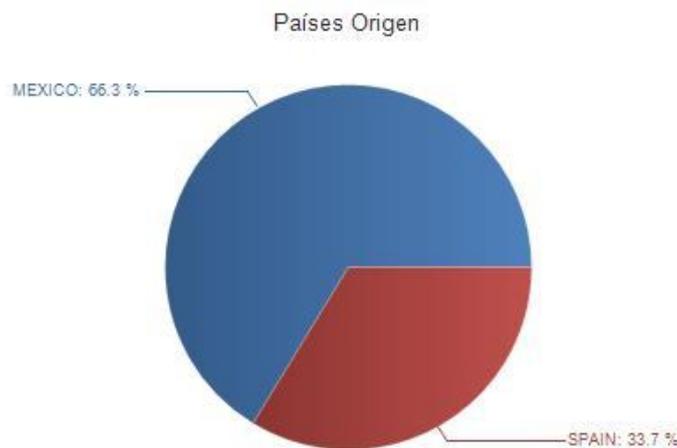


Fuente: Veritrade (2018)

En la Figura 1.18, se muestra los países origen con mayor participación de los productos indicados anteriormente en el periodo 2013 al 2017 son las siguientes: México (66.3%) y España (33.7%).

Figura 1.18

Peso neto, según países origen de los productos de sachá inchi, 2013-2017 (%)



Fuente: Veritrade (2018)

En los datos anteriores, se muestra que las importaciones de los productos de sachá inchi (en kilogramos netos) son menores a las exportaciones entre el periodo 2013 al 2017 (se exceptuaron las maquinarias utilizadas para extraer el aceite de las semillas y semillas en su estado natural y tostadas); debido a que, el Perú es el país con producción

más importante y relevante de sachá inchi (PROMPERU, 2008) encontrando la semilla en su estado silvestre encapsuladas. Respecto a los productos importados, tienen un valor agregado por la tecnología y procesos industriales que son desarrollados en otros países para la elaboración en nuevas presentaciones. Además, en el mercado nacional, existen gran variedad de aceites de origen vegetal que son en su mayoría el aceite de oliva, pero también se puede encontrar el aceite de girasol, el aceite de sachá inchi, el aceite de maíz en sus calidades de extra virgen, virgen y puro y en diferentes volúmenes (Ver en anexos).

El aceite de sachá inchi es usado como un aceite comestible en la industria alimentaria por su sabor suave y ligero parecido a las nueces, pero también es usado en otras industrias, dentro de las importaciones, se observa que es utilizado en una gran cantidad en productos de belleza y farmacéuticos (complemento alimenticio). En la Tabla 1.1 y Figura 1.19, se muestra las importaciones y exportaciones de productos de sachá inchi en kilogramos netos y se visualiza el comportamiento las importaciones y exportaciones de productos de sachá inchi en el periodo del 2013 al 2017, respectivamente:

Tabla 1.1

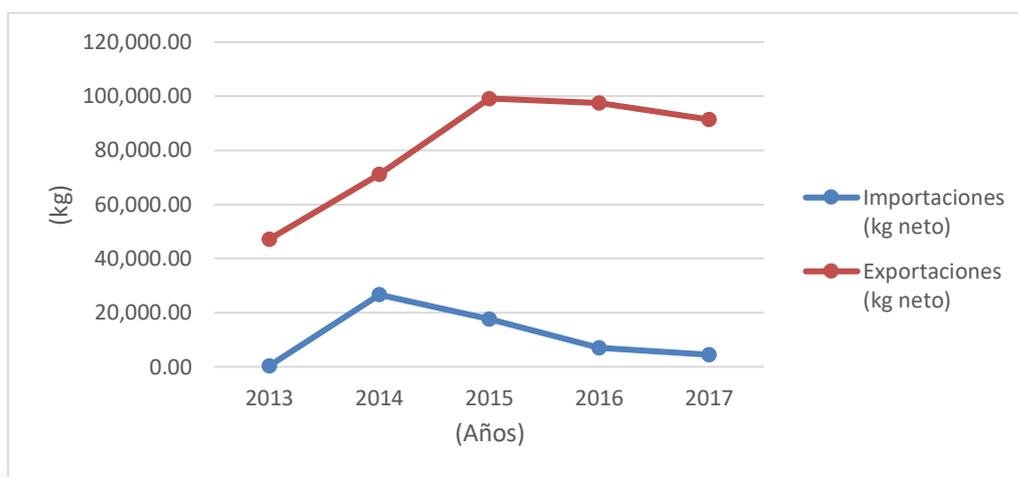
Importaciones y exportaciones de productos de sachá inchi, 2013-2017 (kg neto)

<b>Años</b>	<b>Importaciones (kg neto)</b>	<b>Exportaciones (kg neto)</b>
2013	426.00	47,209.00
2014	26,626.00	71,056.00
2015	17,644.00	99,144.00
2016	6,934.00	97,481.00
2017	4,388.00	91,330.00
<b>Peso total (kg neto)</b>	<b>56,018.00</b>	<b>406,220.00</b>

Fuente: Veritrade (2018)

Figura 1.19

Importaciones y exportaciones de productos que contienen aceite de sacha inchi, 2013-2017 (kg neto)



Fuente: Veritrade (2018)

## 1.4. Objetivos de la investigación

### 1.4.1. Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo de investigación fue: Determinar el tiempo de vida útil a la temperatura de 25°C del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) sin microencapsular y del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) microencapsulado con diferentes materiales de pared empleando el método de Rancimat a diferentes temperaturas: 70°C, 80°C, 90°C y 100°C.

### 1.4.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo de investigación fueron:

- Describir la situación problemática, investigaciones previas, el problema central y los antecedentes del problema.

- Definir los parámetros para determinar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) y el tiempo de vida útil por el método Rancimat y la metodología a desarrollar en el presente trabajo de investigación.
- Determinar y analizar los parámetros de calidad como índice de peróxidos, porcentaje de humedad y periodo de inducción a diferentes temperaturas por el método Rancimat.
- Evaluar y analizar los resultados obtenidos como el tiempo de estabilidad, periodo de inducción (PI) y tiempo de vida útil a 25°C del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) sin microencapsular y microencapsulado con diferentes materiales de pared.

### **1.5. Hipótesis de trabajo**

#### **Variables dependientes:**

- Índice de estabilidad oxidativa del aceite de sachá inchi
- Índice de peróxidos
- Porcentaje de humedad
- Tiempo de inducción
- Tiempo de estabilidad

#### **Variables independientes:**

- Tiempo (parámetro para aplicar el método Rancimat).
- Temperatura (parámetro para aplicar el método Rancimat).

- Tiempo de vida útil a 25°C

Hipótesis de trabajo:

El tiempo de vida útil determinado por el método Rancimat del aceite sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*) microencapsulado es mayor al tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi sin microencapsular, lo que contribuye en aumentar el tiempo de vida útil de los aceites de sachá inchi manteniendo sus características organolépticas y funcionales.

### 1.6. Marco referencial

Las investigaciones previas y relevantes para el presente trabajo de investigación encontradas son las siguientes:

- “Caracterización, análisis sensorial y estabilidad oxidativa del aceite de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana*). Autenticidad de aceites comerciales de sachá inchi”

El formato de esta investigación es una tesis de doctorado de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Esta tesis de doctorado es relevante para el presente trabajo de investigación ya que brinda la siguiente información acerca del aceite de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana*: perfil característico de los componentes mayoritarios y minoritarios (como: triglicéridos, ésteres metílicos de ácidos grasos, tocoferoles, esteroides e hidrocarburos), parámetros físico-químicos (como: densidad, viscosidad, índice de acidez, índice de peróxido, entre otros), análisis sensorial y; por último, establece parámetros para la evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* con el objetivo de comprobar la calidad y autenticidad de los aceites etiquetados y comercializados como aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* virgen y extra virgen (Chasquibol, 2017).

- Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de Chia (*Salvia hispánica L.*) y Ajonjolí (*Sesamum indicum L.*)}7

El formato de esta investigación es una tesis de grado de la Universidad Nacional del Santa (UNS), donde se realizaron análisis de los parámetros físicoquímicos y se determinó el índice de estabilidad oxidativa del aceite de chía, aceite de ajonjolí y las mezclas de los aceites mencionados. Al igual que el aceite de sacha inchi, el aceite de chía contiene una gran cantidad de ácido graso  $\omega$ -3 y el aceite de ajonjolí una gran cantidad de ácido graso  $\omega$ -6 que son mezcladas en la tesis antes mencionada con el objetivo de obtener una proporción de la relación  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 de 5 a 10 recomendada por la FAO para el consumo humano; para ello se realizó la caracterización por cromatografía de gases (GC) de los aceites de chía y ajonjolí por separado para realizar las mezclas de estos aceites según la cantidad de ácidos grasos recomendado.

Luego de la caracterización por cromatografía de gases, se determinó el índice de estabilidad oxidativa (OSI) de los aceites de chía, aceites de ajonjolí y las mezclas de estos mediante la prueba acelerada de Rancimat con parámetros de temperaturas de 110, 120 y 130°C para extrapolar la vida útil de estos aceites a la temperatura usual de almacenamiento de aceites (25°C).

Por último, similar al presente trabajo, se realizaron análisis físico-químicos de los aceites de chía, aceites de ajonjolí y las mezclas de estos aceites como: humedad, densidad, ceniza, índice de refracción, índice de acidez, índice de peróxidos, índice de yodo e índice de anisidina (Cortez Cortez & Sánchez Carbajal, 2017).

- “Caracterización y estimación de la vida útil del aceite de castaña (*bertholletia excelsa*) mediante pruebas aceleradas”

El formato de esta investigación es una tesis de grado de la Universidad Nacional del Santa (UNS). La castaña, al igual que el sacha inchi, es un árbol nativo de la Amazonía sudamericana; por ello, en la investigación antes mencionada se realizó la caracterización por cromatografía de gases

para determinar su composición de ácidos grasos (ácido palmítico, ácido esteárico, ácido oleico y ácido linoleico).

El índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de castaña, al igual que el presente trabajo, se determinó por el método de Rancimat y se realizaron análisis físico-químicos al aceite de castaña como: índice de acidez, índice de yodo, índice de anisidina, índice de refracción y densidad (Domínguez Alba & Jimenez Gonzales, 2017).

- “Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de granada (*púnica granatum*)”

El formato de esta investigación es una tesis de grado de la Universidad Nacional del Santa (UNS), donde se realizaron análisis de las características fisicoquímicas y se determinaron el índice de estabilidad oxidativa del aceite de granada que se almacenó en refrigeración bajo atmósfera de nitrógeno, y al igual que el presente trabajo de investigación, fueron extraídos por prensado en frío.

Para determinar la estabilidad oxidativa del aceite de la semilla de granada mediante el método Rancimat se utilizaron los siguientes parámetros: temperaturas de 80, 90, 100 120 y 130°C y flujo de aire 15, 20 y 25 L/h.

Por último, al igual que el presente trabajo, se realizaron análisis físico-químicos de los aceites de semilla de granada como: índice de acidez, índice de yodo, índice de anisidina, viscosidad; además, se calculó energía de activación ( $E_a$ ) de la reacción de oxidación del aceite de granada. A diferencia del presente trabajo, la tesis mencionada realizó análisis para determinar los porcentajes de proteína y carbono (Gutiérrez Estrada & Terrones Blas, 2016).

- “Influencia de los parámetros del Rancimat en el tiempo de inducción y perfil de ácidos grasos del aceite de chía (*salvia hispánica l.*) cultivada en el distrito de Andahuaylas”

El formato de esta investigación es una tesis de grado de la Universidad Nacional del Santa (UNS). La semilla de chía, al igual que el sachá inchi,

tiene un gran contenido de  $\omega$ -3. En la investigación mencionada se realizaron análisis parámetros de las características fisicoquímicas del aceite de semillas de chía y se determinaron la energía de activación de la reacción de oxidación de aceite de chía.

Respecto al índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de chía, al igual que el presente trabajo, se determinó por el método de Rancimat utilizando parámetros de temperaturas de 100, 110 y 120°C y los flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h para extrapolar la vida útil del aceite de chía a la temperatura de almacenamiento de aceites (25°C) (Estrada Talexi & Estrada Talexcio, 2016).

- “Evaluación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de moringa (*moringa oleífera lam*) por el método Rancimat”

El formato de esta investigación es una tesis de grado de la Universidad Señor de Sipán (USS), donde se realizaron análisis de las características fisicoquímicas y se determinaron el índice de estabilidad oxidativa y el perfil de ácidos grasos en el aceite de moringa extraídos por prensado en frío; además, al igual que el presente trabajo de investigación, fueron conservados en refrigeración a una temperatura de  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ .

Respecto al índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de moringa, de manera similar que el presente trabajo, se determinó por el método de Rancimat utilizando parámetros de temperaturas de 130, 140 y 150°C y los flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h para extrapolar tiempo de vida en anaquel del aceite virgen de moringa a la temperatura de almacenamiento de aceites (25°C).

Respecto al perfil de los ácidos grasos en el aceite de moringa, se encontraron los siguientes ácidos grasos: linoleico, oleico, palmítico, bohémico, esteárico, araquidónico, eicosanoico, eláidico, palmitoleico y lignocerico.

Por último, de manera similar al presente trabajo, se realizaron análisis físico-químicos de los aceites de semilla de moringa como: densidad, viscosidad, humedad, punto de fusión, índice de peróxido, índice de acidez, índice de yodo e índice de anisidina; además, se calculó

energía de activación de la reacción de oxidación del aceite de moringa (Alberca Tocto & Huanca Vásquez, 2015).

- “Estabilidad oxidativa y perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de lino (*linum usitatissimum*) procedentes de Corongo y Otuzco, extraído por prensado en frío”

El formato de esta investigación es una tesis de grado de la Universidad Nacional del Santa (UNS). En la investigación mencionada se realizaron análisis de los parámetros físico-químicos y se determinaron el índice de estabilidad oxidativa y el perfil de ácidos grasos en los aceites extraídos por prensado en frío de las semillas de linaza procedentes de Corongo y Otuzco (Perú) y fueron conservados bajo atmósfera de nitrógeno.

Respecto al índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de la semilla de linaza, al igual que el presente trabajo, se determinó por el método de Rancimat utilizando parámetros de temperaturas de 90, 110 y 130°C y los flujos de aire de 15 y 20 L/h para, luego, extrapolar la vida útil del aceite de linaza a la temperatura de almacenamiento de aceites (25°C).

Respecto al perfil de los ácidos grasos en los aceites de linaza procedentes de Corongo y Otuzco, se encontraron los siguientes ácidos grasos: linolénico, linoleico, oleico, palmítico y esteárico.

Por último, al igual que el presente trabajo, se realizaron análisis físico-químicos al aceite de linaza como: índice de peróxido, índice de acidez, índice de refracción, índice de yodo, densidad, viscosidad y punto de fusión (Arias Nuñuvero & Lopez Carranza, 2015).

- “Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis L.*)”

Este artículo extraído de la revista Scientia Agropecuaria tiene como objetivo correlacionar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de sacha inchi determinado por el método de Rancimat (Metrohm, modelo 743, Switzerland) a temperaturas de 80, 90, 100 y 110°C bajo un flujo de aire de 15 L/h y bajo atmósfera de nitrógeno. Además, similar al

presente trabajo, se realizaron análisis físico-químicos utilizadas a nivel industrial como el índice de peróxido, p-anisidina, totox y densidad (Rodríguez, Villanueva, Glorio, & Baquerizo, 2015).

La evaluación de vida útil del aceite de sachá inchi, fue estimado las temperaturas usuales de 20, 25 y 30°C de almacenamiento a través de la extrapolación matemática. En el presente trabajo, se evaluaron los ecotipos *P. volubilis* y *P. huayllabambana* de aceite de sachá inchi sin microencapsular y el aceite de sachá inchi microencapsulado con los mismos materiales de pared del artículo mencionado y con parámetros similares en el equipo Rancimat.

- “Comparative study of physical-chemical features of sachá inchi oil (*Plukenetia volubilis* l.), olive oil (*Olea europaea*) and fish oil”

Este artículo extraído de la revista Scientia Agropecuaria tuvo como objetivo analizar las características fisicoquímicas y determinar el índice de estabilidad oxidativa y el perfil de ácidos grasos insaturados entre aceite de origen marino (el aceite crudo de pescado) y de origen vegetal (los aceites de sachá inchi y oliva). La determinación de la estabilidad oxidativa de los aceites mencionados fueron mediante el método Rancimat y se utilizaron los siguientes parámetros: temperaturas de 100 120 y 150°C y se extrapolaron los resultados a 25°C.

Por último, de manera similar al presente trabajo, se realizaron los siguientes análisis fisicoquímicos de los aceites de origen vegetal y marino: índice de acidez, índice de refracción y densidad. (Paucar Menacho, Salvador Reyes, Guillén Sánchez, Capa Robles, & Moreno Rojo, 2015).

- “Determinación de la estabilidad a la oxidación de aceites y grasas por el método Rancimat”

Este artículo extraído de la página de Metrohm (Suiza), empresa que fabrica instrumentos de análisis por métodos electroquímicos, tiene como objetivo principal describir el funcionamiento para determinar la estabilidad a la oxidación de aceites y grasas por el método Rancimat, el

procedimiento de uso del equipo Rancimat, la comparación con otros métodos más utilizados, descripción de los parámetros (cantidad de muestra, caudal de aire, cantidad de muestra y la temperatura) y el procedimiento de uso del software StabNet para obtener la data y extrapolar el resultado final (determinación del tiempo de inducción, determinación del periodo de estabilidad y determinación de la variación de la conductividad a tiempo fijo).

Esta fuente es necesaria para la determinación de los índices de estabilidad oxidativa (OSI) de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) sin microencapsular y a los aceites de sachá inchi (*P. volubilis* y *P. huayllabambana*) microencapsulado con diferentes materiales de pared y la extrapolación los datos con el software StabNet para obtener el tiempo de vida del producto a la temperatura de 25°C para calcular la vida útil de los aceites (Cabré Cabré & Massó Maresch, 2014).

- “Characterization of Glyceridic and Unsaponifiable Compounds of Sachá Inchi (*Plukenetia huayllabambana* L.) Oils”

Este artículo extraído de la revista Agricultural and Food Chemistry trata sobre la caracterización de los principales componentes glicerídicos e insaponificables de los aceites obtenidos de la semilla de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* L.) que fueron recolectadas en dos cosechas en el departamento de Amazonas (Perú). Estas destacan por sus altos porcentajes de las series de ácidos grasos omega 3 y omega 6 cuyos rangos se encuentran dentro del Reglamento para aceites de sachá inchi, los triacilgliceroles fueron los componentes principales y los compuestos polares glicerídicos menores (como los triglicéridos oxidados, los diglicéridos, los monoglicéridos y los ácidos grasos libres) se determinará mediante cromatografía de exclusión por tamaño de alto rendimiento.

Este artículo, concluye que el aceite sachá inchi del ecotipo *Plukenetia huayllabambana* pueden ofrecerse como una buena alternativa a los aceites de sachá inchi *P. volubilis*, que es el ecotipo más comercializado principalmente para este aceite vegetal. El rendimiento

del aceite de sacha inchi se encuentra en el intervalo de 30.3–41.2% (Chasquibol, y otros, 2014).

- “Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum L.*”

Este artículo extraído de la revista Scientia Agropecuaria tiene como objetivo determinar el índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite virgen de sésamo o aceite de linaza determinado por el método de Rancimat. Este aceite fue previamente extraído por prensado en frío, clarificado por centrifugación y almacenado bajo atmósfera de nitrógeno y en refrigeración.

Respecto al índice de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de linaza, de manera similar que el presente trabajo, se determinó por el método de Rancimat utilizando parámetros de temperaturas de 110, 130 y 150°C y los flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h para extrapolar tiempo de vida en anaquel del aceite virgen de linaza a la temperatura de almacenamiento de aceites (25°C).

Respecto a la energía de activación de la reacción de oxidación del aceite de linaza se realizó a distintos flujos de aire y de temperatura (Villanueva López, Castillo Benites, & Rodríguez Páucar, 2013).

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del problema

El biocomercio en el Perú genera una gran fuente de ingresos en la exportación siendo pilar del comercio exterior por la tendencia de los consumidores de obtener productos naturales, orgánicos, ecológicos y amigables con el medio ambiente, el sachá inchi es un producto principal dentro de este mercado (MINCETUR, 2016). El Perú es uno de los principales productores de sachá inchi en el mundo, este producto tiene gran potencial por su elevado contenido de ácidos grasos insaturados (omega-3, omega -6 y omega -9) de aplicación en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica (Manco Céspedes, 2006); la zona principal de cultivo de los aceites de sachá inchi del ecotipo *Plukenetia volubilis* se encuentra en San Martín y la zona principal de cultivo de los aceites de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana* se encuentra en el departamento de Amazonas en la provincia de Rodríguez de Mendoza.

Los aceites con gran contenido de ácidos grasos son químicamente inestables (en presencia de oxígeno, luz, humedad y calor) por lo que la industria alimentaria considera necesaria la determinación del tiempo de vida la estabilidad de las grasas y aceites puros o grasas elaboradas (aceites hidrogenados o grasas plastificantes usadas en la pastelería) como una medida para el control de calidad y el control de conservación de los lípidos aplicables en productos acabados o productos intermedios que son utilizados en otros procesos para la elaboración de otros productos y, así, evitar que un ingrediente defectuoso arruine un lote de fabricación. El control de conservación debe ser medido a condiciones extremas a las condiciones de almacenamiento para obtener mejores resultados. La Norma Técnica Peruana recomienda algunos métodos analíticos y parámetros de calidad para la evaluación de la oxidación lipídica (NTP 151,400, 2014); además, recomienda que sean usados de manera conjunta y repetir las pruebas en caso de discrepancias para ser aceptado o rechazado, según sea el caso.

### 2.2. Bases teóricas

Las bases teóricas para el presente trabajo son las siguientes:

## **Granos y semillas**

Las semillas son el depósito del potencial genético de las especies cultivadas y de sus variedades obtenidas por el mejoramiento y la selección continuos a través del tiempo. Además, otorga beneficios potenciales para la productividad, la seguridad alimentaria y la subsistencia de las comunidades agrícolas (MINAGRI, 2018). El gobierno del Perú creó la Autoridad Nacional de Semillas, que permitirá mejorar la calidad de las semillas que los agricultores usan en sus chacras mejorando la producción agraria en calidad y rendimiento por hectárea se cuenta con gran variedad de semillas en sus tres regiones, explicó El director ejecutivo del programa Sierra Azul, del Ministerio de Agricultura, César Dávila Veliz (La República, 2018). Además, se busca que en el país se produzca semillas con Clase Certificada para asegurar la calidad fisiológica, calidad sanitaria, calidad física y pureza e identidad genética de acuerdo con la Ley (INIA, 2018). A continuación, se describirá las características importantes de los granos y semillas de donde se extraen aceites que se pueden encontrar en territorio peruano:

### **Semilla de sacha inchi**

También conocido como “Maní del inca”, “Oro inka”, “Inca Inchi”, maní del monte, maní del norte o maní de montaña (Food and Agricultural Organization, 1992; Paucar Menacho, Salvador Reyes, Guillén Sánchez, Capa Robles, & Moreno Rojo, 2015). El sacha inchi es un arbusto que crece en forma silvestre en territorio peruano en la sierra, mayormente, y en regiones de la selva peruana desde la época inca y pre-inca registrado en los huacos de la cultura Chimú y Mochica. Fue descrita por primera vez como especie en el año 1753 por el Naturalista Linneo (McBride, 1936). En el Perú, se han encontrado 5 ecotipos de sacha inchi y el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria identificó 47 ecotipos (Manco Céspedes, 2006). De estas semillas, se extrae un aceite rico en ácidos poliinsaturados, contienen antioxidantes como la vitamina A, vitamina E y alfa-tocoferoles. La clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Euphorbiales

Familia: Euphorbiaceae

Género: *Plukenetia*

Ecotipos: *volubilis* Linneo, *huayllabambana* Linneo, *brachybotrya*, *polyandenia* y *loretensis*.

El ecotipo *Plukenetia huayllabambana* es menos conocida y menos comercializada que sacha inchi del ecotipo de *Plukenetia volubilis*. La semilla de sacha inchi *P. volubilis*, en nuestro país, se encuentra en estado silvestre en diversos lugares de San Martín, Ucayali, Huánuco, Amazonas, Madre de Dios y Cusco. Estos ecotipos pueden tener diferencias morfológicas depende del lugar de origen como el ecotipo de *Plukenetia volubilis* procedente de los departamentos de San Martín y Cusco (Figura 2.1).

Figura 2.1  
Principales diferencias morfológicas de los ecotipos de aceites de sacha inchi del género *Plukenetia*

Agrupaciones <i>Plukenetia</i> estudiadas						
Caracteres observados	<i>P. loretensis</i>	<i>P. brachybotrya</i>	<i>P. polyandenia</i>	<i>P. volubilis</i> (procedencia San Martín)	<i>P. volubilis</i> (procedencia Cusco)	<i>P. huayllabambana</i>
Glándulas foliares basilaminares	Glándulas basilaminares en uno o más pares próximas al pecíolo	Glándulas basilaminares en uno o más pares próximas al pecíolo	Un único promontorio glandular	Par de glándulas basilaminares próximas al pecíolo	Par de glándulas basilaminares relativamente distantes del pecíolo	Par de glándulas basilaminares relativamente distantes del pecíolo
Borde y base de la hoja	Borde crenado y base caudada	Borde crenado y base caudada	Borde crenado y base caudada	Borde crenado y base caudada	Borde crenado y base caudada	Borde crenado y base caudada
Base del tallo	Redondeado	Redondeado	Redondeado	Redondeado	Redondeado	Hexagonal
Fruto (cápsula)	Cada carpelo con corréculo agudo	Cada carpelo con un tubérculo redondeado	Cuadrangular con ángulos quillados	Cuadrangular con ángulos quillados	Cuadrangular con ángulos quillados	Cuadrangular con ángulos quillados
Tamaño de la cápsula	Diámetro aprox. 1.15 cm	Diámetro aprox. 1.15 cm	Diámetro aprox. de 6-11 cm	Diámetro aprox. de 5-6 cm	Diámetro aprox. de 5-6 cm	Diámetro aprox. de 6-8 cm
Superficie de la semilla	Lisa	Lisa	Lisa	Lisa	Rugosa	Rugosa
Forma de la semilla	Redondeada	Redondeada	Redondeada	Aplanada	Ligeramente aplanada	Ligeramente aplanada
Tamaño semilla (media)	0.51 x 0.42 cm	0.41 x 0.39 cm	2.89 x 2.6 cm	2.01 x 0.85 cm	2.01 x 1.36 cm	2.38 x 1.66 cm

Fuente: Revista Peruana de Biología (2010)

La semilla de sachá inchi *P. huayllabambana*, en nuestro país, se encuentra en estado silvestre en la Amazonía peruana en el valle de Huayabamba, ubicado en la provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas, en la selva alta del norte del Perú. El sachá inchi crece entre 200 a 1500 metros sobre el nivel del mar, es una planta de floración hermafrodita y se promueve la protandria (maduración de las gónadas masculinas antes que las gónadas femininas) y fecundación cruzada. En los últimos años ha sido el centro de estudio por su alto contenido proteico caracterizado por una alta concentración de ácidos grasos omega-3 (58.2%), omega-6 (26.2%) y omega-9 (9%) (Chasquibol, y otros, 2014); convirtiéndose en una de las más importantes fuentes de estos ácidos entre todos los aceites vegetales (Sierra Exportadora, 2017). Este último ácido está asociado a efectos benéficos para la salud, como protector cardiovascular, el crecimiento y la regeneración de células. El consumo de estos ácidos grasos es importante ya que el cuerpo humano es incapaz de generalos como los ácidos linoleico y alfa linoleico, con una alta concentración de tocoferoles (vitamina E). Estos componentes son los que convierten al aceite de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana* en un gran recurso natural y una fuente de ingresos importante.

En la Figura 2.2 se muestran los parámetros físico-químicos del aceite de sachá inchi extraídos de 28 cosechas en los años 2015 – 2016 en distritos de la provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas.

Los compuestos principales de ácidos grasos de los aceites de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana* con un contenido de 58.1% de  $\omega$ -3, 26.2% de  $\omega$ -6 y 9% de  $\omega$ -9 y del ecotipo *P. voluvis* publicados en investigaciones previas según autores se muestran en la Figuras 2.3 - 2.6.

Figura 2.2

Parámetros físico-químicos del aceite de sacha inchi (*P. huayllabambana*)

Parámetros de calidad	Cosecha 1	Cosecha 2	NTP.151.400,2014
	M (n=14)	M (n=14)	
Densidad (25 °C) (g·cm <sup>-3</sup> )	0,927± 0,001	0,925 ± 0,002	0,9320
Índice de Refracción (20 °C)	1,480± 0,0001	1,482 ± 0,0004	1,4815
Viscosidad (mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	42,8 ± 0,9	41,1 ± 2,2	NO REPORTA
Acidez (% , ácido oleico)	1,8 ± 0,1	1,6± 0,1	2,0% ,máximo aceite virgen 1,0% ,máximo aceite extra virgen
Peróxidos (meq O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	8,4 ± 0,2	3,3± 0,2	10, máximo
K <sub>270</sub>	0,14± 0,01	0,19± 0,01	NO REPORTA
Índice de iodo (g I <sub>2</sub> ·100g <sup>-1</sup> )	214,5± 2,1	213,8± 2,3	196, máximo
Estabilidad (h)	2,8 ± 0,5	3,0 <sup>a</sup> ± 1,0	NO REPORTA

Fuente: Repositorio de tesis de la UNMSM (2017)

Figura 2.3

Compuestos principales de ácidos grasos del aceite de sacha inchi (*P. huayllabambana*)

Ácidos grasos	Cosecha 1	Cosecha 2	NTP 151.400.2014	
	M (n=14)	M (n=14)		
<b>C16:0</b>	4,6 ±0,2	4,9±0,38	3,70-4,40	4,6
<b>C16:1</b>	0,07 ±0,0	0,08±0,02	-	-
<b>C17:0</b>	0,08 ±0,0	0,08±0,02	-	-
<b>C18:0</b>	1,6 ±0,1	1,7±0,2	2,57-3,20	1,7
<b>C18:1(w9+w7)</b>	9,0 ±0,6	8,73±0,56	9,40-14,40	8,7
<b>w6-C18:2</b>	26,2±0,7	25,8±0,6	32,8-38-4	26,4
<b>C20:0</b>	0,30±0,1	0,25±0,05	-	0,1
<b>w3-C18:3</b>	58,1±1,4	58,2±1,5	42-48	57,2

Fuente: Repositorio de tesis de la UNMSM (2017)

Figura 2.4

Compuestos principales de ácidos grasos del aceite de sacha inchi (*P. volubilis*)

Ácidos grasos	Alex Pastuña	Quispe y Saldaña	Castaño y otros	García y otros	Paucar y otros	Bondioli y Bella
<b>C 16:0</b>	3.93 ± 0.23	4.08	3.6	3.425	10.83 ± 0.02	3.79
<b>C 18:0</b>	2.67 ± 0.06	2.96	2.9	2.589	4.16 ± 0.13	2.65
<b>C 18:1</b>	8.93 ± 0.12	10.45	8.5	8.126	22.43 ± 0.05	8.77
<b>C 18:2</b>	35.47 ± 0.56	35.34	33.9	31.499	50.65 ± 0.10	33.67
<b>C 18:3</b>	45.87 ± 0.67	46.92	50.2	53.178	11.17 ± 0.05	50.73

Fuente: García, y otros (2004); Bondioli y otros (2006); Quispe y otros (2011); Castaño y otros (2012); Paucar y otros (2015); Pastuña y otros (2016).

Elaboración propia

Figura 2.5

Características físico-químicas de los ecotipos *P. volubilis* y *P. huayllabambana* (%)

Characteristic	<i>Plukenetia volubilis</i>	<i>Plukenetia huayllabambana</i>
Fatty acids (%)		
Palmitic (C16:0)	6.30 ± 0.16	6.61 ± 0.45
Stearic (C18:0)	3.81 ± 0.02	3.75 ± 0.04
Oleic (C18:1 ω-9)	9.47 ± 0.08	9.38 ± 0.51
Linoleic (C18:2 ω-6) <sup>a</sup>	32.66 ± 0.15	26.67 ± 0.24
α-Linolenic (C18:3 ω-3) <sup>a</sup>	45.62 ± 0.29	51.34 ± 0.34
Polyunsaturated fatty acids (PUFA)	78.15 ± 0.44	78.01 ± 0.53
ω6/ω3 ratio <sup>a</sup>	0.72 ± 0.00	0.52 ± 0.00
Tocopherols (mg/100 g oil)		
α-Tocopherol <sup>a</sup>	0.08 ± 0.0	0.20 ± 0.02
β-Tocopherol	0.02 ± 0.0	0.01 ± 0.0
γ-Tocopherol <sup>a</sup>	127.6 ± 8.8	93.3 ± 7.8
δ-Tocopherol <sup>a</sup>	84.0 ± 5.3	47.5 ± 3.1
Total Tocopherol <sup>a</sup>	211.8 ± 14.2	141.0 ± 4.8
Phytosterols (mg/100 g oil)		
Campesterol <sup>a</sup>	15.3 ± 0.8	11.6 ± 1.3
Stigmasterol <sup>a</sup>	58.7 ± 1.4	52.1 ± 3.8
β-Sitosterol	127.4 ± 9.3	127.2 ± 10.6

Fuente: Food Chemistry (2015)

Figura 2.6

Composición de ácidos grasos de los ecotipos *P. volubilis* y *P. huayllabambana* (%)

Ácido graso	Composición relativa (%)			
	<i>Plukenetia huayllabambana</i>		<i>Plukenetia volubilis</i>	
	Semillas (AI-RM-05)	Torta (TRM)	Semillas (AI-SM-06)	Torta (TSM)
Palmitico (16:0)	5,3	6,1	3,8	4,5
Estearico (18:0)	1,9	1,2	2,3	1,9
Oleico (18:1)	9,6	9,7	8,7	10,5
Linoleico (18:2)	29,3	28,4	34,6	36,0
Linolénico (18:3)	53,9	54,6	50,6	47,1
<hr/>				
Saturados	7,2	7,3	6,1	6,4
Monoinsaturados	9,6	9,7	8,7	10,5
Polinsaturados	83,2	83,0	85,2	83,1

Fuente: Revista de la Sociedad Química del Perú (2013)

El aceite de sacha inchi tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados que resultan saludables como los ácidos grasos de omega-3, omega-6 y omega-9 (Fanali, Dugo, Cacciola, Beccaria, & Grasso, 2011), además, contiene antioxidantes como el alfa-tocoferol y vitaminas A y E; por ello, su consumo es muy beneficioso, ya que posee altos porcentajes de aceites saludables y proteínas. Al aceite de sacha inchi se admite la “autooxidación”, es decir, la reacción del oxígeno molecular atmosférico con los ácidos grasos que constituyen los triglicéridos, que es la principal reacción implicada en el deterioro de los lípidos en ausencia de luz. Los hidroperóxidos, productos primarios de la autooxidación lipídica, son relativamente inestables, e intervienen en numerosas y complejas reacciones de ruptura e interacción, que son las responsables de la producción de muchos tipos de compuestos de distinta naturaleza química y variados pesos moleculares, capaces de producir aromas, y que son biológicamente significativos.

### **Café (*Coffea arabica* L.).**

Este producto es el principal producto agrario de exportación en el Perú y el segundo más importante, después del petróleo, a nivel mundial en términos de negocios. El tipo de café producido en el Perú es de tipo *Coffea arabica* que es una de las especies más

producidas al nivel mundial que se caracteriza por su acidez y aroma. El café peruano ha sido reconocido como el mejor del mundo. En el 2017, Raúl Mamani ganó el premio del mejor café de mundo que es sembrado y cosechado en Puno y en los años 2012 al 2015 ganó concursos como mejor café del Perú. Además, recibió 23 galardones en el Tercer Concurso Internacional de Cafés Tostados (París). En el 2018, la peruana Vicenta Phocco ganó el premio al “Café de mejor calidad” en la Feria Global Specialty Coffee Expo en Seattle (Estados Unidos) con su café sembrado en la provincia de Sandía en la región de Puno (ANDINA, 2018).

El café se desarrolla desde los 600 hasta los 1,800 msnm; en el Perú, el 75% de los cafetales está sobre los 1,000 msnm y es producido en los siguientes departamentos: Amazonas, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín, San Martín, Piura, Pasco y Puno (MINAGRI, 2016). El café está compuesto por aminocácidos, vitamina B (niacina), aminoácidos, azúcares, lípidos, minerales, cafestol, ácidos clorogénicos, antioxidante y muchos más. Entre un 11% y un 17% de los granos secos son lípidos: glicéridos de los ácidos palmítico, esteárico, oleico y linoleico (Figura 2.7).

Figura 2.7

Composición de ácidos grasos de granos de café

Parámetros	Lípidos totales (% bs)	Ácido palmítico 16:0 (%)	Ácido esteárico 18:0 (%)	Ácido oleico 18:1 (%)	Ácido linoleico 18:2 (%)	Ácido linolénico 18:3 (%)	Ácido araquídico 20:0 (%)	Ácido behénico 22:0 (%)
Valor mínimo	11,1	30,6	5,8	6,6	31,2	1,0	2,0	0,4
Valor máximo	16,9	43,1	12,1	11,2	46,4	1,8	4,3	1,5
Media	14,1	37,0	8,1	8,7	39,0	1,4	3,2	0,8
Desviación Estándar	1,2	2,6	1,4	0,9	3,4	0,2	0,5	0,2
Desviación Estándar Experimental	0,524	0,265	0,058	0,060	0,225	0,018	0,039	0,019
Total de valores	174	174	174	174	174	174	174	174

Fuente Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (2012)

El aceite extraído del café, al igual que el aceite extraído de las semillas de sacha inchi, se conserva en botellas pardas u oscuras para reducir la oxidación ocasionada por la luz (Figura 2.8).

Figura 2.8

Información nutricional de la bebida de café sin azúcar



Fuente: Agencia peruana de noticias (s.f.)

El aceite esencial de café es muy aromático y se obtiene del prensado de los granos del café tostados “*caffea arábica*”, que se utilizan en el campo dermatológico, estético y en tratamientos como la aromaterapia para mejorar la salud física, emocional y mental. El aceite contiene altos niveles de flavonoides, polifenoles, vitamina E, ácidos grasos y antioxidantes y propiedades antioxidantes más potentes que la vitamina C y el té verde beneficioso para las pieles secas o con celulitis, cabello y disminuir las ojeras y las manchas debajo de los ojos, actuando como descongestionante.

### **Kiwicha (*Amaranthus*)**

Es una planta amarantácea oriunda del Perú y en las regiones altas de Ecuador, Bolivia y Argentina. En el Perú, se cosecha en las regiones andinas de Cajamarca, Ancash, Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Arequipa y Cusco. La kiwicha es utilizada como harina para hacer pan, tortillas y chaplas; el grano se usa como cereal para el desayuno y barras de cereal; las hojas se utilizan para las sopas; los tallos se consumen como bebidas rehidratantes y las semillas son utilizadas en diversos platos típicos del Perú por su alto valor nutritivo y contenido de ácidos grasos. En la Figura 2.9, tenemos a sus principales ácidos grasos de la semilla de kiwicha.

Figura 2.9

Composición de ácidos grasos de la semilla de kiwicha (*Amaranthus*)

Acido graso	Contenido (g/100 g)
Acido oleico	29,3
Acido linoleico	44,0
Acido palmítico	18,4
Acido linolénico	1,3
Acido mirístico	0,2
Acido miristoleico	0,1
Acido miristolénico	0,1
Acido palmitoleico	0,8
Acido palmitolénico	0,9
Acido esteárico	3,8
Acido no identificado	1,2

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (s.f.)

### **Quinoa (*Chenopodium quinoa*)**

La quinoa es una planta andina que se originó en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia. Actualmente, se produce quinoa en los departamentos de Puno, Junín, Cusco y Ayacucho. Este alimento, por sus características nutricionales superiores, puede ser muy útil en las etapas de desarrollo y crecimiento del organismo. Además, es fácil de digerir, no contiene colesterol y se presta para la preparación de dietas completas y balanceadas ayudando en la mejora y mantenimiento del estado de salud mediante el cambio de los hábitos alimenticios, ya que contribuye a reducir el riesgo de varias enfermedades. En la Figura 2.10 tenemos a los principales componentes de ácidos grasos de la quinoa y en la Figura 2.11 se observa la composición de los principales ácidos grasos en otras variedades de quinoa:

Figura 2.10

Composición de ácidos grasos de la semilla de quinoa (*Chenopodium quinoa*)

Ácido graso		Valores promedio en aceite crudo*	Przybylski et al., 1994	Wood et al., 1993	Ryan et al., 2007
		Quinoa			
C12:0	Laúrico		0,1	-	-
C14:0	Mirístico		0,2	0,2	
C16:0	Palmitico	9,4	9,6	8,3	9,2
C16:1	Palmitoleico	0,3	-	-	0,3
C18:0	Esteárico	1,1	0,6	0,7	0,6
C18:1 $\omega$ 9	Oleico	25,6	21,1	20,8	29,5
C18:2 $\omega$ 6	Linoleico	57,9	56	54,3	48,1
C18:3 $\omega$ 3	Linolénico	5,8	6,7	8,2	8,0
C20:0	Eicosanoico	0,3	0,1	0,6	0,5
C20:1 $\omega$ 9	Gadoleico	1,5	1,2	1,5	1,6
20:4	Araquidónico	1,5			
C20:2 $\omega$ 6	Eicosadienoico	-	0,3	0,2	-
C22:0	Behénico	-	0,7	1,0	0,7
C22:1 $\omega$ 9	Erúcico	-	1,3	1,9	1,4
C22:2	Docosodienoico		0,3		
C24:0	Lignocérico	-	0,3	0,4	
C24:1	Nervónico	-	0,2	0,2	-

Fuente: Wood y otros (1993); Przybylski y otros (1994); Ryan y otros (2007)

Figura 2.11

Perfil de ácidos grasos en 13 variedades y una línea de quinoa (%)

Variedades y línea	Palmitico C16: 0	Esteárico C18: 0	Oleico C18: 1w	Linoleico C18: 2w	Linolénico C18: 3w	Total (%) saturados e instaurados	Total (%) instaurados
Real Blanca	7,92	0,87	24,77	45,70	8,30	87,56	78,77
Kellu	8,70	0,67	25,67	45,89	5,67	86,60	77,23
Pandela	8,83	0,71	25,02	47,23	8,10	89,89	80,35
Mañiqueña	8,63	0,75	24,97	48,22	8,31	90,88	81,50
Kariquimeña	8,00	0,73	26,32	46,81	8,98	90,84	82,11
Qanchis	8,40	0,95	25,20	45,53	9,03	89,11	79,76
Kosuña	8,32	0,77	24,93	46,66	8,36	89,04	79,95
Intinaira	9,13	0,93	24,47	43,32	9,23	87,08	77,02
Chucapaca	8,76	0,71	24,06	47,70	8,28	89,51	80,04
Jacha Grano	8,12	0,82	25,70	46,20	8,99	89,83	80,89
Blanquita	7,73	0,76	25,13	46,55	8,90	89,07	80,58
Aynoka	7,93	0,93	25,88	47,96	9,14	91,84	82,98
Kurmi	8,55	0,84	24,39	46,89	9,28	89,95	80,56
L- K Chullpi	8,36	0,66	26,11	44,23	9,07	88,43	79,41

Fuente: Laboratorio LAYSAA, Bolivia (2016)

**Chía (*Salvia hispanica*)**

El aceite de la semilla de chía tiene un predominio de ácidos grasos insaturados (Figura 2.12), alrededor del 75 % del total, los más abundantes los ácidos oleicos (6.9 %) linoleico (18.8 %) y linolénico (58.7 %), este último de la serie omega-3.

Figura 2.12

Composición de ácidos grasos de la semilla chía (*Salvia hispanica*)

Ácidos Grasos	Chía
Ác. Láurico C12:0	-
Ác. Mirístico C14:0	0,08 ± 0,00
Ác. Palmítico C16:0	7,29 ± 0,17
Ac. Heptadecanoico C17:0	0,03 ± 0,04
Ác. Estearico C18:0	3,84 ± 0,09
Ác. Eicosanoico C20:0	0,23 ± 0,00
Ác. Docosanoico C22:0	Trazas
Ác. Tetracosanoico C24:0	Trazas
Acidos grasos saturados totales	11,47
Ác. Palmitoleico C16:1	0,06 ± 0,00
Ác. Elaidico C18:1w9 trans	1,91 ± 0,29
Ác. Oleico C18:1w9 cis	8,91 ± 0,30
Ác. Octadecaenoico C18:1 w7 cis	1,31 ± 0,05
Ác. Octadecaenoico C18:1 isom	0,23 ± 0,03
Ác. Octadecaenoico C18:1 isom	0,17 ± 0,02
Ác. Eicosaenoico C20:1	0,12 ± 0,00
Ác. Eicosaenoico C20:1w9	0,17 ± 0,00
Ác. Grasos Monoinsat. Totales	12,88
Ác. Hexadecadienoico C16:2	0,18 ± 0,00
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,48 ± 0,04
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,89 ± 0,12
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,34 ± 0,04
Ác. Octadecadienoico C18:2 trans	0,16 ± 0,03
Ác. Linoleico C18:2w6	19,36 ± 0,16
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	0,10 ± 0,01
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	0,08 ± 0,01
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	-
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	-
Ác. Octadecadienoico C18:2 isom	-
Ác. Eicosadienoico C20:2	0,28 ± 0,03
Ác. γ-Linolénico C18:3w6	0,08 ± 0,01
Ác Octadecatrienoico C18:3 isom	0,32 ± 0,30
Ác Octadecatrienoico C18:3 isom	0,09 ± 0,01
Ác. Linolénico C18:3w3 cis	51,82 ± 1,49
Ác. Eicosatrienoico C20:3w3	-
Ác. Grasos Poliinsat. Totales	74,18
No identificados	1,47
Relación sat:mono:polinsaturados	1: 1,12: 6,47
Relación w6:w3	0,37

Fuente: Revista Chilena de Nutrición (2013)

La chía es una planta herbácea de la familia de las lamiáceas, es una de las especies vegetales con la mayor concentración de ácido graso alfa-linolénico omega 3. Se cultiva para aprovechar sus semillas, que se utilizan molidas como alimento. La composición química de la Chía y su valor nutricional, le confiere un gran potencial para la alimentación. Estas semillas son una fuente natural de ácidos grasos Omega-3, antioxidantes, proteínas, vitaminas, minerales y fibra dietética.

### **Los lípidos**

Los lípidos cumplen un papel importante en el mantenimiento de la vida y, a diferencia de las proteínas y los carbohidratos, son muy polimórficos o complejos estructuralmente. Las principales características de los lípidos son:

- ✓ Insoluble en agua
- ✓ Solubles en disolventes orgánicos apolares como: cloroformo, éter, benceno disulfuro de carbono y etanol caliente
- ✓ Se puede encontrar carbono, hidrógeno y oxígeno en su estructura molecular, aunque existen formas más complejas.

Los lípidos pueden clasificarse desde distintos puntos de vista, en la Tabla 2.1 encontramos la clasificación, según su complejidad, encontramos los lípidos simples y complejos. Los lípidos simples se caracterizan por una estructura molecular unitaria, incluyen ésteres de ácidos grasos y un alcohol. Por otra parte, los lípidos compuestos se caracterizan por una estructura molecular con dos o más componentes diferenciados, uno de ellos presenta propiedades de lípido y al separarlos, se encuentran ácidos grasos, un alcohol y otros compuestos. En la Tabla 2.2 se observa la clasificación según su composición química, propiedades físicas y su función:

Tabla 2.1

Clasificación de los lípidos según su complejidad

LÍPIDOS SIMPLES	LÍPIDOS COMPUESTOS
Ácidos grasos	Acilglicéridos
Terpenoides	Fosfoglicéridos
Carotenoides	Esfingolípidos
Esteroides	Ceras
Prostaglandinas	Estéridos

Fuente: Alimentación y dietaterapia (2014)

Tabla 2.2

Clasificación de los lípidos según su composición química, propiedades físicas y función

COMPOSICIÓN QUÍMICA	PROPIEDADES FÍSICAS	FUNCIÓN
Triglicéridos Fosfolípidos	Grasas neutras: triglicéridos y colesterol.	Grasas de almacenamiento (principalmente triglicéridos)
Glucolípidos Colesterol Otros esteroides	Grasas anfifílicas: fosfolípidos	Grasas estructurales (fosfolípidos y colesterol)

Elaboración propia

### Los ácidos grasos

Los ácidos grasos son los componentes mayoritarios de los lípidos y de gran importancia en la alimentación ya que son biomoléculas de constitución lipídica formada a partir de una cadena hidrocarbonada lineal y extensa. Los ácidos grasos contienen una cadena alifática con un grupo carboxilo. La mayor parte de los ácidos grasos naturales están formados por una cadena lineal con un número par de átomos de carbono, la mayoría de los compuestos en la naturaleza oscilan entre 14 y 24 átomos de carbono.

Los ácidos grasos pueden ser saturados e insaturados (monoinsaturados y poliinsaturados). Los ácidos grasos saturados consisten en cadenas lineales de carbono e hidrógeno unidos en enlaces sencillos, son sólidos a temperatura ambiente debido a que son compactos y tienen un punto de fusión muy elevado.

Los lípidos alimentarios contienen una amplia variedad de composiciones en ácidos grasos, en la Tabla 2.3 se muestran los ácidos grasos mayoritarios de estos alimentos.



Tabla 2.3

Composición en ácidos grasos (% en peso del total) de alimentos comunes

ALIMENTO LIPÍDICO	4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	16:1Δ9	18:0	18:1Δ9	18:2Δ9	18:3Δ9	20:5Δ5	22:6Δ4	TOTAL SATURADOS
Oliva							13,7	1,2	2,5	71,1	10,0	0,6			16,2
Colza							3,9	0,2	1,9	64,1	18,7	9,2			5,5
Maíz							12,2	0,1	2,2	27,5	57,0	0,9			14,4
Soja						0,1	11,0	0,1	4,0	23,4	53,2	7,8			15,0
Linaza							4,8		4,7	19,9	15,9	52,7			9,5
Coco		0,5	8,0	6,4	48,5	17,6	8,4		2,5	6,5	1,5				91,5
Cacao						0,1	25,8	0,3	34,5	35,3	2,9				60,4
Grasa mantequilla	3,8	2,3	1,1	2,0	3,1	11,7	26,2	1,9	12,5	28,2	2,9	0,5			62,7
Grasa vacuna				0,1	0,1	3,3	25,5	3,4	21,6	38,7	2,2	0,6			50,6
Grasa de cerdo				0,1	0,1	1,5	24,8	3,1	12,3	24,1	9,9	0,1			38,8
Pollo					0,2	1,3	23,1	6,5	6,4	41,6	18,9	1,3			31,1
Salmón atlántico						5,0	15,9	6,3	2,5	21,4	1,1	0,6	1,9	11,9	23,4
Huevos de gallina						0,3	22,1	3,1	7,7	36,6	11,1	0,3			30,1

Fuente: La dieta en la alimentación (2014)

## Los ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos insaturados tienden a ser líquidos a temperatura ambiente, son susceptibles al enranciamiento y, de manera natural, se encuentran en una forma menos empaquetada debido a que generalmente están en configuración *cis*. En la Figura 2.13, se muestra los enlaces que caracterizan según el tipo de grasa (saturada, insaturadas y *trans*).

Figura 2.13

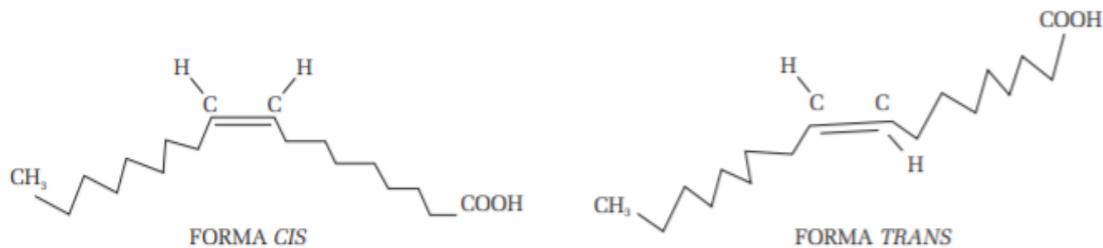
Tipos de ácidos grasos

TIPOS DE ÁCIDOS GRASOS (según el número de dobles enlaces)	
	<b>Saturados</b> (sin dobles enlaces)
	<b>Monoinsaturados</b> (con un doble enlace)
	<b>Poliinsaturados</b> (con más de un doble enlace)

Fuente: Alimentación y dietaterapia (2014)

Los ácidos grasos insaturados tienen dobles enlaces carbono-carbono ( $-\text{CH} = \text{CH}-$ ) y dependiendo de la orientación en el espacio de estos dobles enlaces pueden existir dos configuraciones: *cis* y *trans* como muestra la Figura 2.14. En general, los ácidos grasos insaturados se encuentran en la naturaleza en forma *cis* y la forma *trans* son de origen animal que al ser elevadas a temperaturas mayores de  $160^{\circ}\text{C}$  a más para consumirlas se vuelven dañinas para la salud. En el caso de los aceites vegetales, a través del proceso de hidrogenación el aceite líquido se transforma en una grasa semisólida o sólida produciéndose una isomerización estereoquímica al transformar el ácido graso de *cis* a la configuración *trans* por acción de agentes físicos, como el calor.

Figura 2.14  
Forma *cis* y *trans* de los ácidos grasos insaturados

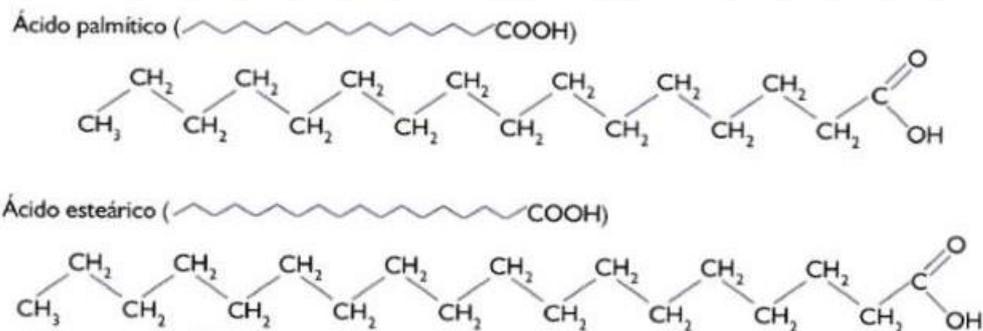


Fuente: Alimentación y dietaterapia (2014)

### Los ácidos grasos saturados

Los ácidos grasos saturados poseen un punto de fusión más elevado y son sólidas a temperatura ambiente. Los más conocidos son los ácidos: áurico, mirístico, palmítico y esteárico (Figura 2.15).

Figura 2.15  
Ácidos grasos saturados palmítico y esteárico



Fuente: Ácidos grasos (s.f.)

**Los ácidos grasos monoinsaturados.** Estos ácidos provienen de grasas vegetales, poseen un punto de fusión inferior y son líquidos en temperatura ambiente. Este tipo de ácidos grasos los encontramos en alimentos como el aguacate, los frutos secos, aceite de oliva, aceite de girasol, el salmón o el arenque. El principal ácido graso monoinsaturado es el ácido oléico.

**Ácido oleico.** es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega-9 de los aceites vegetales (como el aceite de oliva, cártamo, aguacate, entre otras); en la salud, reduce el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos.

Figura 2.16

Ácido oleico: cis-9-octadecenoico (18:1 n-9)



Fuente: Kemin Industries (2013)

**Los ácidos grasos poliinsaturados.** Tienen propiedades similares a los ácidos grasos saturados y su presencia tiende a endurecer las grasas. Dentro de este grupo encontramos los omega-3 y omega-6, también llamados ácidos esenciales.

**Los omega-3.** Este ácido graso incluye los ácido alfa-linolénico (ALA), eicosapentanoico, docosapentanoico y docosahexanoico. Es un ácido graso esencial de la serie omega-3 que son los precursores de la síntesis del ácido eicosapentanoico (EPA) y del ácido docosahexanoico (DHA), que se producen en tejidos animales, especialmente en las grasas de los peces, pero no en las plantas.

Figura 2.17

Ácido linolénico: cis-9, cis-12, cis-15-octadecatrienoico (18:3 n-3)



Fuente: Kemin Industries (2013)

Figura 2.18

Ácido eicosapentanoico 20:5 n-3 (EPA)



Fuente: Kemin Industries (2013)

Figura 2.19

Ácido docosahexanoico 22:6 n-3 (DHA)



Fuente: Kemin Industries (2013)

**Los omega-6.** Este ácido graso incluye los ácidos linoleicos, gamma-linolénico, dihomo-gamma-linolénico, ácido araquidónico (AA) y ácido adrenico. Los ácidos linolénicos no pueden ser sintetizados por los humanos por lo que dependemos de la alimentación para obtenerlo.

Figura 2.20

Ácido linoleico: cis-9, cis-12-octadecadienoico (18:2 n-6)



Fuente: Kemin Industries (2013)

Figura 2.21

Ácido araquidónico 20:4 n-6 (AA)



Fuente: Kemin Industries (2013)

### Alteración de los aceites vírgenes

La industria alimentaria tiene gran interés por reducir el proceso de oxidación de los lípidos y evitar factores que influyen en el aumento de la oxidación ya que el deterioro origina características organolépticas indeseables en el producto y alteración en los parámetros de calidad (acidez, índice de peróxidos, humedad, otros).

La oxidación de los lípidos es la reacción más importante que afectan las propiedades de los lípidos como el aroma y el sabor (enranciamiento), el color, la pérdida de nutrientes y la formación de compuestos (productos de oxidación primarios y

secundarios) potencialmente nocivas en la salud si se ingieren constantemente. Esto conlleva a la reducción de vida útil del alimento.

La oxidación de los lípidos ocurre fundamentalmente por la existencia de los ácidos grasos insaturados a través de una serie de reacciones en cadena de radicales libres. La autooxidación, es la principal reacción implicada en el deterioro de los lípidos. Existen dos tipos de variables que afecta a la oxidación de los aceites y grasas:

- ✓ Variable extrínseca: relacionado a las condiciones de almacenamiento como la temperatura, exposición a la luz y disponibilidad de oxígeno.
- ✓ Variable inherente: relacionado a los componentes propios del aceite como los ácidos grasos, triglicéridos y componentes menores (antioxidantes y prooxidantes).

Algunas variables extrínsecas se pueden controlar de manera parcial o total. Por ejemplo, para evitar la exposición a la luz, muchos aceites son envasados en envases opacos o coloreados y se guardan en cajas opacas; para evitar la exposición al oxígeno, se envasa en atmósfera de nitrógeno y se utilizan envases de baja permeabilidad. El objetivo es prolongar la vida útil de los aceites y grasas cuando estos están envasados y mantener la calidad de estos.

### **La autooxidación**

La autooxidación es la reacción del oxígeno molecular atmosférico con los ácidos grasos que constituyen los triglicéridos. En el proceso de autooxidación, se denomina período de inducción (PI) o tiempo de inducción al tiempo durante el cual hay una formación escasa o indetectable de peróxidos hasta cuando se produce un incremento brusco en la oxidación.

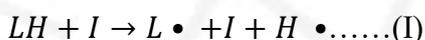
Algunos productos primarios de la autooxidación lipídico son los hidroperóxidos, estos son relativamente inestables e intervienen en numerosas y complejas reacciones de ruptura e interacción, que son las responsables de la producción de muchos tipos de compuestos de distinta naturaleza química y variados pesos capaces de producir aromas que son biológicamente significativos.

## Mecanismo de la autooxidación

Existen muchas investigaciones para identificar la cinética y los mecanismos de autooxidación lipídica y que factores influyen en el aumento de esta. La autooxidación es una reacción en cadena de radicales libres y sus etapas son las siguientes:

### Iniciación o inducción:

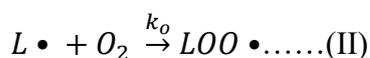
Consiste en la sustracción de un hidrógeno metilénico adyacente a un doble enlace en una molécula lipídica, en presencia de un iniciador (I) para formar un radical alquilo ( $L \bullet$ ) como se muestra a continuación:



La reacción  $LH + O_2$ , para formar radicales libres, es termodinámicamente impedida por su elevada energía de activación (35 Kcal/mol); por ello, la aparición de los primeros radicales libres necesarios para iniciar la propagación de la reacción se produce por medio de un catalizador.

### Propagación:

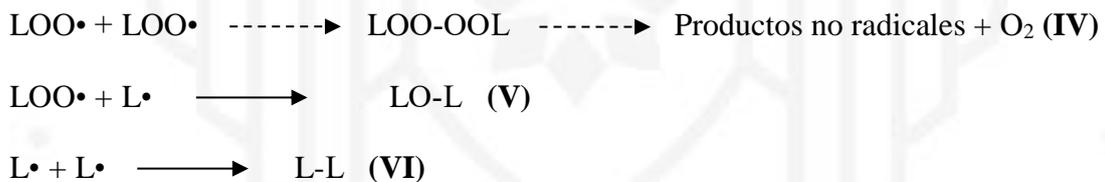
El radical alquilo ( $L \bullet$ ) producido en la etapa de iniciación, reacciona con el oxígeno para formar un radical peroxilo ( $LOO \bullet$ ), este a su vez reacciona con un lípido insaturado para formar un hidroperóxido y un nuevo radical libre ( $L \bullet$ ). Este último puede reaccionar con el oxígeno para formar un radical peroxilo y así sucesivamente como se muestra a continuación:



Una vez formado el número suficiente de radicales libres (I), la reacción en cadena se propaga al captar átomos de hidrógeno de las posiciones alfa (primer átomo unido al grupo funcional) de los dobles enlaces. Posteriormente, en estas posiciones se produce la adición de oxígeno, dando lugar a la producción de radicales peroxilo  $\text{LOO}\cdot$  (II), que a su vez captan hidrogeno de los grupos  $\alpha$ -metilénicos de otras moléculas para dar hidroperóxidos ( $\text{LOOH}$ ) y grupos ( $\text{L}\cdot$ ) (III). Estos a su vez reaccionan con el oxígeno repitiéndose la secuencia de reacción.

**Terminación:**

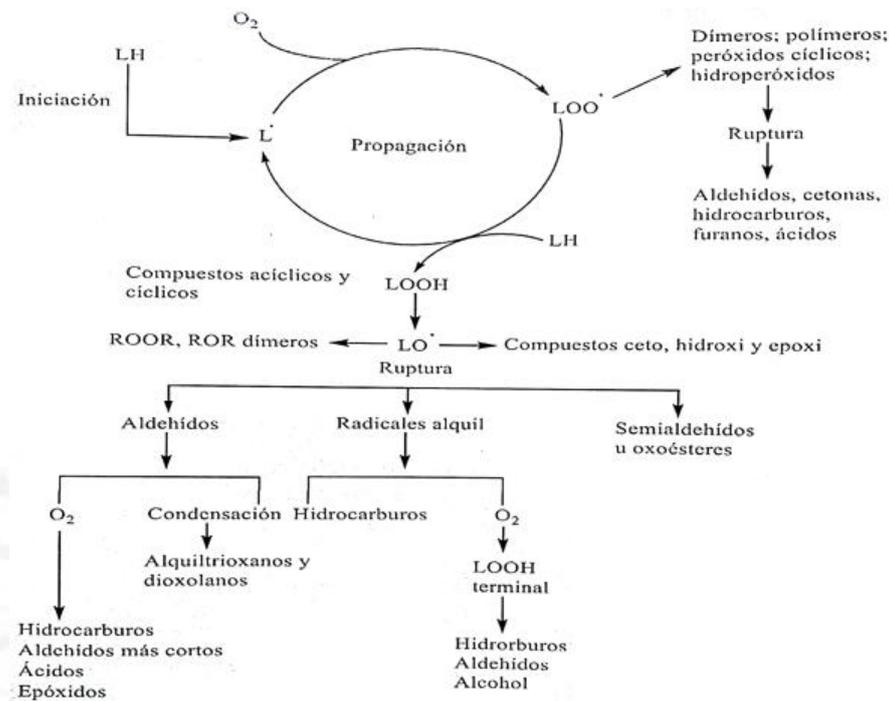
Involucra la eventual finalización del proceso de oxidación, ya sea esta negativa o positivamente. Si es negativa, los antioxidantes se han agotado y el proceso de oxidación continuará. Si es positiva, los antioxidantes (actúa como un atrapante de radicales libres) posiblemente han detenido el progreso de la oxidación. La velocidad de la reacción en cadena disminuye tras alcanzar un máximo. Los radicales reaccionan entre sí eliminándose y dando lugar a la formación de productos no radicalarios de estabilidad muy variada, entre los que se encuentran:



Como consecuencias de las reacciones de terminación aparecen productos oxidados estables y algunos volátiles originados por rotura de las cadenas acídicas. En el período de inducción, el consumo de oxígeno es lento y aumenta rápidamente cuando tiene lugar a la formación de los compuestos de terminación. En la siguiente Figura 2.22 se muestra el proceso descrito:

Figura 2.22

Mecanismo de autooxidación y los productos que se obtienen a partir de los hidroperóxidos



Fuente: Repositorio de tesis de la UNMSM (2017)

### Métodos analíticos para la evaluación de la oxidación lipídica

Existen una gran cantidad de métodos analíticos para evaluar el estado de oxidación de los lípidos y, por tanto, indicar su estado de conservación de los lípidos de los alimentos. No existe un método universal de forma objetiva; por esta razón, se recomienda el uso combinado de métodos. A continuación, describiremos algunos métodos más usados:

#### Índice de peróxidos

Según la Norma Técnica Peruana del sacha inchi acepta a este método con cloroformo. El índice de peróxido es uno de los métodos más usados para evaluar la oxidación primaria que mide los hidroperóxidos, estos son los primeros productos de la oxidación y su formación coincide con la cantidad de oxígeno que absorbe. Además, es el más utilizado para evaluar el estado de oxidación en aceites y alimentos sometidos a temperatura ambiente.

### **Índice de yodo**

La Norma Técnica Peruana acepta a este método con cloroformo. Es un parámetro indicativo de la insaturación de los aceites, la evolución de este índice podría ser una medida indirecta del grado de oxidación. El número de insaturaciones disminuye a medida que progresa la oxidación del aceite, es decir, el índice de yodo baja

### **Índice de acidez**

Este método mide el grado de hidrólisis de los aceites, se correlaciona con la degradación hidrolítica y puede expresarse como el porcentaje de ácidos grasos libres que contienen un aceite o una grasa. Según la Norma Técnica Peruana (NTP 151,400, 2014), para determinar el índice de acidez o el grado de acidez, se disuelve la muestra en una solución de alcohol y se añaden unas gotas de indicador (fenolftaleína). Se valora con hidróxido de potasio (KOH) 0.1 N añadiendo gota a gota a la muestra hasta que cambie de color de transparente a rosado.

### **Índice de dienos conjugados**

Es un método indirecto que permite evaluar los hidroperóxidos de ácidos grasos poliinsaturados mediante absorción de luz UV, debido a que presentan dobles enlaces conjugados que absorben luz a 232 nm.

### **Índice de anisidina**

Este índice es una estimación del nivel de compuestos secundarios como los aldehídos y 2-alquenas.

### **Evaluación sensorial**

El aceite de sacha inchi debe tener el color característico del producto designado. El sabor de un alimento es una característica subjetiva; sin embargo, el color, el olor y sabor debe ser característico del producto designado y estar libre de olores y sabores extraños o rancios.

## **Métodos acelerados para determinar la estabilidad oxidativa**

La estabilidad oxidativa se define como la resistencia a la oxidación lipídica. Los métodos acelerados se basan en acelerar el desarrollo oxidativo mediante el aumento de ciertos factores como la temperatura o la concentración del oxígeno, de esta manera, los resultados obtenidos ayuden a predecir el tiempo de vida útil del aceite o alimento. En la primera fase, la oxidación es lenta y después de un cierto periodo de tiempo, la velocidad de oxidación experimenta un cambio repentino, periodo de inducción (PI). El PI se mide por estimación del punto de máxima curvatura o la intersección de las dos líneas tangentes a ambas ramas de la curva de oxidación (Chasquibol, 2017). El método más utilizado es el método Rancimat por sus beneficios como ahorro de tiempo, ser económico y ser un método aprobado y aceptado (Cabré Cabré & Massó Maresch, 2014).

### **Método OSI (índice de estabilidad oxidativa) o método Rancimat:**

El método Rancimat fue publicado en 1974 por los investigadores Hadorn y Zücher y está basado en el test de Swift. El método Rancimat es un aparato de medida de estabilidad oxidativa de aceites y grasas en condiciones aceleradas, basado en la inducción de la oxidación de la muestra por exposición a elevadas temperaturas y flujo de aire. El método consiste en oxidar las muestras de aceite con aire a flujo constante (20 L/h) y temperatura constante (entre 80 y 140°C) para recoger los gases generados durante el proceso en una trampa de agua y registrar la conductividad. Estos gases o compuestos volátiles que se originan, fundamentalmente ácidos orgánicos de cadena corta (aldehídos, cetonas, alcoholes y ácidos grasos de cadena corta) y que son los causantes de la rancidez y los malos olores en los aceites, son detectados por conductividad (Rodríguez, Villanueva, Glorio, & Baquerizo, 2015; Cabré Cabré & Massó Maresch, 2014). Esta determinación permite estimar:

- ✓ **Tiempo de inducción:** es el tiempo necesario para llegar al punto de inflexión (definido como el punto de intersección de dos tangentes a las dos ramas de una gráfica) en el diagrama conductividad vs tiempo, es el momento a partir del cual la muestra ha superado el tiempo en el que permanece estable, siendo,

por tanto, indicativo de una pérdida de calidad y vida útil de la muestra.

- ✓ Tiempo de estabilidad: es el tiempo necesario para conseguir un incremento de conductividad prefijado.

Este método es aplicable para los lípidos en su estado puro como para ingredientes que contengan aceites o grasas. El equipo 892 Profesional Rancimat es empleado para determinar de manera rápida la estabilidad y el tiempo de vida de aceites vegetales, microcapsulados y alimentos funcionales con omega-3, ya sea en su forma pura o contenidos en alimentos y cosméticos, usando el acreditado método Rancimat. Para ello, se acelera el proceso de envejecimiento de la muestra por exposición al calor y a un volumen mayor de aire, y se mide el tiempo que transcurre hasta que tiene lugar la oxidación a alta velocidad. El tiempo de inducción o también conocido como índice de estabilidad a la oxidación (OSI, por sus siglas en inglés). El manejo, la evaluación y gestión de los datos es mediante el software StabNet para ordenadores, este hace que el análisis de los resultados obtenidos por el método Rancimat sean fáciles de manejar y confiables. En la Figura 2.23, se muestra el equipo Rancimat utilizado para determinar las pruebas a los aceites sin microencapsular y microencapsulado y en la Tabla 2.3, se muestra algunas pruebas realizadas a otros aceites a través del método Rancimat a 100°C:

Figura 2.23

Equipo 892 Professional Rancimat



Fuente: Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales del CEIAF (2018)

Tabla 2.4

Tiempo de inducción (ti) con desviación estándar (S) según el método Rancimat a diferentes temperaturas (horas)

Muestra	Tiempo de Inducción a: 100 °C (h)					
	100 °C (h)		110 °C (h)		120 °C (h)	
	Ti	S	ti	S	ti	S
Aceite de cacahuete	13,80	0,08	7,25	0,10	3,25	0,12
Aceite de girasol	9,27	0,20	4,55	0,05	2,27	0,08
Aceite de oliva	29,37	0,72	12,95	0,45	6,42	0,13
Manteca de cerdo	1,02	0,03	0,57	0,02	0,33	0,05
Margarina	23,18	0,13	12,03	0,10	6,17	0,08
Mantequilla de cocina	20,88	0,08	9,33	0,00	5,03	0,12

Fuente: Masso Anlítica S.A. (2014)

### 2.3. Marco conceptual

En el marco conceptual o glosario, se conceptualizó los siguientes términos:

**Alimento.** Según la RAE, la primera definición de alimento es “Conjunto de sustancias que los seres vivos comen o beben para subsistir”; esto hace referencia a la alimentación que es el proceso de ingesta de diferentes tipos de alimentos, ya sean de origen animal o vegetal, proporcionan nutrientes y la energía necesarios para sobrevivir y donde los seres vivos logran satisfacer una necesidad fisiológica. Los tipos de alimentación pueden ser vegetal, animal y humana varían en relación del ser vivo; en el presente trabajo de investigación se enfocará a la alimentación humana. La segunda acepción de alimento es “Cada una de las sustancias que un ser vivo toma o recibe para su nutrición” (Real Academia Española, 2014).

**Nutrición.** Es el proceso, luego de la alimentación, el cual el organismo repara las partes que se van perdiendo en virtud de las acciones catabólicos y busca los nutrientes en los alimentos consumidos para transformarlo en energía para sobrevivir y subsistir (Real Academia Española, 2014). La nutrición autótrofa es realizada por las plantas y algunas bacterias, estas tienen la capacidad de sintetizar en su interior elementos inorgánicos como la luz, el agua y dióxido de carbono para convertirlos en sus alimentos; y la

nutrición heterótrofa es realizada por los animales, los hongos, la mayoría de bacterias y los humanos, estos no pueden transformar la materia inorgánica en orgánica y deben consumir otras sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos como los autótrofos u otros heterótrofos para aprovechar su energía para fabricar moléculas orgánicas complejas.

**Seguridad alimentaria.** Según la definición de la FAO, se entiende por seguridad alimentaria “cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a los alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfagan sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida sana y activa”.

**La estabilidad oxidativa.** Se define como la resistencia de una matriz lipídica a la oxidación por efecto de la temperatura, luz, oxígeno, otros, lo que genera el deterioro de un aceite o grasa en un periodo de tiempo razonablemente corto. La oxidación tiene efectos nocivos para la salud.

**Los ácidos grasos.** Son biomoléculas de constitución lipídica que se forman a partir de una cadena hidrocarbonada lineal y extensa, y que constituyen a los seres vivos; es decir, son componentes naturales de las grasas y los aceites. Los ácidos grasos de la dieta provienen de alimentos que contienen grasas animales o vegetales. Según su estructura química se pueden clasificar en: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados.

**Microencapsulación de aceites.** El proceso de microencapsulación consiste en el empaquetamiento de materiales (sólidos, líquidos o gaseosos) a través de la aplicación de una cubierta delgada denominada pared, sobre partículas de tamaño del orden de los micrones. El material de pared debe tener características específicas formar una película que sea cohesivo con el material del núcleo, químicamente compatible con el núcleo y proporcionar las propiedades de revestimientos deseados, tales como resistencia, flexibilidad, impermeabilidad propiedades ópticas y estabilidad. Este proceso es capaz

de transformar una dispersión líquida en un producto totalmente seco y estable (Salazar Perdomo, 2017).

Existen diferentes métodos para microencapsular, a diferencia de otros métodos, el secado por aspersión proporciona una eficiencia de microencapsulación relativamente alta. Este proceso permite enmascarar diversas sustancias bioactivas por un sistema de carácter polimérico, con el fin de protegerlas e impedir su degradación. En este proceso mecánico, se deben tener en cuenta algunos parámetros como: temperatura de entrada y salida del aire de secado, el flujo de alimentación del producto a secar, la concentración de agente microencapsulante y el acondicionamiento de la materia prima, entre otros (García Gutiérrez, González Maldonado, Ochoa Martínez, & Medrano Roldán, 2004).

El proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión consiste en que la emulsión o una dispersión líquida (las sustancias activas y materiales de pared) se introduce en el equipo por medio de una bomba peristáltica y se atomiza; luego, se elimina el disolvente colocándolo en contacto con una corriente de aire a una temperatura de 150 °C en la cámara de secado, con la que se evapora el líquido en la que se encuentra disuelta y se hace precipitar las partículas microencapsuladas a través de un recipiente cerrado llamado ciclón hasta llegar al vaso recolector del producto.

Por otro lado, el proceso de microencapsulación no afecta significativamente a los ácidos grasos presentes en el aceite de sacha inchi del ecotipo *P. volubilis* (Figura 2.24) como fue reportado por Pastuña, *et al.* (2016).

Figura 2.24

Principales ácidos grasos del aceite de sacha inchi (*P. volubilis*) sin microencapsular y microencapsulado (%)

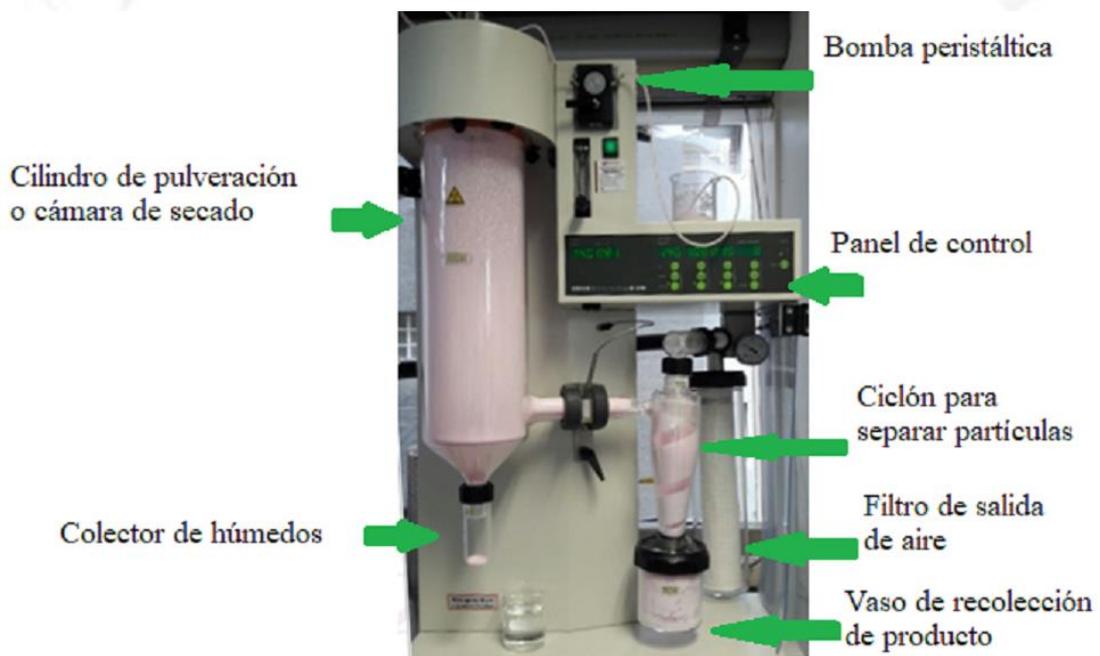
Ácidos grasos	Aceite sin microencapsular (%) (SM)	Aceite microencapsulado (%) (M)
C16:0	3,93 ± 0,23	3,84 ± 0,00
C18:0	2,67 ± 0,06	2,97 ± 0,00
C18:1	8,93 ± 0,12	8,90 ± 0,17
C18:2	35,47 ± 0,56	35,70 ± 0,34
C18:3	45,87 ± 0,67	45,13 ± 0,22

Fuente: Revista Colombiana Ciencia, Química y Farmacia (2016)

Las microcápsulas de aceite de saca inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) fueron obtenidas en el presente trabajo de investigación mediante el secado por aspersión empleando el equipo Mini Spray Dryer o Mini secador por aspersión de marca Büchi modelo B-290 (conocido también como secado por atomización, pulverización, spray, rocío o "spray drying") como se muestra en la Figura 2.25 en el "Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales" del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales (CEIAF) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima.

Figura 2.25

Equipo Mini Spray Dryer B-290 (marca Büchi)



Fuente: Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales del CEIAF (2018)

Estas microcápsulas pueden liberar su contenido a velocidades controladas bajo condiciones específicas a la vez que protege al compuesto encapsulado de la luz, la humedad y el oxígeno, de esta manera, se cumple la función de conservación de propiedades biológicas o fisicoquímicas. Las sustancias que pueden ser microencapsuladas son minerales, colorantes, prebióticos, saborizantes, antioxidantes, aceites esenciales, otros (Parzanese, 2013; Castañeta, Gemio, Yapu, & Nogales, 2011). La liberación puede llevarse a cabo por disolución normal en agua, por esfuerzos de

cizalla, temperaturas, reacciones químicas y enzimáticas o por cambios en la presión osmótica; esta liberación de componentes de una cápsula puede ser controlada por difusión de la pared de la cápsula o por una membrana que cubre la pared. Además de los parámetros anteriores, la liberación controlada está en función del tipo de polímero empleado que puede ser hidrofílico o lipídico. Los mecanismos fundamentales de liberación son la difusión y la erosión (Garnica & Alcàntar, 2015).

Existen diversos materiales de pared, muchos de estos de origen orgánico, como los siguientes:

**Carbohidratos:** son los más empleados en la encapsulación, se utiliza la técnica de secado por aspersión para ingredientes alimenticios como soporte de encapsulamiento, dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones, maltodextrinas y gomas.

**Almidón:** son la alternativa más económica y son muy utilizados en la industria alimentaria, los almidones basados en ingredientes (almidones modificados, maltodextrinas, b-ciclodextrinas); dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz, trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*) e inulina. El material de pared de Hi-Cap es un almidón modificado de maíz que ha presentado muy buenos resultados para microencapsulación de compuestos lipídicos reportan una alta estabilidad en emulsiones preparadas con este almidón al igual que una alta eficiencia de encapsulación (Tonon, Brabet, & Hubinger, 2010). La maltodextrina ha sido investigada por su habilidad de ser utilizado como material de pared para la encapsulación de b-caroteno y se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. La maltodextrina tiene baja viscosidad a alta proporción de sólidos, son inodoras, incoloras y de baja viscosidad a altas concentraciones, además permiten la formación de polvos de libre flujo sin enmascarar el sabor original (Sansone, y otros, 2011), está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos.

**Gomas:** son ampliamente utilizados como material de pared para microencapsulación de aceites debida a su alta eficiencia de encapsulación y buena retención de volátiles, generalmente son insípidas, pero pueden tener un efecto pronunciado en el gusto y sabor de alimentos, son solubles, de baja viscosidad, poseen características de emulsificación y es muy versátil para la mayoría de los métodos de encapsulación. Como ejemplos se tienen goma arábica, algarrobo, tamarindo, entre otros. La goma arábica, un polímero natural biodegradable ha sido utilizado como una matriz para encapsular enzimas.

**Proteínas:** alimentos hidocoloides son ampliamente utilizados como microencapsulantes, por ejemplo: proteínas alimenticias como caseinato de sodio, proteína de lactosuero, aislados de proteína de soya, ceras, gluten, gretina, caseína, soya, trigo y gelatina (Esquivel González, Ochoa Martinez, & Rutiaga Quiñones, 2015).

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

El tipo de investigación se puede clasificar según:

- ✓ Tendencia: Investigación cuantitativa
- ✓ Orientación: Investigación experimental y aplicada
- ✓ Análisis y alcance de sus resultados: Estudios exploratorios

El diseño de la investigación es una investigación de laboratorio o experimental ya que son propios de la investigación cuantitativa, este tipo de investigación constituye a métodos experimentales, medios matemáticos y estadísticos tradicionales para medir resultados de manera concluyente.

### 3.2. Unidad de análisis

En el presente trabajo, se determinó el tiempo de vida útil por el método Rancimat y otros parámetros de calidad para las muestras:

- ✓ Aceites de sachá inchi sin microencapsular (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*)
- ✓ Aceites de sachá inchi microencapsulados (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*), por el método de aspersión, con diferentes materiales de pared.

### 3.3. Población de estudio

La población de estudio está determinada por los aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) con los materiales de pared seleccionados para el proceso de microencapsulación.

Las semillas de sachá inchi del ecotipo *Plukenetia volubilis* fueron obtenidos del departamento de San Martín y las semillas de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana* fueron obtenidos de la provincia Rodríguez de Mendoza en el departamento de Amazonas. Las poblaciones de estudios fueron:

Aceites de sachá inchi: aceite de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana*) sin microencapsular y aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) sin microencapsular.

Materiales de pared: goma arábica, Capsul, Hi-Cap, Maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche

### 3.4. Tamaño de muestra

En el presente trabajo de investigación, se analizaron 16 muestras microencapsuladas y 2 muestras de aceite de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*) sin microencapsular. Las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado cada muestra; es decir, se analizaron 18 muestras para un total 54 determinaciones.

### 3.5. Selección de muestra

Las muestras analizadas fueron identificadas con la codificación respectiva:

Ecotipo *Plukenetia huayllabambana*:

- Aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* sin microencapsular  
Abreviado a: ASIH
- Aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulados con goma arábica Abreviado a: ASIH + GA

- Aceites de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulados con goma arábica y maltodextrina  
Abreviado a: ASIH + GA + MD
- Aceites de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulados con goma arábica, maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche  
Abreviado a: ASIH + GA + MD + WPI
- Aceites de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulados con Hi-cap  
Abreviado a: ASIH + Hi-cap
- Aceites de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulados con Capsul  
Abreviado a: ASIH + Capsul

Ecotipo *Plukenetia volubilis*:

- Aceites de sacha inchi *P. volubilis* sin microencapsular  
Abreviado a: ASIV
- Aceites de sacha inchi *P. volubilis* microencapsulados con goma arábica  
Abreviado a: ASIV + GA
- Aceites de sacha inchi *P. volubilis* microencapsulados con goma arábica y maltodextrina  
Abreviado a: ASIV + GA + MD
- Aceites de sacha inchi *P. volubilis* microencapsulados con goma arábica, maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche  
Abreviado a: ASIV + GA + MD + WPI
- Aceites de sacha inchi *P. volubilis* microencapsulados con Hi-cap  
Abreviado a: ASIV + Hi-cap

- Aceites de sachá inchi *P. volubilis* (ASIV) microencapsulados con Capsul  
Abreviado a: ASIV + Capsul

### **3.6. Procedimiento experimental**

#### **Extracción de aceites de sachá inchi**

Los aceites y grasas por su composición química y factores como el calor, el agua y la luz se degradan o sufren oxidación lipídica. El proceso de extracción del aceite de las semillas de sachá inchi puede marcar la diferencia en el tiempo de su vida útil ya que desde que un aceite se extrae desde su semilla comienza su descomposición (Vega Turizo, 2004); por ello, en el trabajo de investigación la extracción del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) se realizó por prensado hidráulico en frío, con el fin de no dañar los ácidos grasos, en el “Laboratorio de Máquinas e Instrumentos” de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Lima (Figura 3.1). Luego, se filtraron los aceites durante 30 minutos en un filtro dispuesto en una centrífuga trifásica de 220 V y de 2,9 HP que operó a 3600 rpm en el “Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales” del Centro de Innovación y Alimentos Funcionales (CEIAF) (Chasquibol, 2017). Finalmente, las muestras de aceites filtradas fueron almacenadas en frascos de color pardo y a una temperatura de 4°C para su posterior análisis y microencapsulación.

Figura 3.1  
Prensa hidráulica utilizada para la extracción del aceite de sachá inchi



Fuente: Laboratorio de Máquinas e Instrumentos de la Universidad de Lima (2018)

### **Humedad de las microcápsulas**

El porcentaje de humedad de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*) se determinó pesando mínimo 3 g de las microcápsulas en la balanza de humedad de la marca Sartorius, modelo MA-30 (Figura 3.2) que determina la humedad de las microcápsulas a 100 °C y 1 atmósfera de presión; las mediciones se realizaron inmediatamente después de culminar el proceso de microencapsulación. Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Figura 3.2

Balanza de humedad Sartorius MA-30



Fuente: Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales del CEIAF (2018)

### **Rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachu inchi**

El rendimiento de las microcápsulas se evaluó con la cantidad de microcápsula obtenida, en el vaso recolector del atomizador o equipo spray dryer respecto a la cantidad de masa ingresada. Todas estas determinaciones se realizaron por triplicado.

### **Índice de peróxido e índice de acidez de los aceites**

Los índices de acidez de los aceites de sachu inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*) obtenidos fueron evaluados por el equipo Oxitester CDR (Figura 3.3). En el análisis de acidez se determinaron los ácidos grasos libres en el aceite, el cual fue calculado por una disolución de la muestra en disolventes y valoración de los ácidos grasos libres mediante una solución etanólica de KOH. Se determinó el índice de peróxidos mediante la utilización de  $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ , cloroformo y KI, valorando posteriormente con  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .

El índice de peróxidos es la cantidad de peróxidos en la muestra que ocasiona la oxidación del yoduro potásico y se expresó en miliequivalentes de  $\text{O}_2$  activo/ Kg de aceite (Chasquibol, 2017). Ambos parámetros fisicoquímicos siguen la Norma Técnica Peruana de Sachu Inchi (NTP 151,400, 2014). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

Figura 3.3  
Oxitester CDR



Fuente: Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales del CEIAF (2018)

### **Estabilidad Rancimat**

La determinación de la estabilidad a la oxidación de los aceites de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) mediante el método Rancimat se realizó en el equipo Professional Rancimat (marca: Metrohm, modelo: 892). Para ambos ecotipos, las muestras colocadas en los tubos de reacción del equipo Rancimat pesaron entre 2.5 - 3 g de aceite de sacha inchi y 2.0 g - 3.0 g de microcápsulas de aceites. Estas muestras se sometieron a oxidación a las temperaturas de 70, 80, 90 y 100°C bajo corriente de aire con un caudal de 20 L/h.

La exposición de las muestras a estas temperaturas y flujo de aire a lo largo del tiempo descompone a los aceites desprendiéndose compuestos volátiles que se concentran en las vasijas donde están dispuestos unos electrodos (Chasquibol, 2017). El periodo de inducción, tiempo donde ocurre la formación de hidroperóxidos, al cual llamaremos el tiempo de inducción o índice de estabilidad oxidativa, medida en horas, es el momento a partir del cual el aceite ha superado el tiempo en el que permanece estable, indicando la pérdida de calidad y dando cuenta de su vida útil. Todas estas determinaciones se realizaron por triplicado.

### **Índice de peróxido de las microcápsulas**

Para determinar el índice de peróxido en las microcápsulas de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) se disolvieron las muestras en una mezcla de ácido acético y cloroformo. A las muestras se añadieron una solución de yoduro potásico (KI) y se mantuvieron en la oscuridad para que el todo el yoduro se transforme en yodo empleando el oxígeno procedente de los peróxidos. El yodo formado se valoró con una solución de tiosulfato sódico. La unidad se expresa en miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite (meq O<sub>2</sub>/kg aceite) (Chasquibol, 2017). Este método debe combinarse con otro para evaluar los compuestos secundarios de oxidación. Todas estas determinaciones se realizaron por triplicado.

### **3.7. Técnicas de recolección de datos**

#### **Rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi**

La siguiente fórmula se empleó para hallar el rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*):

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Microcápsulas obtenidas en el proceso de microencapsulación (g)}}{\text{Peso del material ingresante (g)}}$$

#### **Índice de estabilidad oxidativa del equipo Rancimat**

Los tiempos de periodo de inducción y estabilidad fueron recolectados y procesados mediante StabNet, software del equipo Rancimat (marca: Metrohm, modelo: 892), el cuál aplica la técnica de extrapolación lineal.

La extrapolación lineal se utiliza para estimar los valores de tiempo de vida útil a 25°C de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*). La extrapolación considera una función en un intervalo del cual se conoce los valores extremos de los índices de estabilidad oxidativa o periodos de inducción (PI) y las temperaturas de 70, 80, 90 y 100°C.

La extrapolación del tiempo de vida útil a 25°C de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) sin microencapsular y microencapsulados se realizó en base al software StabNet del equipo Rancimat, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de vida} = A \times \exp(B \times T)$$

Donde:

A y B; coeficientes de regresión en base a los PI

T: temperatura del tiempo de vida establecido (25°C)

### Índice de peróxido

El método consiste en disolver las microcápsulas en una mezcla de ácido acético y cloroformo con solución de yoduro de potasio. El yodo liberado se valora con solución de tiosulfato sódico  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ . La fórmula usada para hallar el índice de peróxido es la siguiente:

$$\text{I.P (meq O}_2 \text{ / Kg aceite)} = \frac{\text{Volumen (mL)} \times N (\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) \times 1000}{\text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

Volumen: volumen de tiosulfato (mL)

N ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ): normalidad real del Tiosulfato de sodio 0.01N

### Energía de activación ( $E_a$ )

La energía de activación se determinó a partir de la pendiente de la recta que resulta de representar el logaritmo natural de los valores del índice de estabilidad oxidativa contra el inverso de la temperatura absoluta (343, 353, 363, 373 K). La dependencia de los valores de OSI con respecto a la temperatura termodinámica fue utilizada para la determinación de la energía de activación de las reacciones de oxidación en los aceites de sacha inchi. La fórmula usada para hallar la energía de activación es la siguiente:

$$\text{Ln(OSI)} = \text{Ln} \left( \frac{-\text{Ln}(1-\alpha)}{Z} \right) + \frac{E_a}{RT}$$

Donde:

OSI: Índice de estabilidad oxidativa

R: constante universal de los gases

Z: factor pre-exponencial de la ecuación de Arrhenius.

T: temperatura (K)

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 4.1. Resultados experimentales

En la Tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos del análisis del índice acidez (IA) e índice de peróxidos (IP) realizados a los aceites de sachá inchi sin microencapsular en el equipo Oxitester DCR en el “Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales” del Centro de Innovación y Alimentos Funcionales (CEIAF)

Tabla 4.1

Parámetros de calidad de los aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis*

ACEITES DE SACHA INCHI	IA (ácidos libres/g aceite)	IP (meqO <sub>2</sub> /g aceite)
ASIH	0.42 ± 0.00	0.0 ± 0.0
ASIV	4.10 ± 0.00	2.65 ± 0.05

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

En la Tabla 4.2, se muestran los promedios de los porcentajes de humedad medidas en la balanza de humedad Sartorius MA-30 y los porcentajes de rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi calculados por la cantidad de materia, según ecotipo.

Tabla 4.2

Porcentaje humedad y porcentaje rendimiento de las microcápsulas de los aceites sacha inchi

Aceites	Material de pared	% Humedad	% Rendimiento
ASIH	<b>Hi-cap</b>	3,20 ± 0,03	19.80 ± 5.87
	<b>GA+MD+WPI</b>	3,58 ± 0,09	39.88 ± 1.23
	<b>GA</b>	5,87 ± 0,13	26.45 ± 4.99
	<b>GA+MD</b>	5,01 ± 0,09	29.65±10.77
	<b>Capsul</b>	4,21 ± 0,02	25.37± 0.99
ASIV	<b>Hi-cap</b>	2.40 ± 0.06	32.96 ± 5.79
	<b>GA+MD+WPI</b>	3.34 ± 0.03	34.28 ± 1.20
	<b>GA</b>	6.36 ± 0.06	30.58 ± 1.12
	<b>GA+MD</b>	4.63 ± 0.06	35.75 ± 1.18
	<b>Capsul</b>	4.51 ± 0.06	32.42 ± 3.04

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

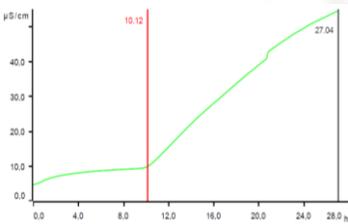
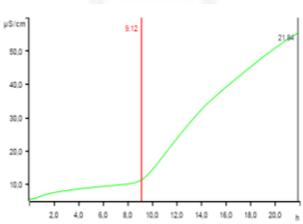
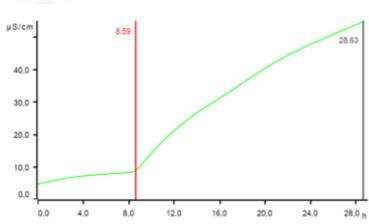
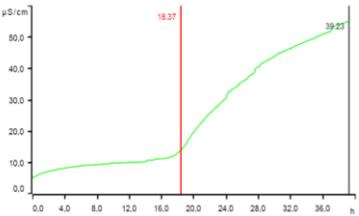
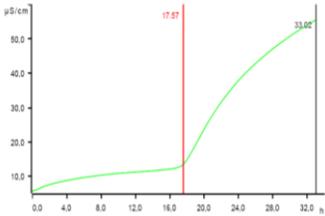
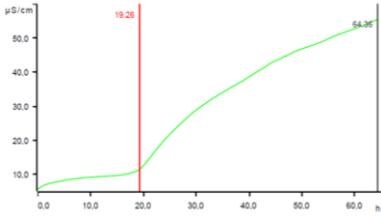
La determinación del tiempo de inducción y el tiempo de estabilidad mediante StabNet, el software del equipo Rancimat, se realizaron entre fines del año 2017 y comienzos del año 2018 en el “Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales” del Centro de Estudios e Innovación de Alimentos Funcionales (CEIAF) de la Universidad de Lima con la colaboración del Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI-Argentina y del Instituto de la Grasa, CSIC de Sevilla.

Con la ayuda del software StabNet del equipo Rancimat, se graficó el diagrama tiempo (horas) vs medida de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En las siguientes figuras (Figura 4.1 - 4.24), se muestran los tiempos de inducción (línea recta vertical roja) y tiempos de estabilidad (línea recta vertical negra) de los aceites de sacha inchi *Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis* sin microencapsular y microencapsulados obtenidos.

Las temperaturas que se usaron para determinar el tiempo de inducción y el tiempo de estabilidad oxidativa de las muestras en el equipo Rancimat fueron de 100, 90, 80 y 70°C. Todas las determinaciones de aceites y microencapsulados se realizaron por triplicado para obtener mayor precisión con el promedio y la desviación estándar de los resultados obtenidos.

Figura 4.1

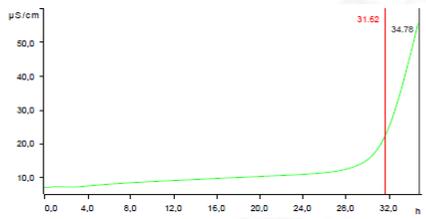
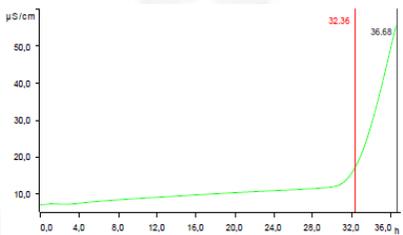
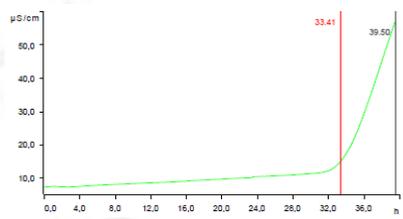
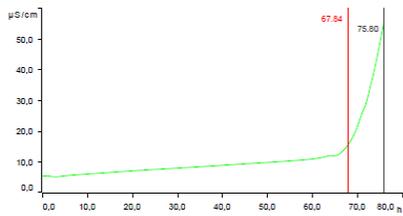
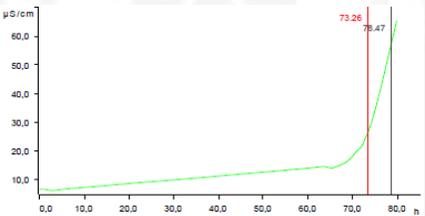
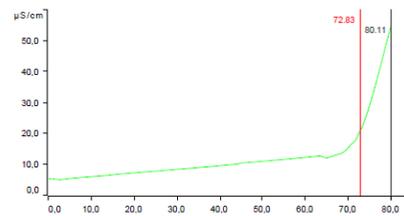
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. huayllabambana* sin microencapsular a las temperaturas de 100°C y 90°C

Temperatura: 100°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 10.12 h Tiempo de estabilidad: 27.04 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 9.12 h Tiempo de estabilidad: 21.84 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 8.59 h Tiempo de estabilidad: 28.63 h</p>
Temperatura: 90°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 18.37 h Tiempo de estabilidad: 39.23 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 17.57 h Tiempo de estabilidad: 33.02 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 19.26 h Tiempo de estabilidad: 64.36 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.2

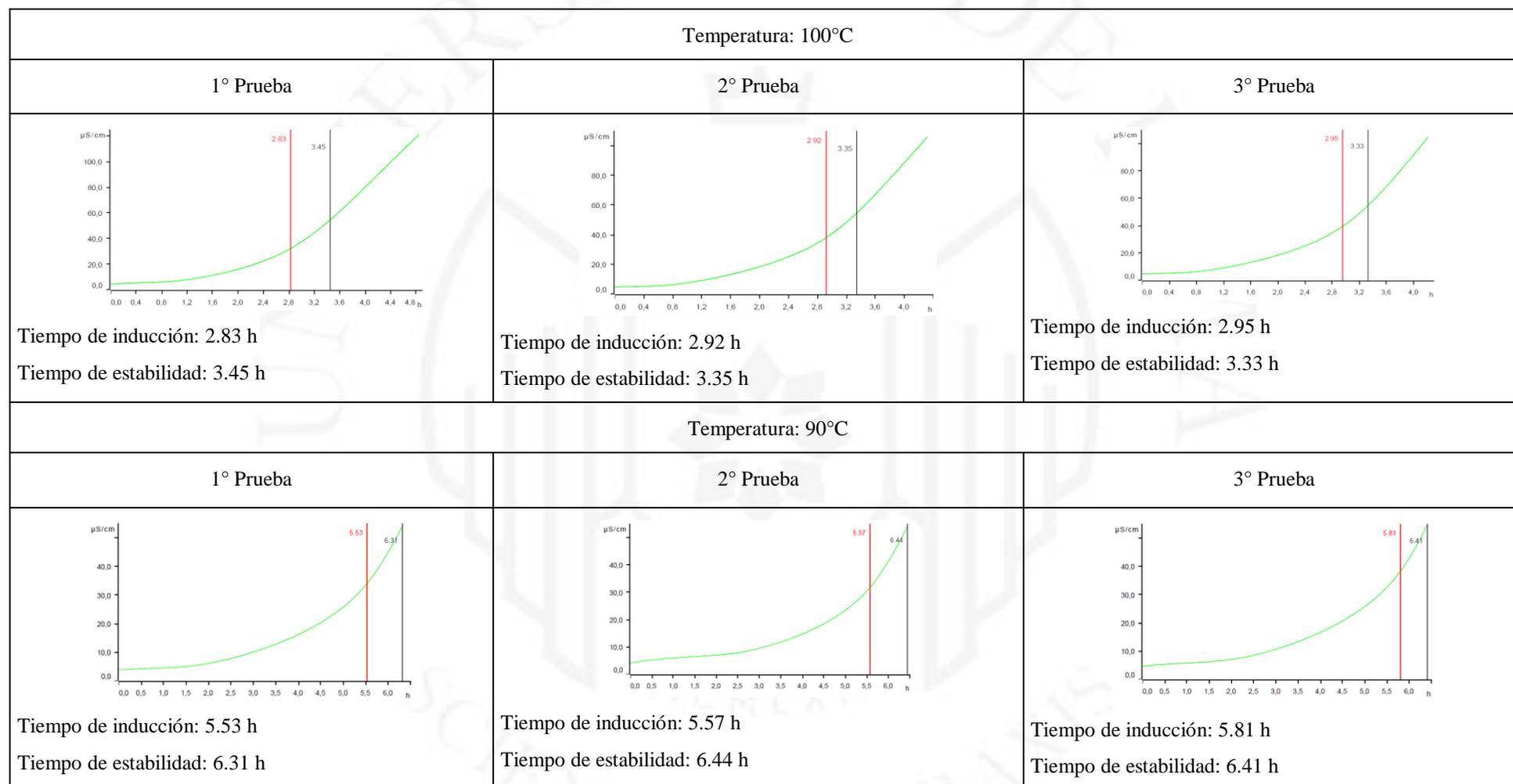
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* sin microencapsular a las temperaturas de 80°C y 70°C

Temperatura: 80°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 31.62 h Tiempo de estabilidad: 34.78 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 32.36 h Tiempo de estabilidad: 36.68 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 33.41 h Tiempo de estabilidad: 39.50 h</p>
Temperatura: 70°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 67.84 h Tiempo de estabilidad: 75.80 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 73.26 h Tiempo de estabilidad: 78.47 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 72.83 h Tiempo de estabilidad: 80.11 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.3

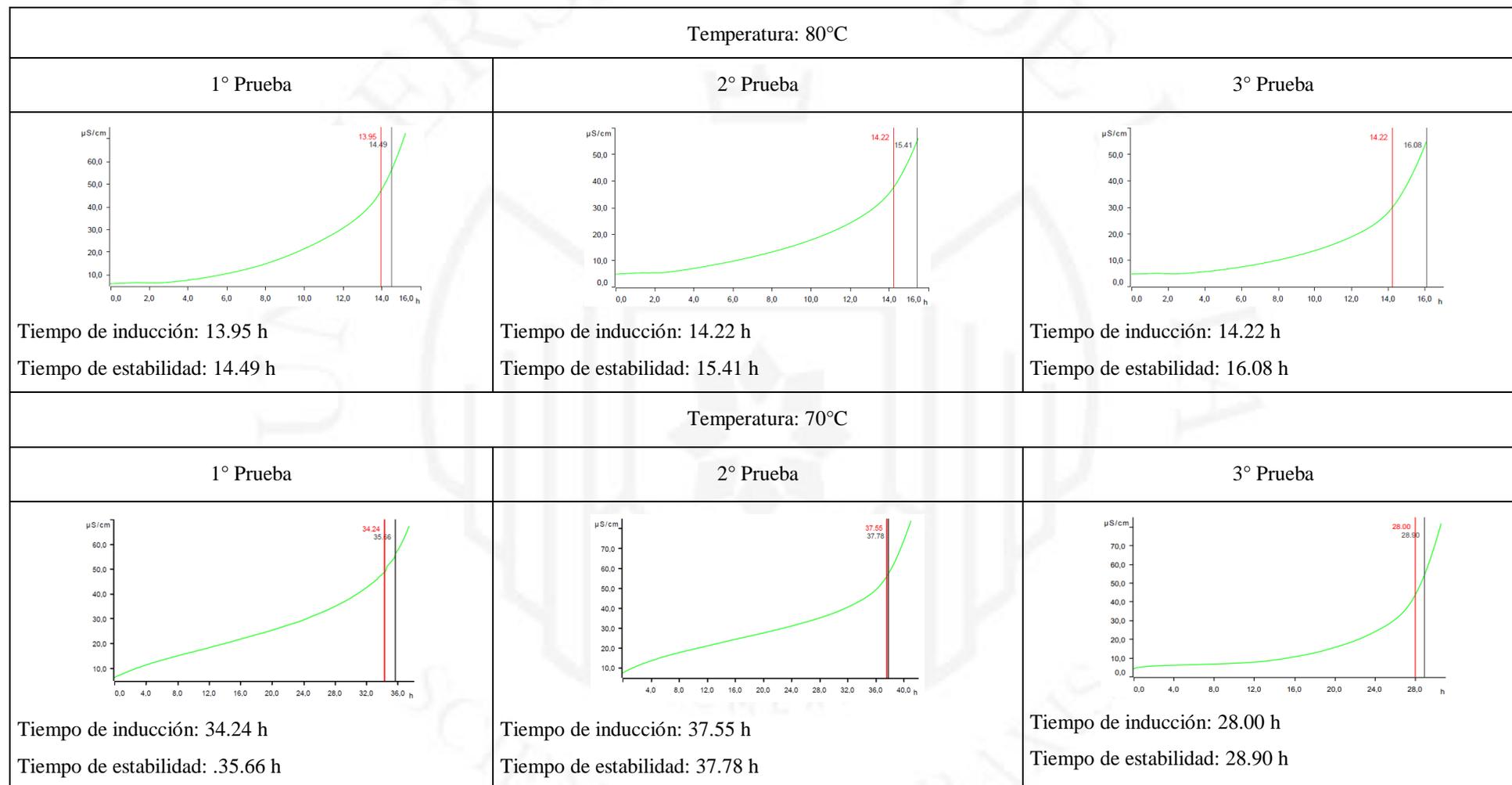
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.4

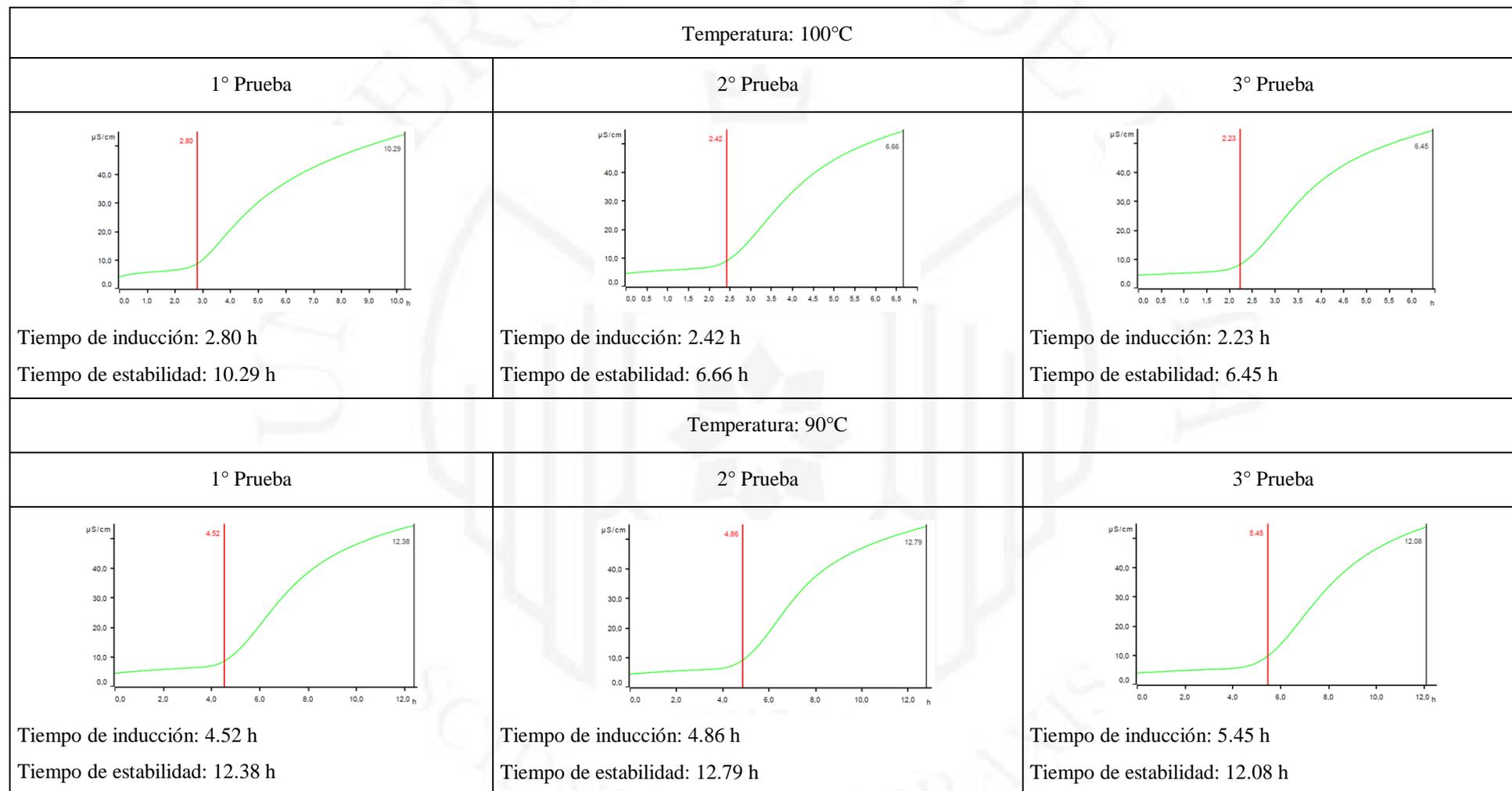
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.5

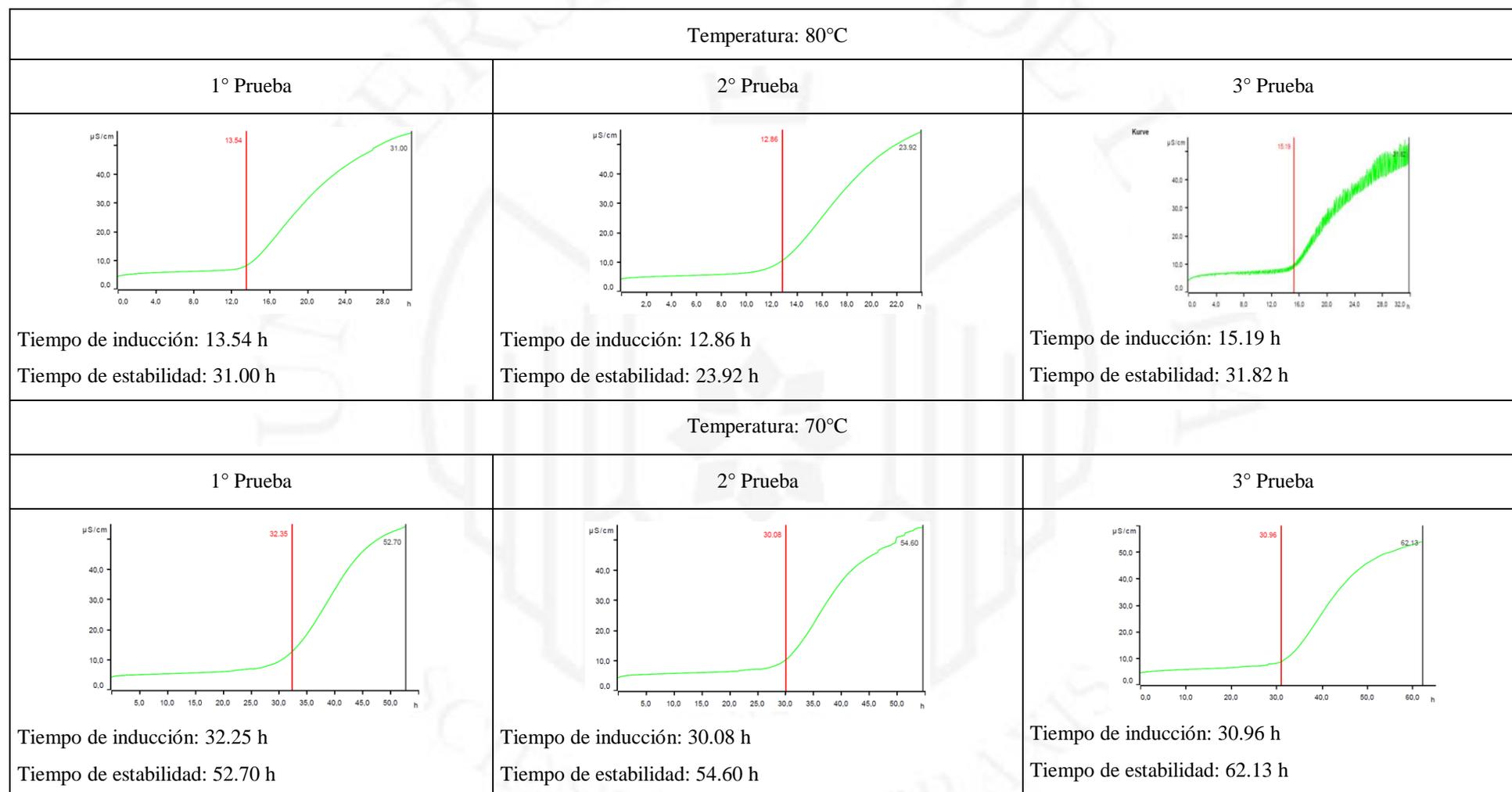
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.6

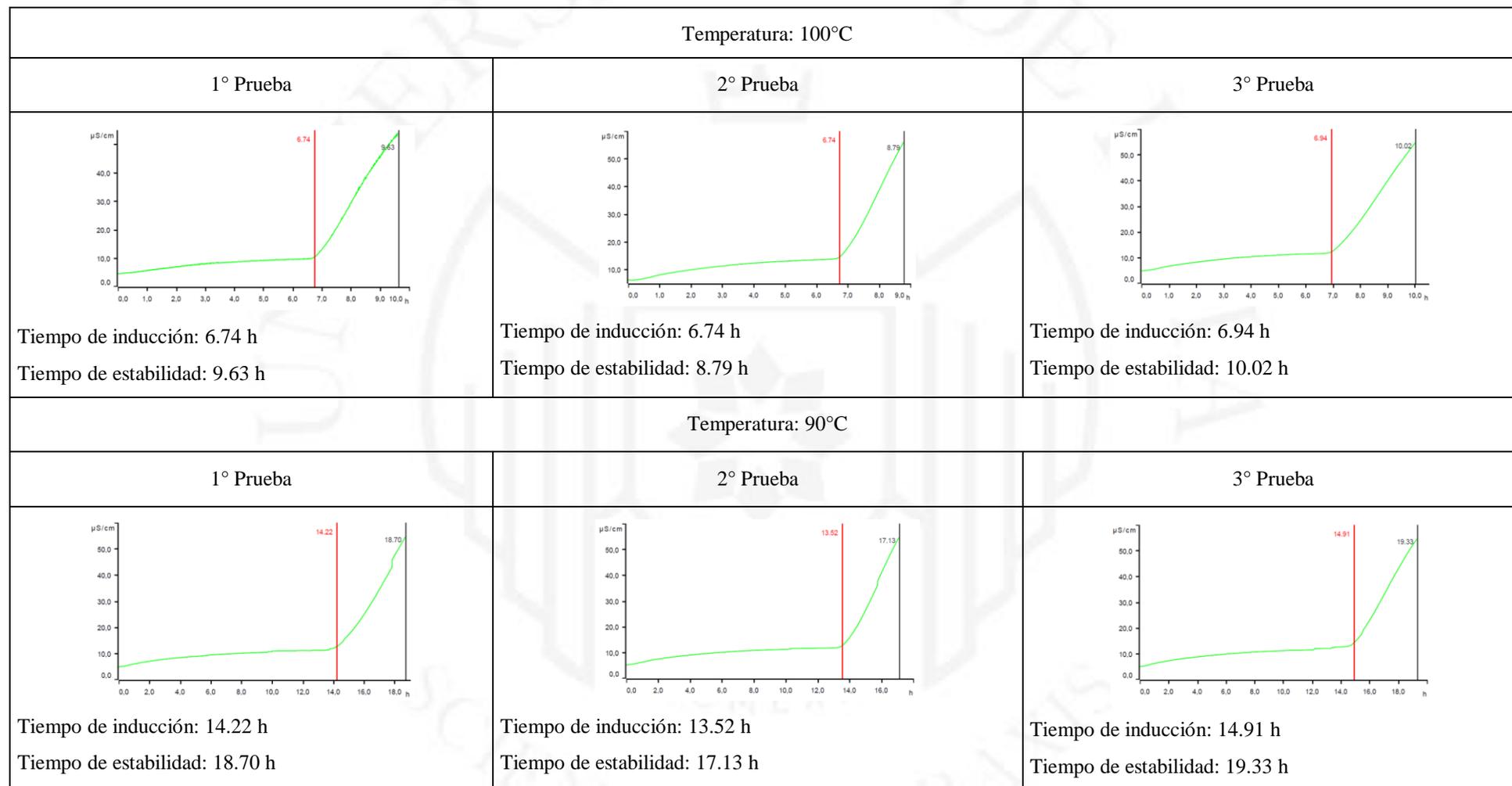
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.7

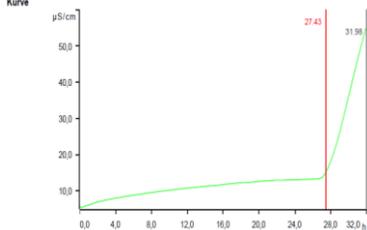
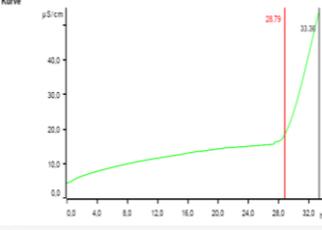
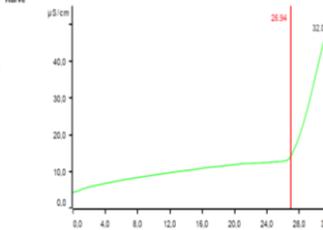
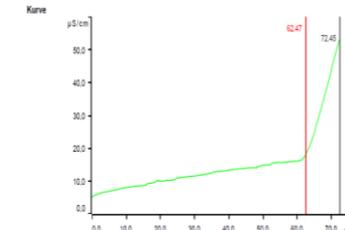
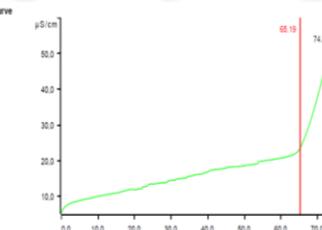
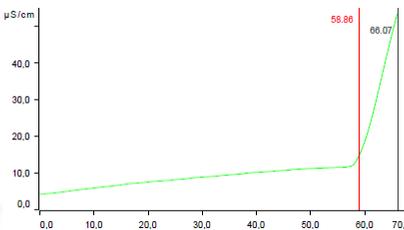
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.8

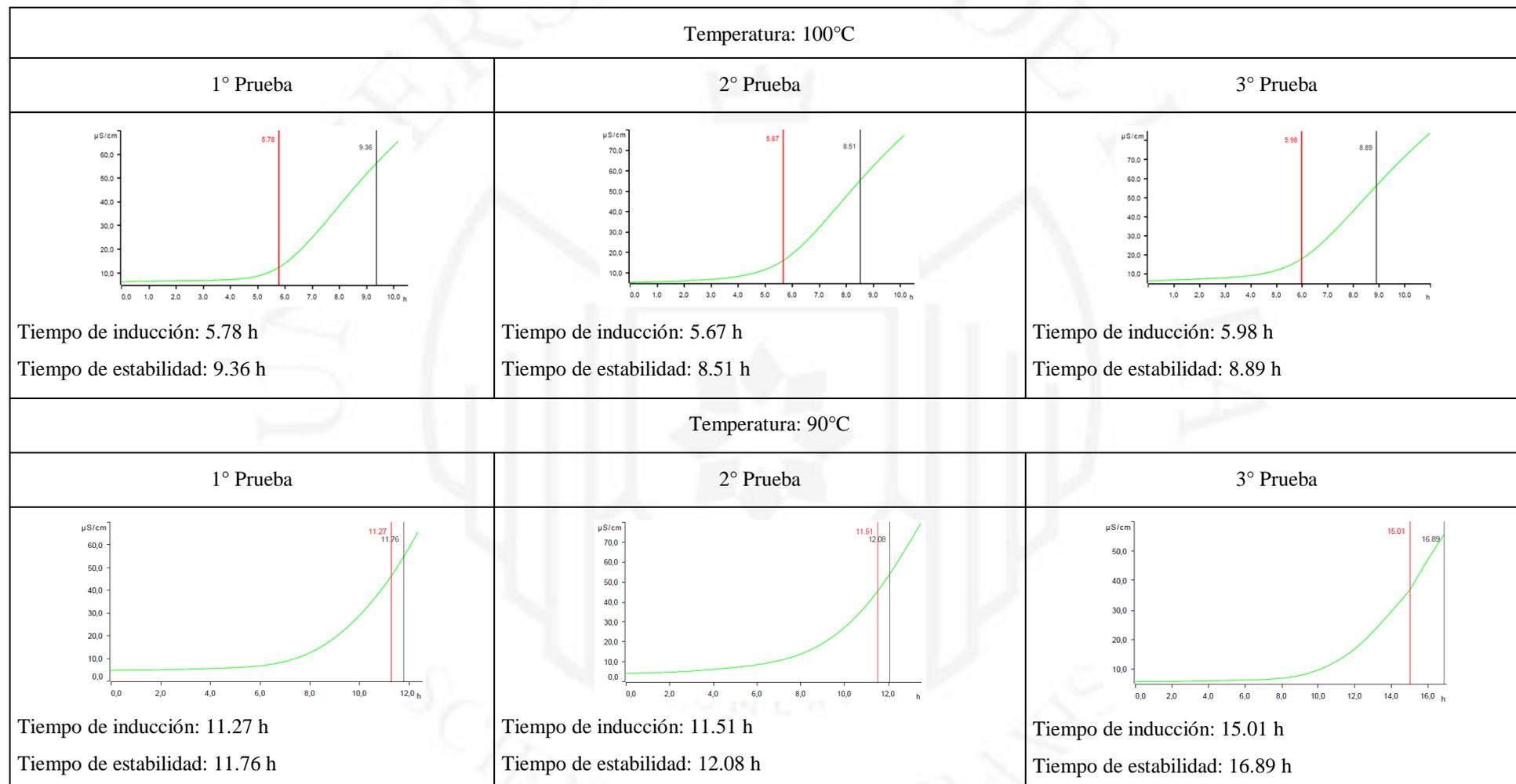
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C

Temperatura: 80°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 27.43 h Tiempo de estabilidad: 31.98 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 28.79 h Tiempo de estabilidad: 33.36 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 26.94 h Tiempo de estabilidad: 32.02 h</p>
Temperatura: 70°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 62.47 h Tiempo de estabilidad: 72.45 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 65.19 h Tiempo de estabilidad: 74.33 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 58.86 h Tiempo de estabilidad: 66.07 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.9

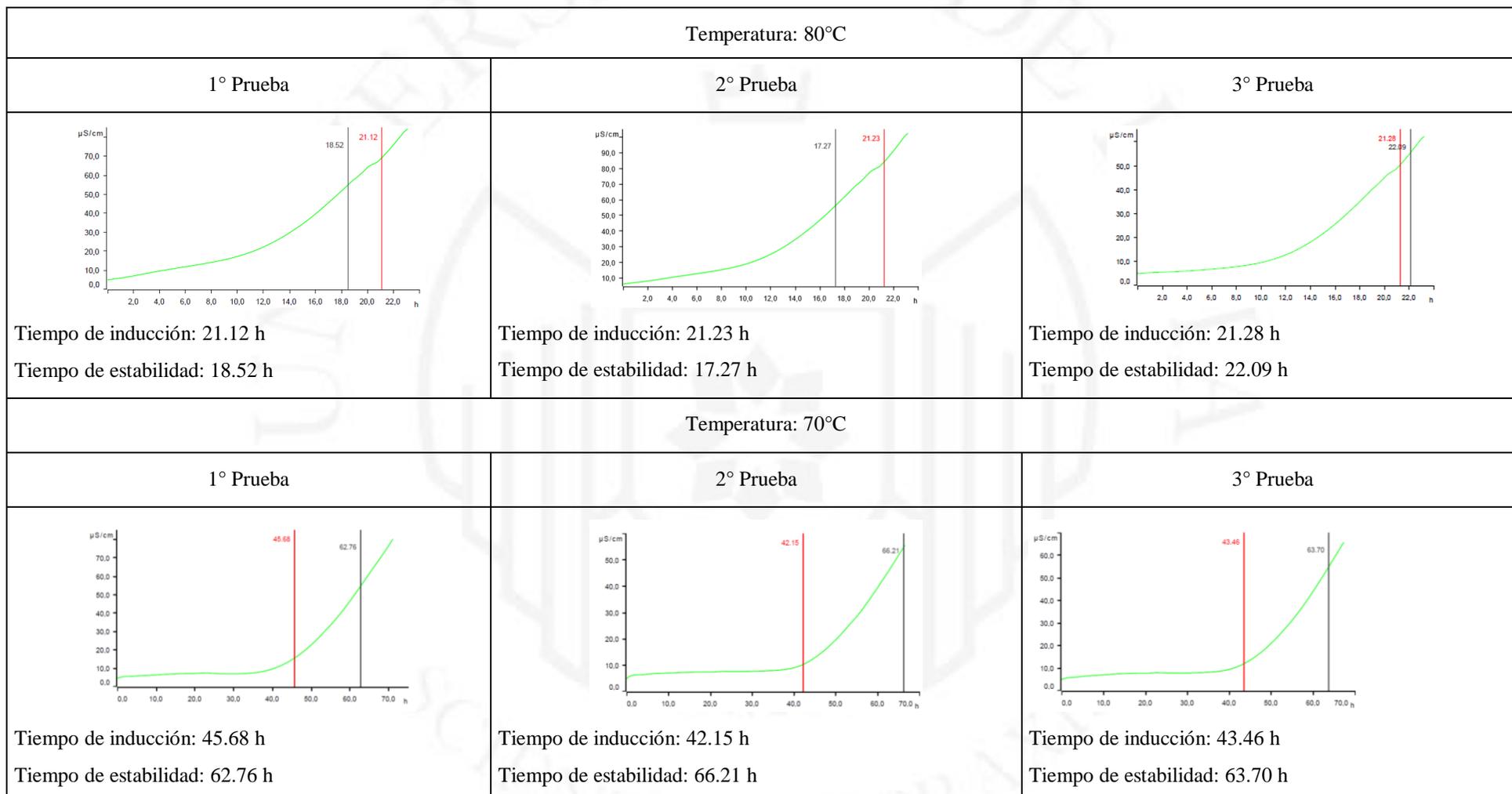
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90 °C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.10

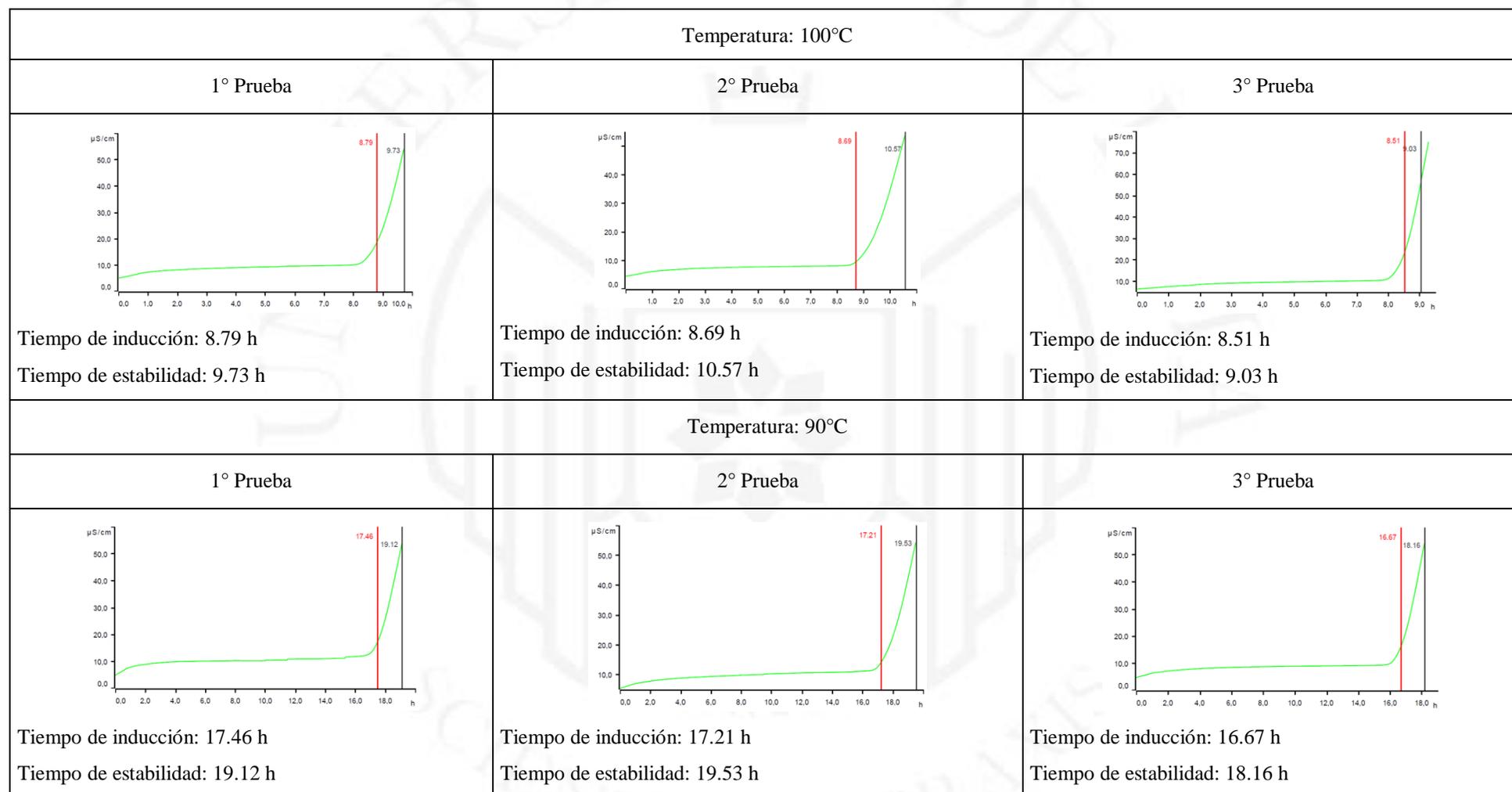
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70 °C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.11

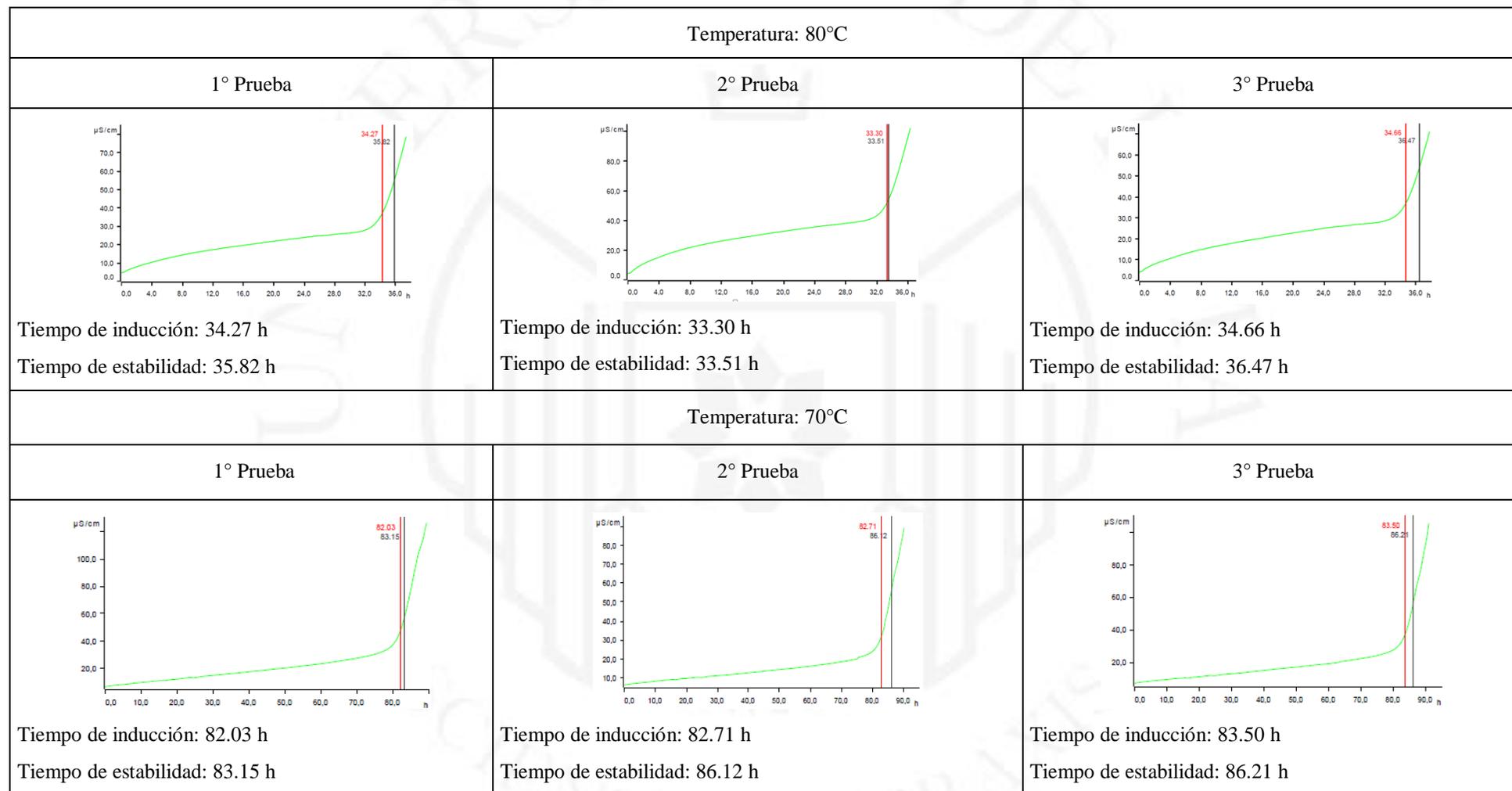
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.12

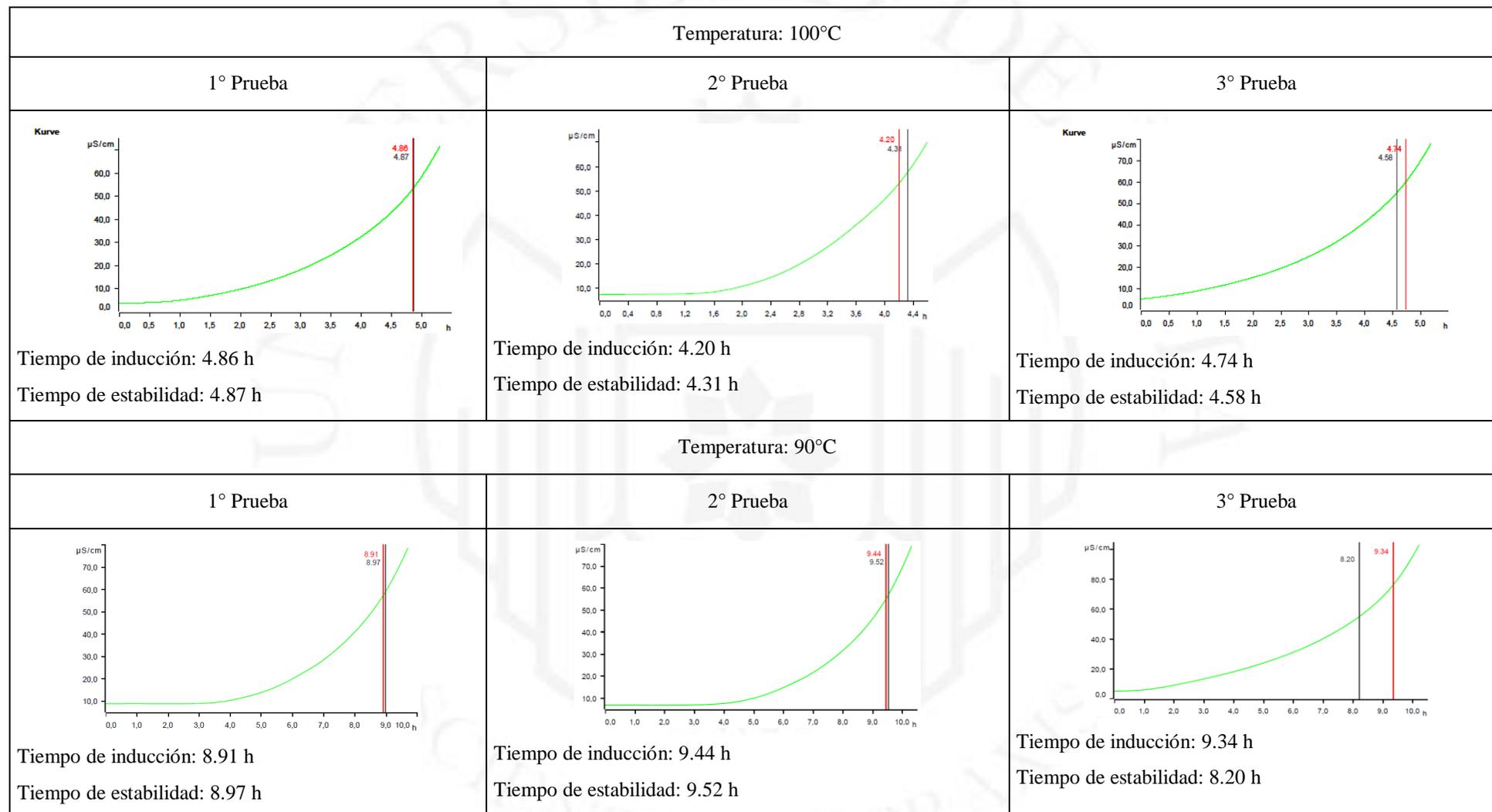
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.13

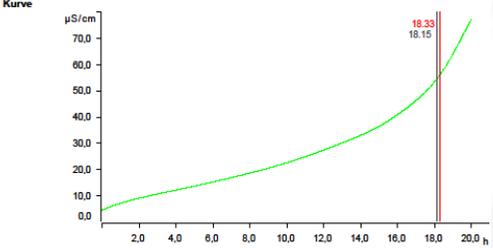
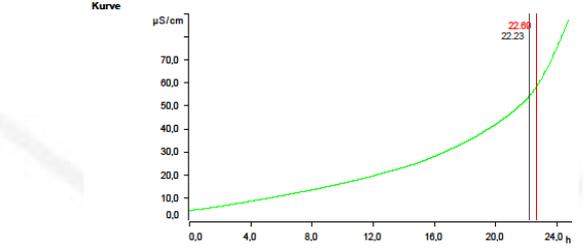
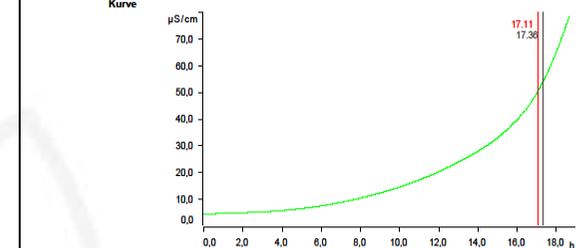
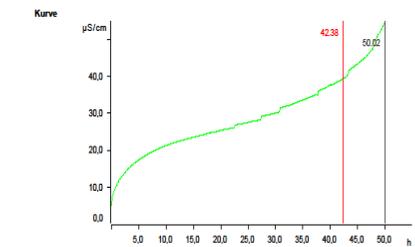
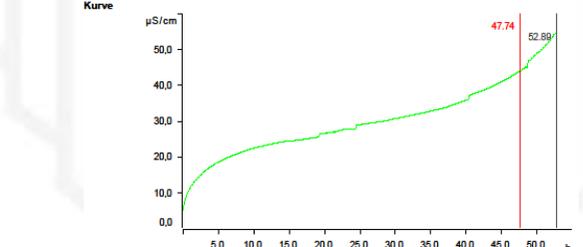
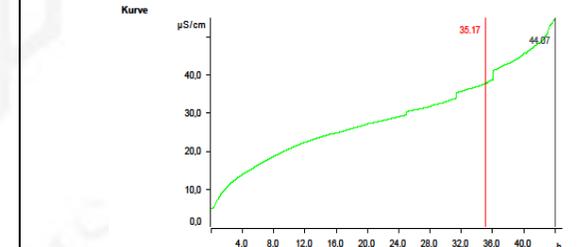
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachá inchi *P. volubilis* sin microencapsular a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.14

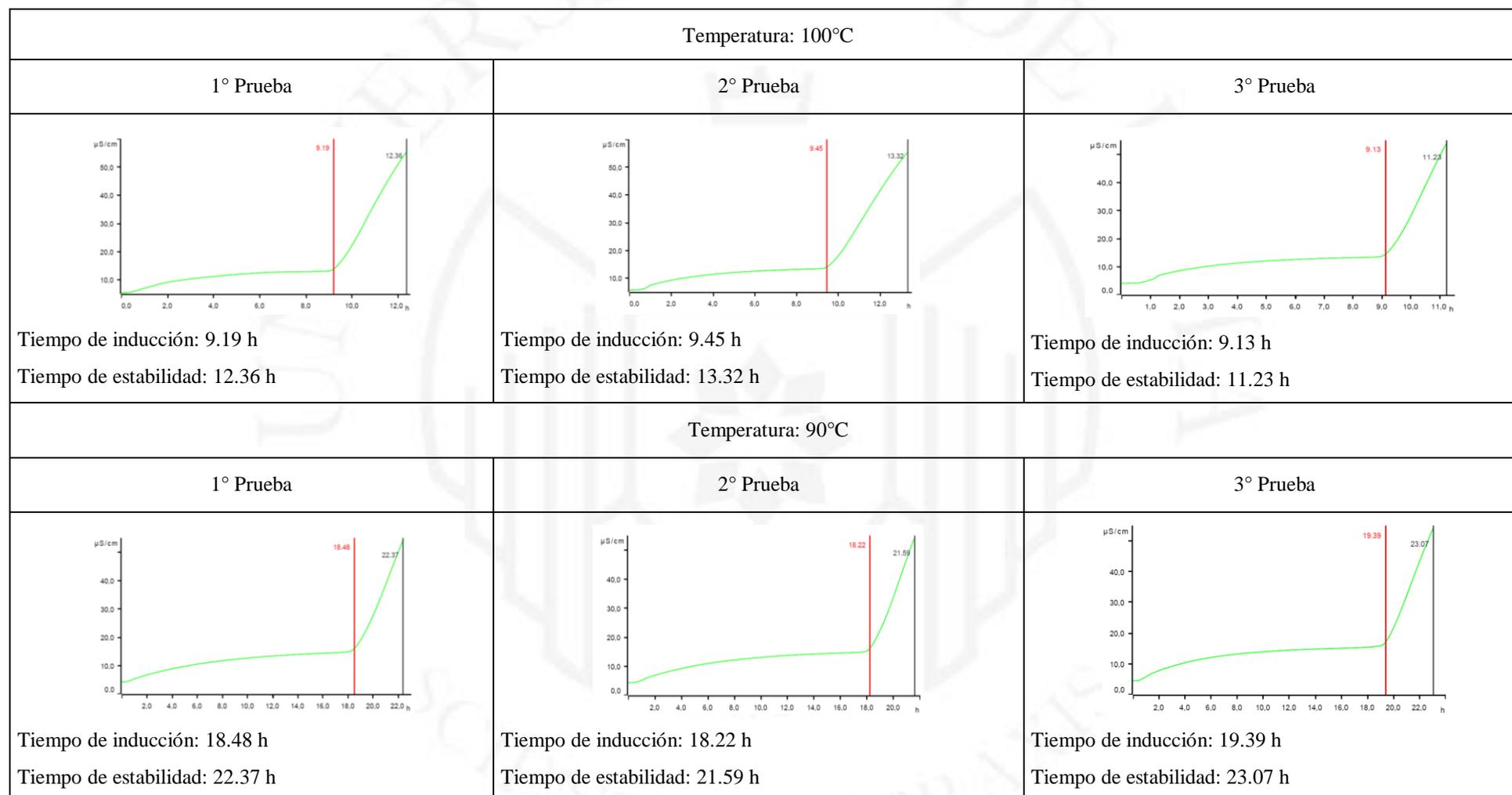
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* sin microencapsular a las temperaturas de 80°C y 70°C

Temperatura: 80°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 18.33 h Tiempo de estabilidad: 18.15 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 22.69 h Tiempo de estabilidad: 22.23 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 17.11 h Tiempo de estabilidad: 17.36 h</p>
Temperatura: 70°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 42.38 h Tiempo de estabilidad: 50.02 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 47.74 h Tiempo de estabilidad: 52.89 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 35.17 h Tiempo de estabilidad: 44.07 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.15

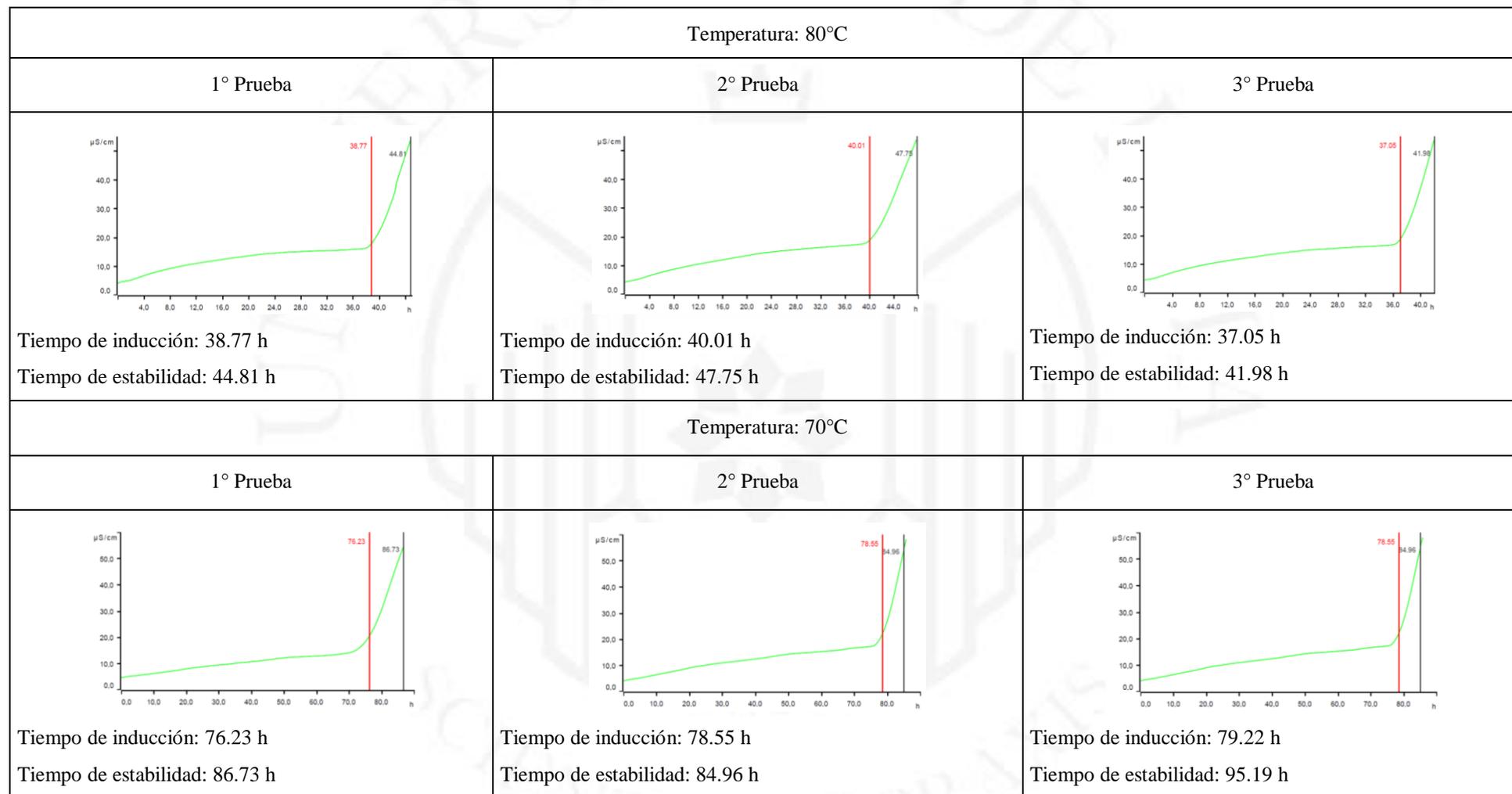
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.16

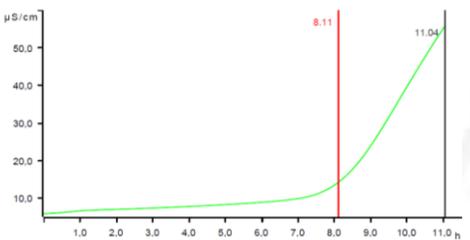
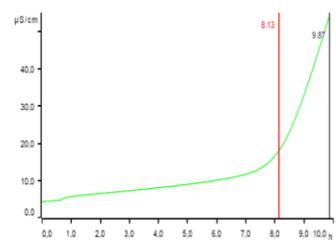
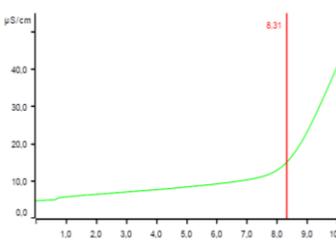
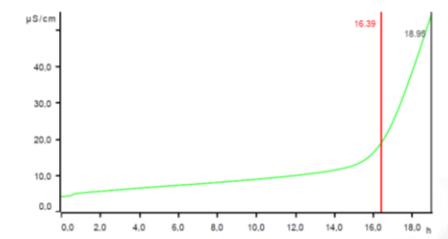
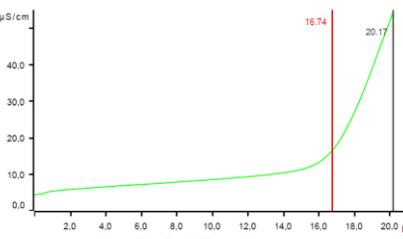
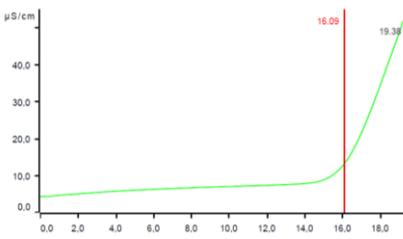
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.17

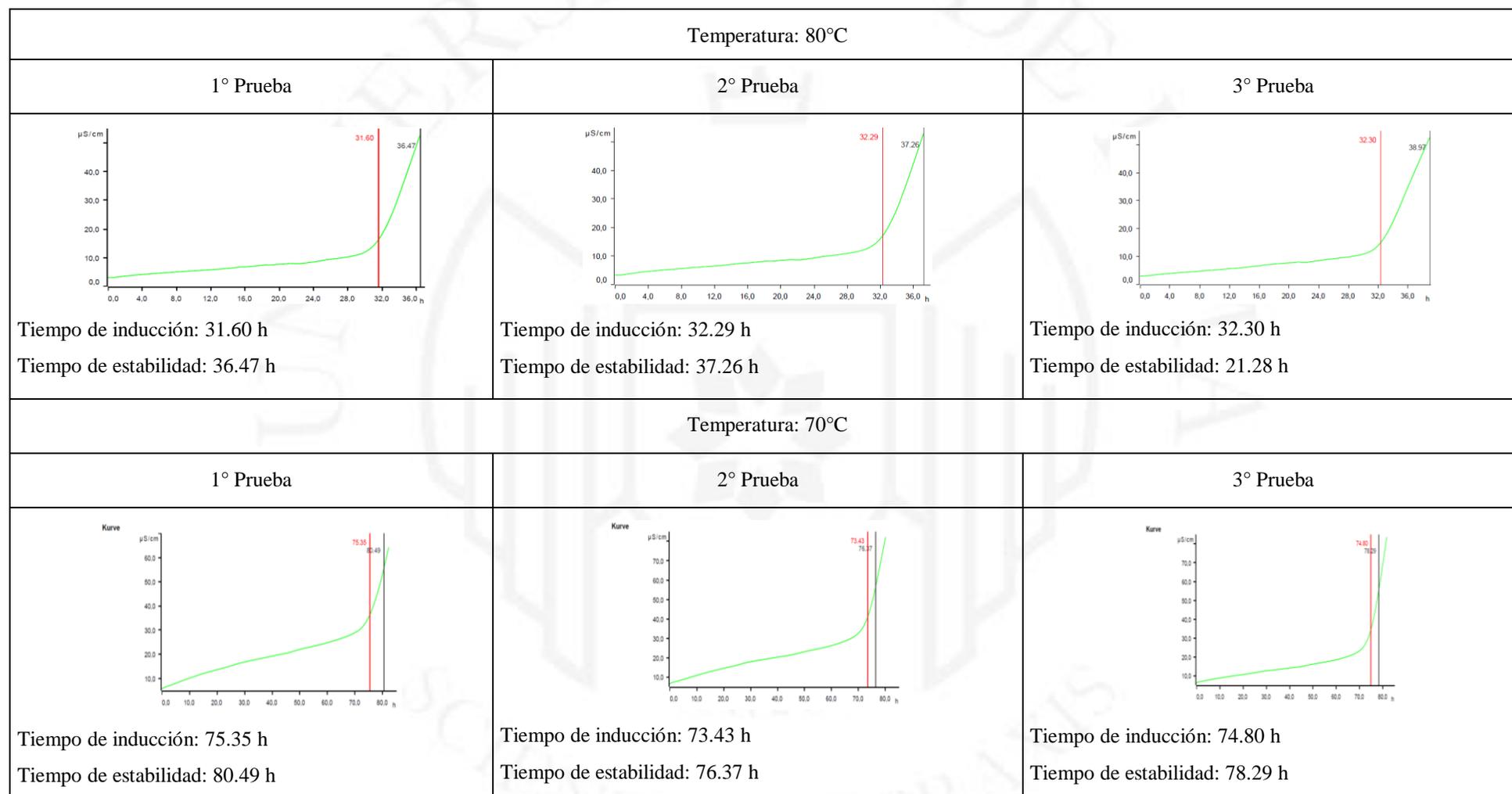
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C

Temperatura: 100°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 8.11 h Tiempo de estabilidad: 11.04 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 8.13 h Tiempo de estabilidad: 9.87 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 8.31 h Tiempo de estabilidad: 10.79 h</p>
Temperatura: 90°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 16.39 h Tiempo de estabilidad: 18.95 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 16.74 h Tiempo de estabilidad: 20.17 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 16.09 h Tiempo de estabilidad: 19.38 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.18

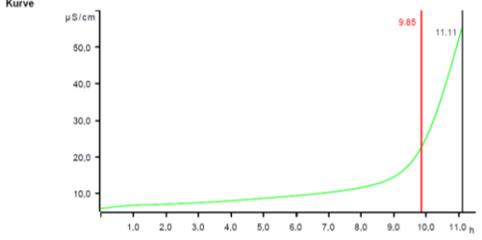
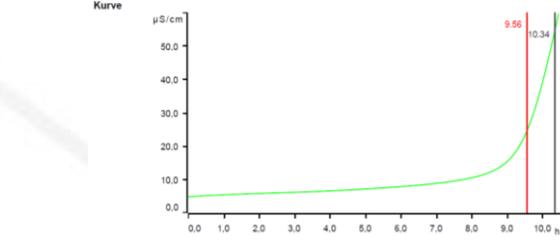
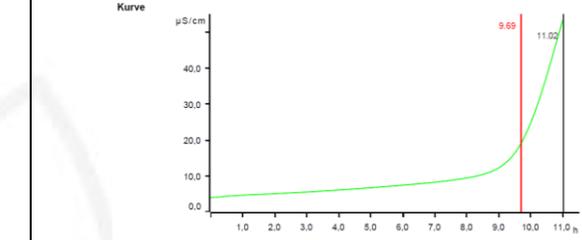
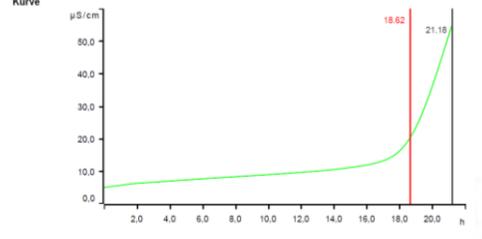
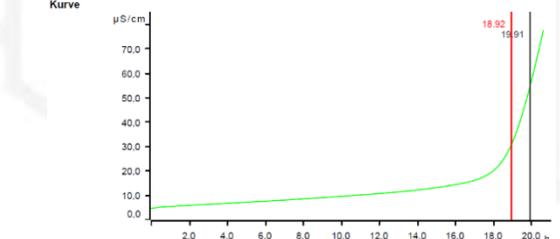
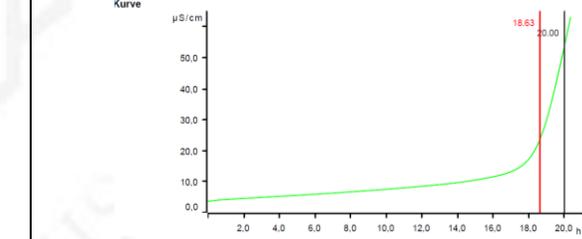
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA + MD como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.19

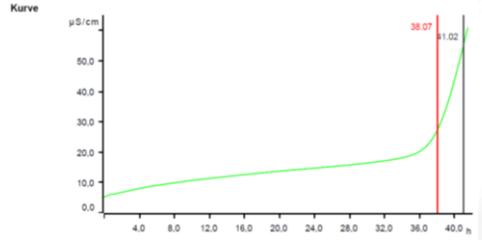
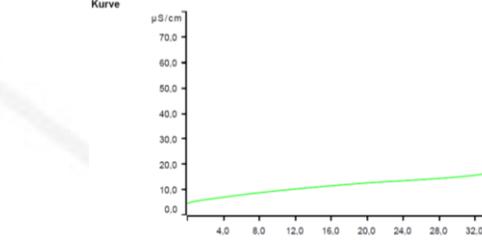
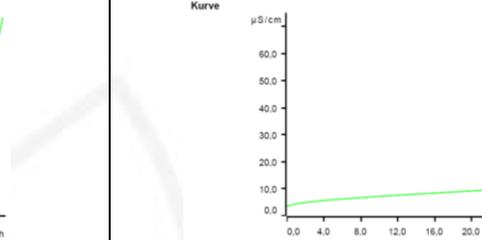
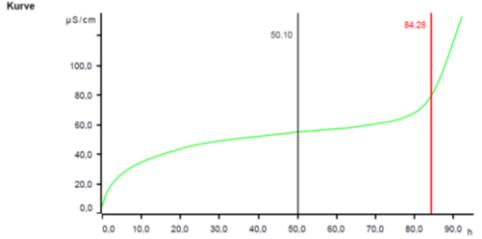
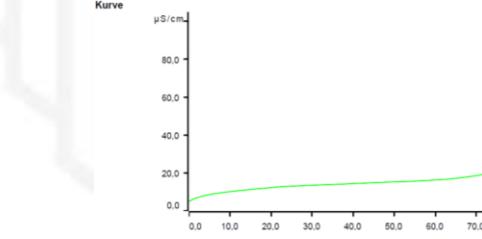
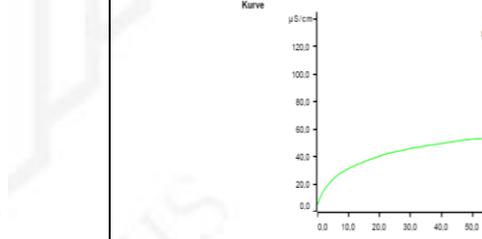
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C

Temperatura: 100°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 9.85 h Tiempo de estabilidad: 11.11 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 9.56 h Tiempo de estabilidad: 10.34 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 9.69 h Tiempo de estabilidad: 11.02 h</p>
Temperatura: 90°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 18.42 h Tiempo de estabilidad: 21.18 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 18.92 h Tiempo de estabilidad: 19.91 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 18.63 h Tiempo de estabilidad: 20.00 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.20

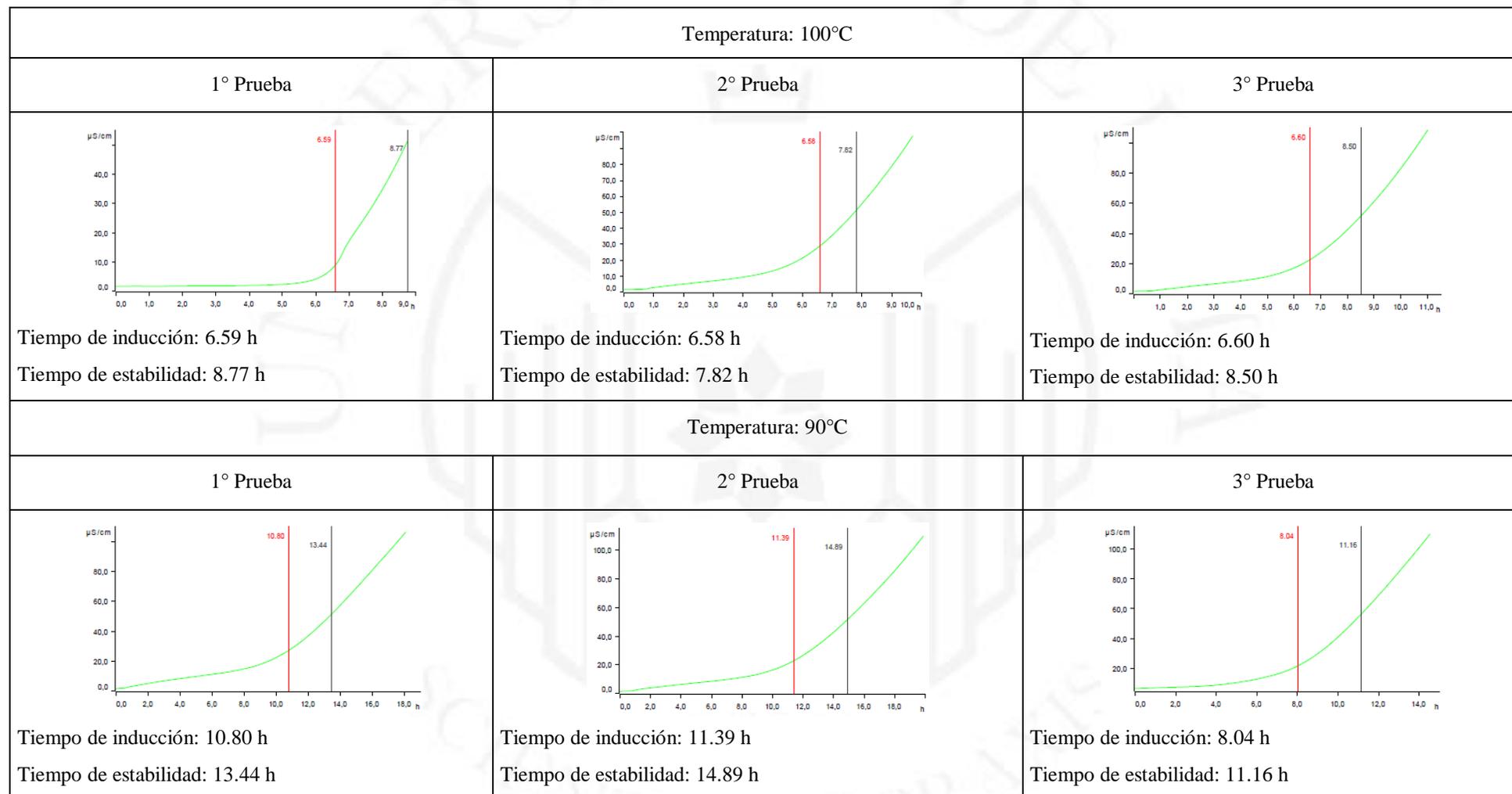
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C

Temperatura: 80°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 38.07 h Tiempo de estabilidad: 41.02 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 38.26 h Tiempo de estabilidad: 40.24 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 36.61 h Tiempo de estabilidad: 38.77 h</p>
Temperatura: 70°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 84.24 h Tiempo de estabilidad: 50.10 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 81.88 h Tiempo de estabilidad: 84.53 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 84.74 h Tiempo de estabilidad: 59.84 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.21

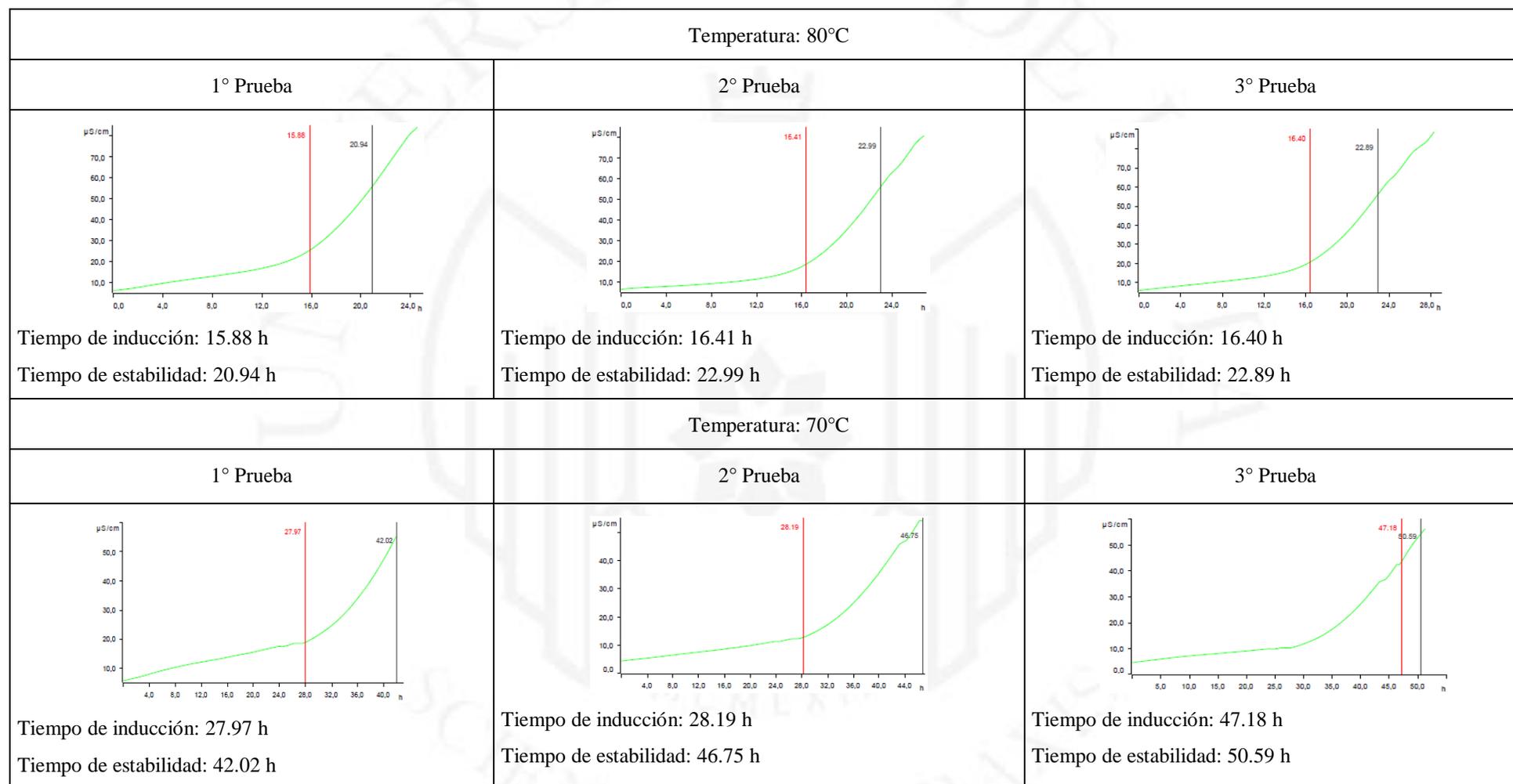
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.22

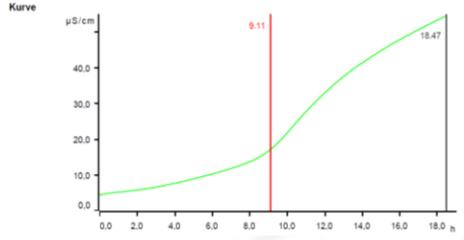
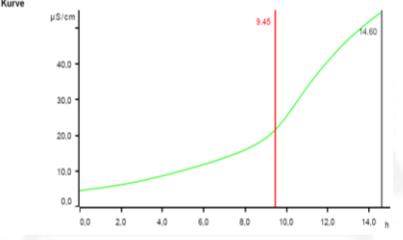
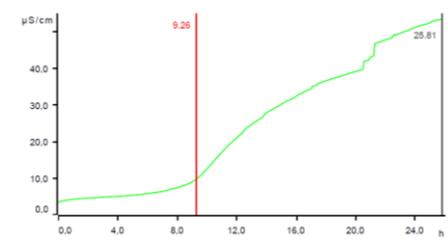
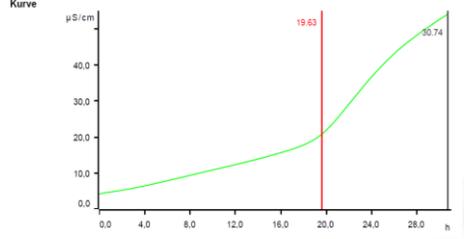
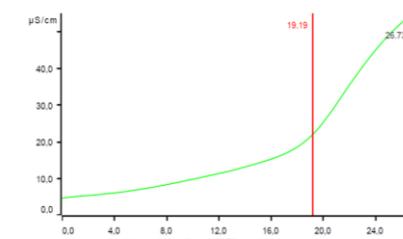
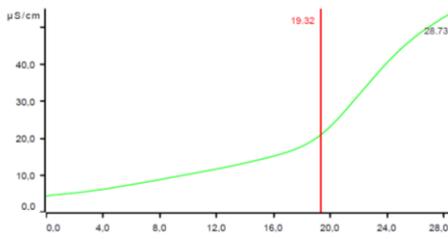
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con Capsul como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.23

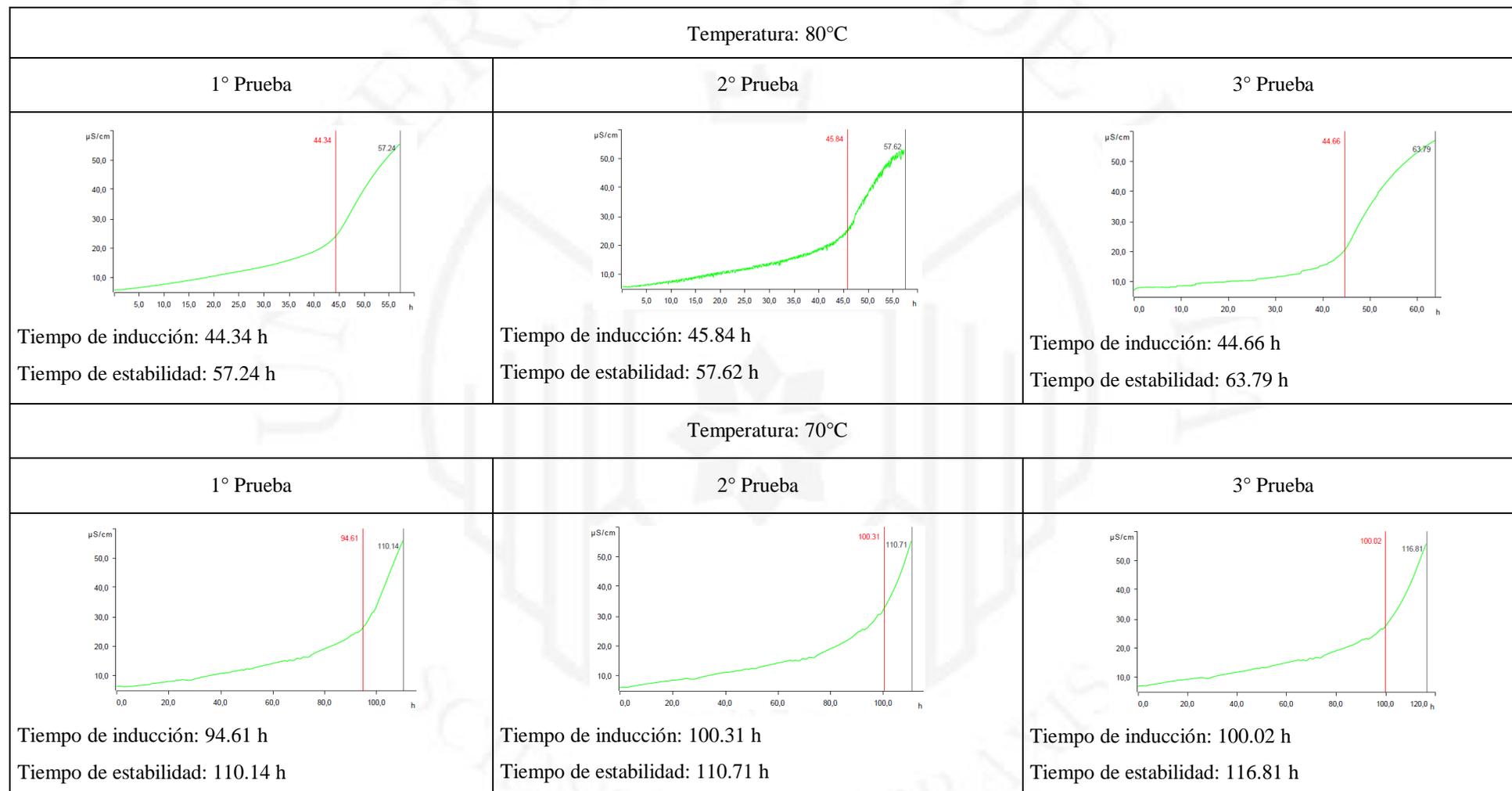
Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 100°C y 90°C

Temperatura: 100°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 9.11 h Tiempo de estabilidad: 18.47 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 9.45 h Tiempo de estabilidad: 14.60 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 9.26 h Tiempo de estabilidad: 26.81 h</p>
Temperatura: 90°C		
1° Prueba	2° Prueba	3° Prueba
 <p>Tiempo de inducción: 19.63 h Tiempo de estabilidad: 30.74 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 19.19 h Tiempo de estabilidad: 26.73 h</p>	 <p>Tiempo de inducción: 19.32 h Tiempo de estabilidad: 28.73 h</p>

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.24

Tiempo de inducción y tiempo de estabilidad del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con Hi-cap como material de pared a las temperaturas de 80°C y 70°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria del MINAGRI, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

Los índices de peróxidos se evaluaron a las microcápsulas de aceite de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) durante 120 días de almacenamiento. El primer análisis se determinó el día que se realizó el proceso de la microencapsulación, día 0 (IP (1)). El segundo análisis se realizó a los 70 días después del primer análisis (IP (2)). Por último, el tercer análisis se realizó a los 120 días después del primer análisis (IP (3)) (Tablas 4.3 y 4.4).

Tabla 4.3

Índice de peróxido (IP) del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado durante el tiempo de almacenamiento

Microcápsulas	Fecha de análisis	IP (1) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	Fecha de análisis	IP (2) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	Fecha de análisis	IP (3) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)
<b>ASIH+Hi-cap</b>	15/03/2018	0.00	24/05/2018	0.43	13/07/2018	5.50
<b>ASIH+Hi-cap</b>	15/03/2018	0.00	24/05/2018	0.45	13/07/2018	5.51
<b>ASIH+Hi-cap</b>	15/03/2018	0.00	24/05/2018	0.48	13/07/2018	5.52
<b>ASIH+GA+MD+WPI</b>	14/03/2018	2.25	23/05/2018	4.85	12/07/2018	9.10
<b>ASIH+GA+MD+WPI</b>	14/03/2018	2.26	23/05/2018	4.82	12/07/2018	9.15
<b>ASIH+GA+MD+WPI</b>	14/03/2018	2.30	23/05/2018	4.83	12/07/2018	9.10
<b>ASIH+GA</b>	20/03/2018	2.87	29/05/2018	5.83	18/07/2018	10.26
<b>ASIH+GA</b>	20/03/2018	2.88	29/05/2018	5.89	18/07/2018	10.24
<b>ASIH+GA</b>	20/03/2018	2.89	29/05/2018	5.88	18/07/2018	10.28
<b>ASIH+GA+MD</b>	06/03/2018	2.90	15/05/2018	6.45	04/07/2018	10.73
<b>ASIH+GA+MD</b>	06/03/2018	2.92	15/05/2018	6.59	04/07/2018	10.75
<b>ASIH+GA+MD</b>	06/03/2018	2.92	15/05/2018	6.54	04/07/2018	10.75
<b>ASIH+Capsul</b>	28/02/2018	5.53	09/05/2018	7.13	28/06/2018	11.19
<b>ASIH+Capsul</b>	28/02/2018	5.47	09/05/2018	7.15	28/06/2018	11.14
<b>ASIH+Capsul</b>	28/02/2018	5.36	09/05/2018	7.17	28/06/2018	11.20

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.4

Índice de peróxido (IP) del aceite de sachá inchi *P. volubilis* microencapsulado durante el tiempo de almacenamiento

Microcápsulas	Fecha de análisis	IP (1) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	Fecha de análisis	IP (2) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	Fecha de análisis	IP (3) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)
<b>ASIV+Hi-cap</b>	16/03/2018	0.00	25/05/2018	0.25	14/07/2018	4.15
<b>ASIV+Hi-cap</b>	16/03/2018	0.00	25/05/2018	0.25	14/07/2018	4.15
<b>ASIV+Hi-cap</b>	16/03/2018	0.00	25/05/2018	0.25	14/07/2018	4.15
<b>ASIV+GA+MD+WPI</b>	15/03/2018	2.15	24/05/2018	3.21	13/07/2018	7.98
<b>ASIV+GA+MD+WPI</b>	15/03/2018	2.15	24/05/2018	3.24	13/07/2018	7.95
<b>ASIV+GA+MD+WPI</b>	15/03/2018	2.17	24/05/2018	3.25	13/07/2018	8.00
<b>ASIV+GA</b>	21/03/2018	2.98	30/05/2018	4.31	19/07/2018	9.12
<b>ASIV+GA</b>	21/03/2018	2.98	30/05/2018	4.32	19/07/2018	9.14
<b>ASIV+GA</b>	21/03/2018	3.00	30/05/2018	4.25	19/07/2018	9.10
<b>ASIV+GA+MD</b>	14/03/2018	3.66	30/05/2018	5.42	12/07/2018	9.15
<b>ASIV+GA+MD</b>	14/03/2018	3.69	30/05/2018	5.45	12/07/2018	9.08
<b>ASIV+GA+MD</b>	14/03/2018	3.70	30/05/2018	5.48	12/07/2018	9.14
<b>ASIV+Capsul</b>	02/03/2018	6.15	11/05/2018	6.99	30/06/2018	11.49
<b>ASIV+Capsul</b>	02/03/2018	6.17	11/05/2018	6.84	30/06/2018	11.44
<b>ASIV+Capsul</b>	02/03/2018	6.16	11/05/2018	6.85	30/06/2018	11.50

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

## 4.2. Análisis de resultados experimentales

Los índices de acidez (IA) e índices de peróxidos (IP) de los aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* (Tabla 4.5) empleados en el presente trabajo se encuentran dentro del rango de la Norma Técnica Peruana de aceite de Sachá Inchi (NTP 151,400, 2014) que establece los valores máximo de índice de acidez de 1,0% y 2,0% ácido oleico de aceite extra virgen y aceite virgen respectivamente; y un valor máximo de índice de peróxido de 10 meq O<sub>2</sub>/ Kg de aceite.

Además, el índice de acidez del aceite de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana* reportado por Chasquibol *et al.* (2014) estuvo entre 1.6 y 1.8 % ácido oleico; en cambio, el índice de acidez del aceite de sachá inchi del ecotipo *P. volubilis* obtenido por Rodríguez (2015) fue en promedio de 0.24% ácido oleico, el aceite de sachá inchi (*P. volubilis*) utilizado fue extraído por prensado al frío y fueron procedentes de la provincia de San Martín.

Asimismo, el índice de peróxido del aceite de sachá inchi del ecotipo *P. huayllabambana* reportado por Chasquibol *et al.* (2014) estuvo entre 3.3 y 8.4 meq O<sub>2</sub>/ Kg de aceite, mientras que el índice de peróxidos del aceite de sachá inchi del ecotipo *P. volubilis* bajo atmósfera de nitrógeno obtenido por Rodríguez (2015) fue en promedio 0.8 meq O<sub>2</sub>/ Kg de aceite.

Tabla 4.5

Parámetros de calidad de los aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* sin microencapsular y rangos establecidos

	ASIH	ASIV	NTP.151.400,2014
IA (% , ácido oleico)	0.42 ± 0.00	0.24 ± 0.1	2,0%, máximo aceite virgen 1,0%, máximo aceite extra virgen
IP (meq O <sub>2</sub> ·kg <sup>-1</sup> aceite)	0.0 ± 0.0	2.65 ± 0.05	10, máximo

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018) y NTP 154,400 (2014)

Los porcentajes de humedad y porcentajes de rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sacha inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*) se muestran en las Figuras 4.25 - 4.26, Los porcentajes de humedad de los aceites de sacha inchi son menores al 10%, estos se encuentran dentro de los límites establecidos para productos en polvo (Huntington, 2007; Pastuña Pullutasig, y otros, 2016). Para ambos ecotipos (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*), el porcentaje de humedad de las microcápsulas fue en el siguiente orden: ASI + GA > ASI + GA + MD > ASI + Capsul > ASI + GA + MD + WPI > ASI + Hi-cap

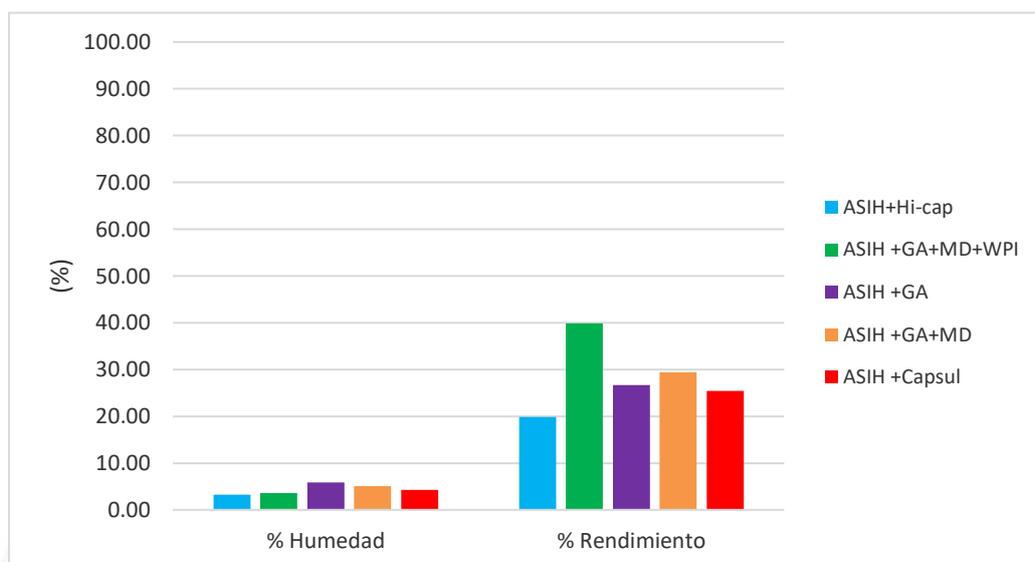
Los porcentajes de rendimiento de los microencapsulados de los aceites de sacha inchi *Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis* son menores del 40% que es el rendimiento esperado, debido a que, en el proceso de microencapsulación se empleó el equipo Mini Spray Dryer que es a nivel de laboratorio; mientras que, los porcentajes de rendimiento fueron mucho mayor (56 – 82%) para las microcápsulas de aceite de sacha inchi del ecotipo *P. volubilis* (Pastuña Pullutasig, y otros, 2016) ya que el proceso de microencapsulación fue a escala industrial.

El porcentaje de rendimiento de las microcápsulas del aceite de sacha inchi, *P. huayllabambana* fue en el siguiente orden: ASIH + Hi-cap < ASIH + Capsul < ASIH + GA < ASIH + GA + MD < ASIH + GA + MD + WPI

En cambio, el porcentaje de rendimiento para las microcápsulas del aceite de sacha inchi, *P. volubilis* fue: ASIV + GA < ASIV + Capsul < ASIV + Hi-cap < ASIV + GA + MD + WPI < ASIV + GA + MD

Figura 4.25

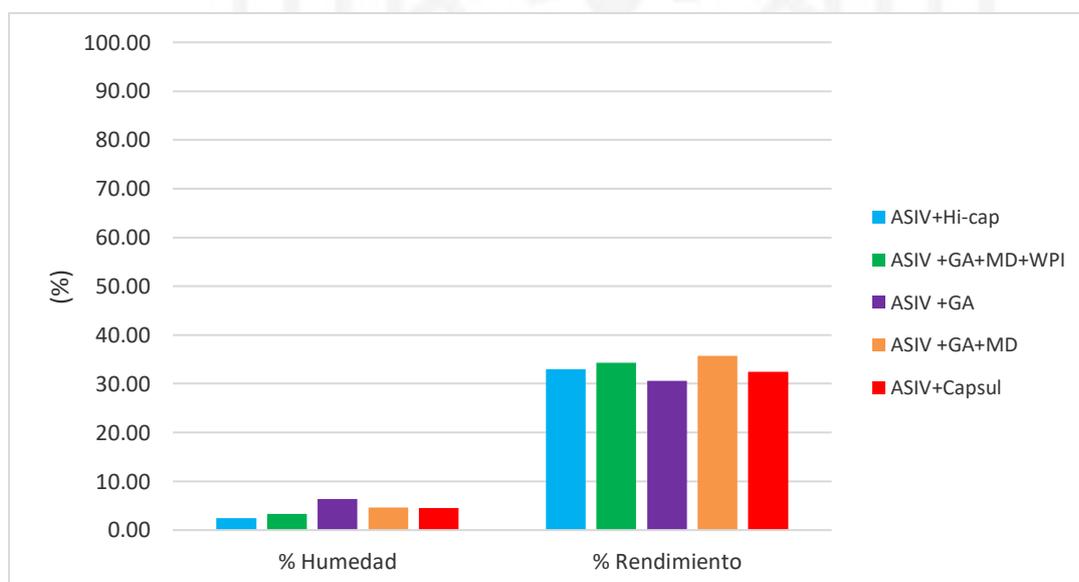
Porcentaje humedad y porcentaje rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi (*P. huayllabambana*)



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.26

Porcentaje humedad y porcentaje rendimiento de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi (*P. volubilis*)



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Los altos grados de insaturaciones presente en el aceite de sacha inchi están asociado con un menor índice de estabilidad oxidativa, la estabilidad oxidativa se define como la resistencia a la oxidación bajo condiciones establecidas y se expresa como el periodo de tiempo que corresponde al tiempo desde que la oxidación procede lentamente hasta un inesperado incremento en la reacción oxidativa que es llamado periodo de inducción (PI) (Velasco, Dobarganes, Holgado, & Marquez Ruiz, 2009).

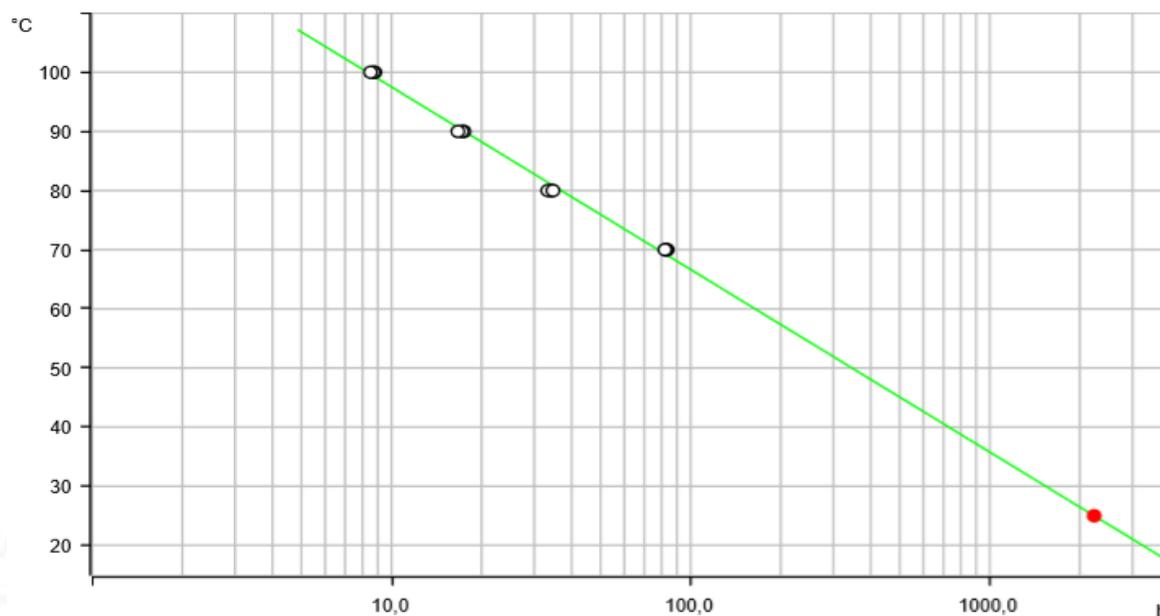
En las figuras (Figuras 4.1 - 4.24) se observa que los tiempos de inducción o periodos de inducción (PI) y los tiempos de estabilidad a las temperaturas de 100, 90, 80 y 70°C para ambos ecotipos de aceites de sacha inchi sin microencapsular y microencapsulados se incrementaron a medida que la temperatura disminuía en el siguiente orden:  $PI(100^{\circ}C) < PI(90^{\circ}C) < PI(80^{\circ}C) < PI(70^{\circ}C)$

En las Figuras 4.27 - 4.38, obtenidas por el software StabNet del equipo Rancimat, se muestran los diagramas (temperatura vs tiempo) de la extrapolación del tiempo de la vida útil a 25°C (punto rojo en la recta verde) basados en los periodos de inducción (puntos blancos en la recta verde) de las Figuras 4.1 - 4.24.

En las Tablas 4.6 - 4.17, se muestran el resumen de los promedios y desviaciones estándar del período de inducción (PI), tiempo de estabilidad y el tiempo de vida útil extrapolada a 25°C de los aceites de sacha inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* sin microencapsular y microencapsulado a las temperaturas de 70, 80, 90 y 100°C.

Figura 4.27

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.6

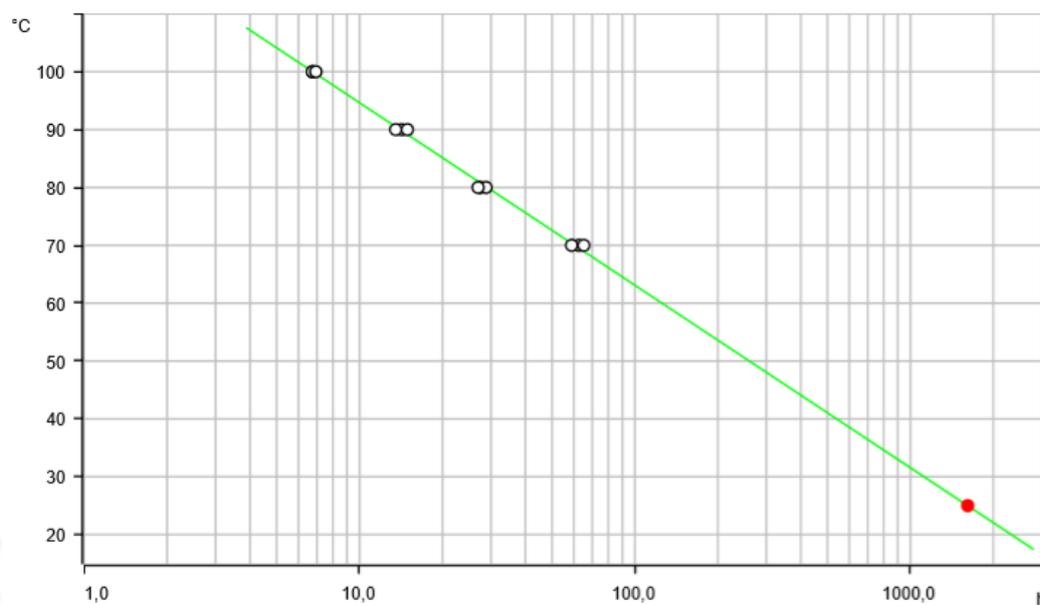
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sacha inchi <i>P. huayllabambana</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	08/02/2018	06/09/2017	04/09/2017	04/09/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	2.00 ± 0.02	2.02 ± 0.01	2.10 ± 0.18	2.33 ± 0.13
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	82.75 ± 0.74	34.08 ± 0.70	17.11 ± 0.40	8.66 ± 0.14
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	85.16 ± 1.74	35.27 ± 1.56	18.94 ± 0.70	9.78 ± 0.77
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	2,232 h = 0.25 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.28

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA+MD+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.7

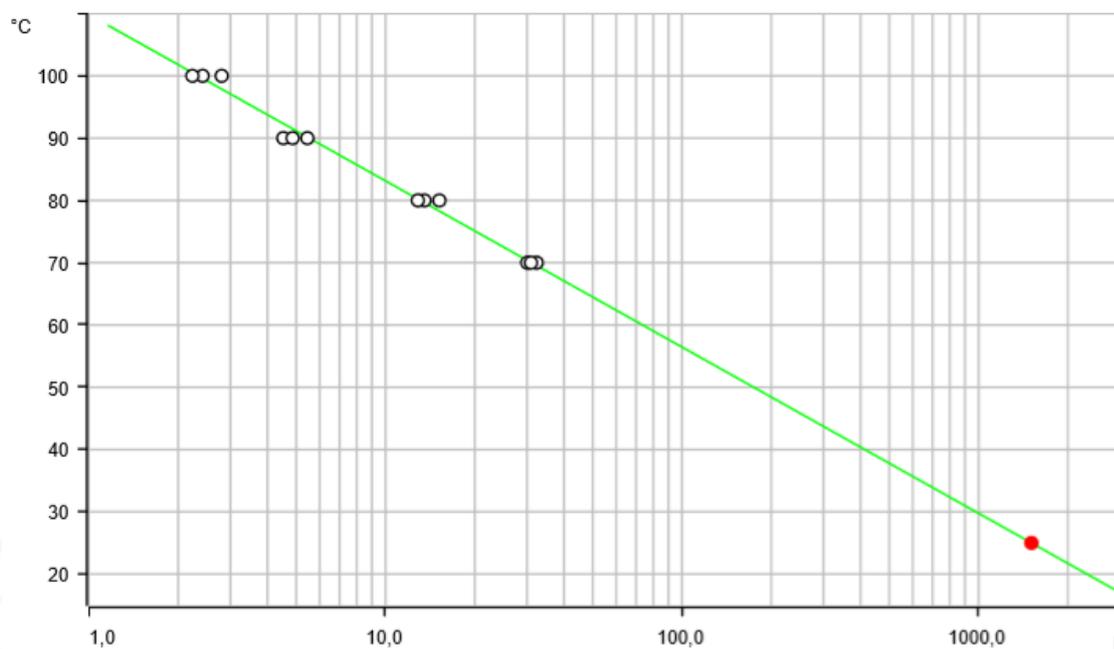
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA+MD+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sacha inchi <i>P. huayllabambana</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	23/08/2017	24/08/2017	23/08/2017	22/08/2017
<b>Peso de muestra (g)</b>	2.02 ± 0.02	2.03 ± 0.03	2.014 ± 0.018	2.01 ± 0.002
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	62.14 ± 3.23	27.72 ± 0.96	14.22 ± 0.70	6.81 ± 0.12
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	70.95 ± 4.33	32.45 ± 0.79	18.39 ± 1.13	9.48 ± 0.63
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1,614 h = 0.18 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.29

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.8

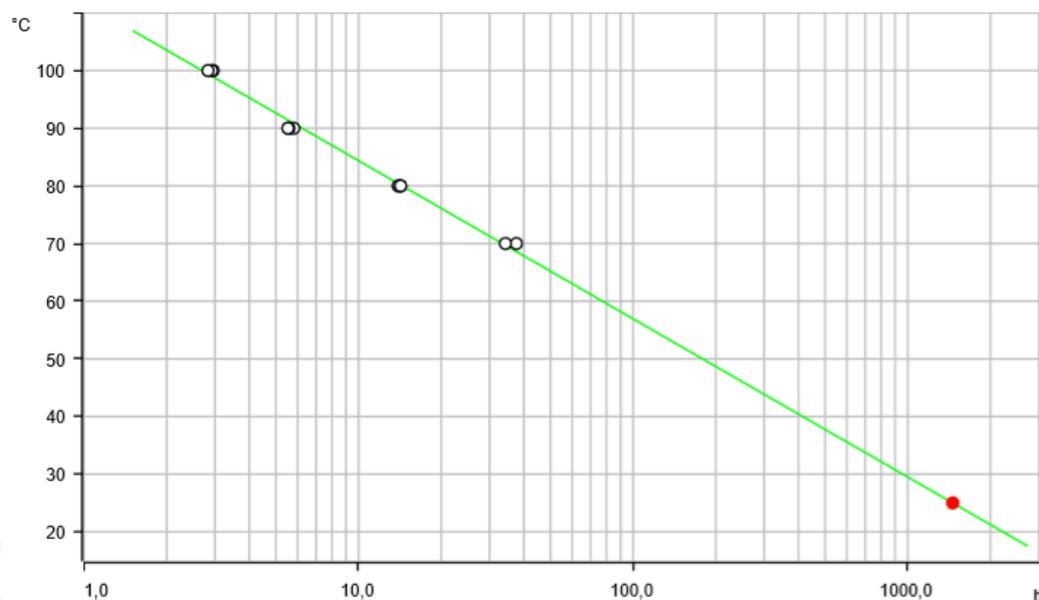
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sacha inchi <i>P. huayllabambana</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	31/08/2017	31/08/2017	28/08/2017	28/08/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	2.00 ± 0.02	2.02 ± 0.01	2.10 ± 0.18	2.33 ± 0.13
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	31.10 ± 1.09	13.86 ± 1.20	4.94 ± 0.47	2.48 ± 0.29
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	56.48 ± 4.99	28.91 ± 4.34	12.42 ± 0.36	7.80 ± 2.16
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1,507 h = 0.17 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.30

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.9

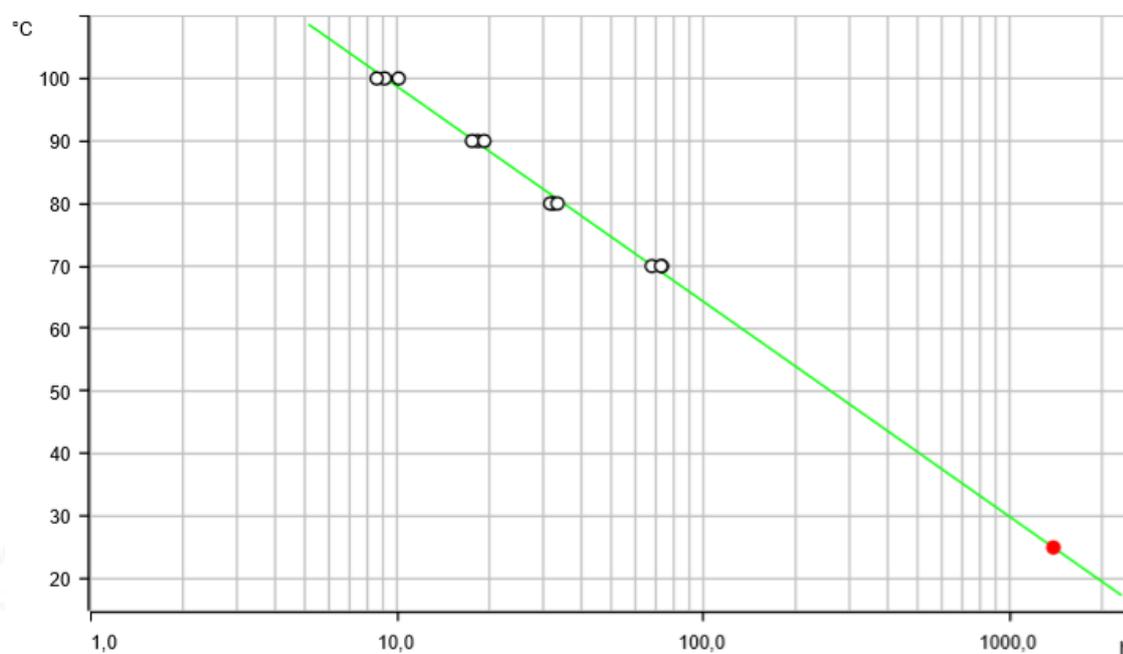
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	23/11/2017	23/03/2018	17/07/2017	18/07/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	3 ± 0.01	3 ± 0.01	3 ± 0.01	3 ± 0.01
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	33.26 ± 4.85	14.13 ± 0.16	5.64 ± 0.15	2.90 ± 0.06
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	34.11 ± 4.64	15.33 ± 0.80	6.39 ± 0.07	3.38 ± 0.06
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1,457 h = 0.16 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.31

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* sin microencapsular en el Rancimat a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.10

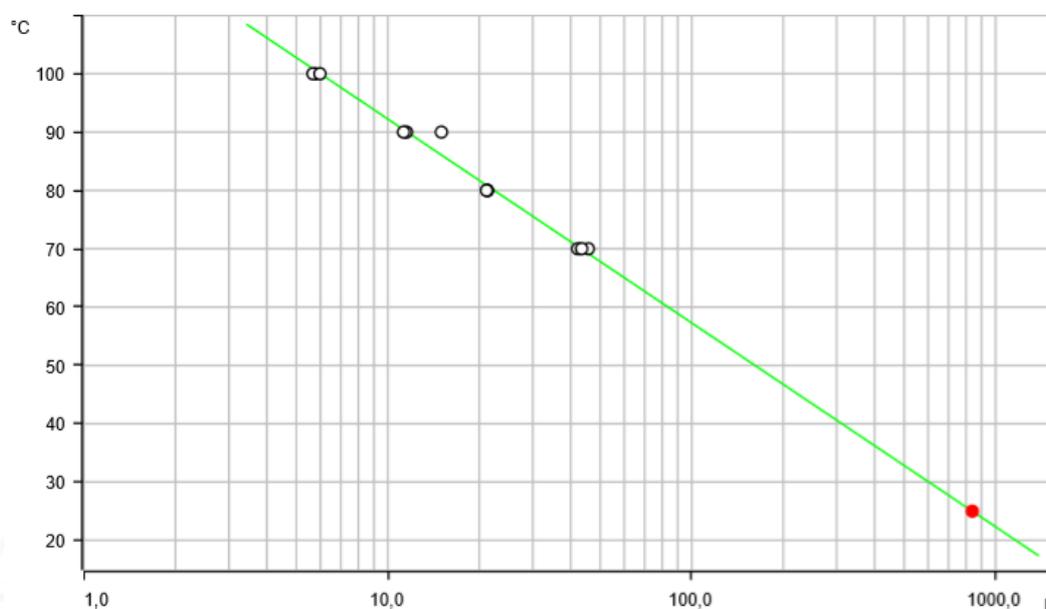
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P. huayllabambana* sin microencapsular en el Rancimat a 25°C

Aceite de sachá inchi <i>P. huayllabambana</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	09/03/2018	09/03/2018	14/08/2017	14/08/2017
<b>Peso de muestra (g)</b>	2.01 ± 0.021	2.00 ± 0.008	2.03 ± 0.06	2.50 ± 0.02
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	71.31 ± 3.01	32.46 ± 0.90	18.40 ± 0.85	9.28 ± 0.78
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	78.13 ± 2.18	36.99 ± 2.37	45.54 ± 16.59	25.84 ± 3.55
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1,388 h = 0.15 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.32

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.11

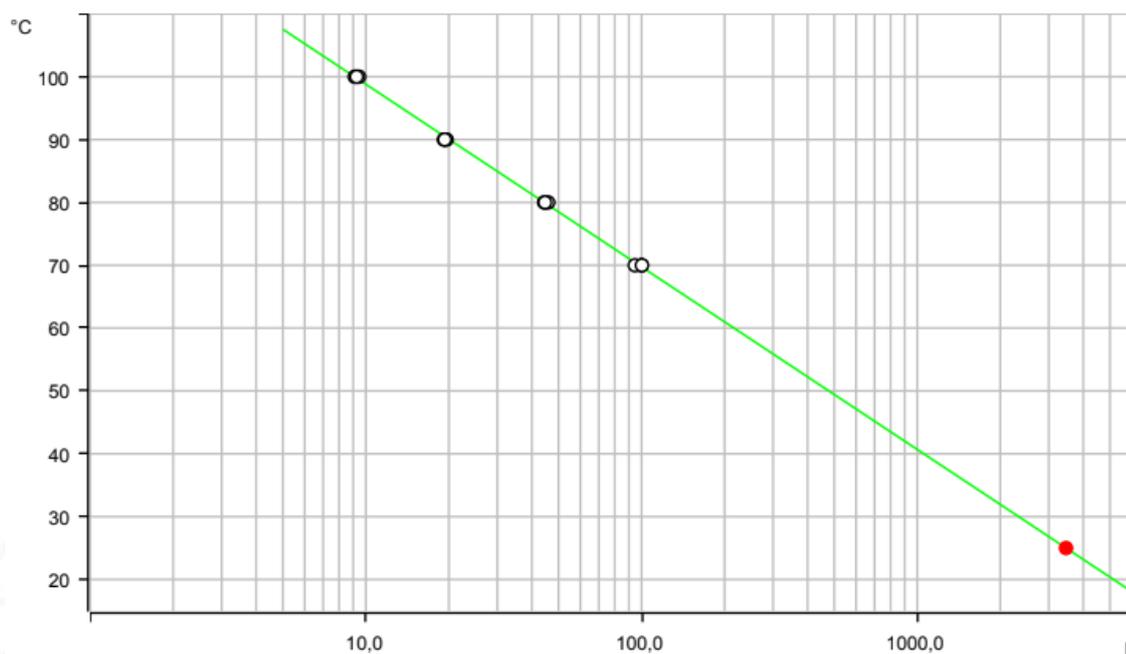
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sacha *inchi P. huayllabambana* microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sacha inchi <i>P. huayllabambana</i> microencapsulado	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	11/08/2017	05/03/2018	28/02/2018	10/08/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	2.5007 ± 0.01	2.10±0.07	2.488 ± 0.02	2.4999 ± 0.02
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	43.76 ± 1.78	21.21 ± 0.08	12.60 ± 2.09	5.81 ± 0.16
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	64.22 ± 1.78	19.29 ± 2.50	13.58 ± 2.87	8.92 ± 0.43
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	838.3 h = 0.09 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.33

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.12

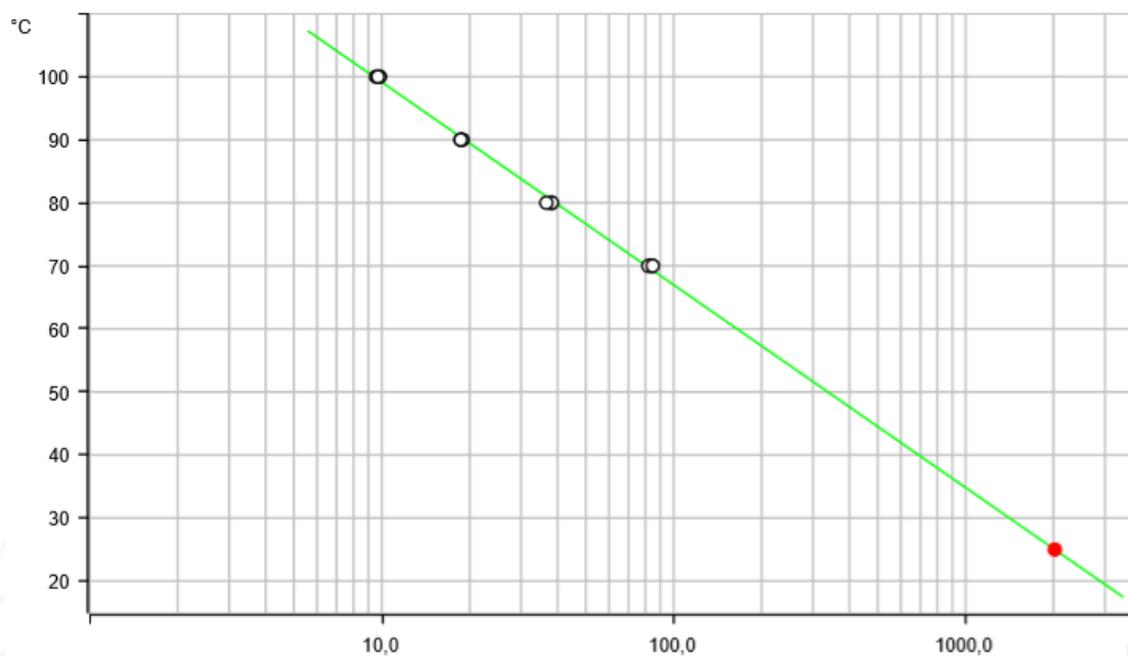
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con Hi-cap como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sachu inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	26/02/2018	23/02/2018	21/09/2017	21/09/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	1.996	1.95 ± 0.07	1.99 ± 0.07	1.92 ± 0.06
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	95.32 ± 2.48	40.31 ± 1.27	18.36 ± 0.36	8.89 ± 0.29
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	99.57 ± 3.35	42.98 ± 1.86	19.44 ± 0.29	10.09 ± 0.54
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	3,464 h, 0.39 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.34

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.13

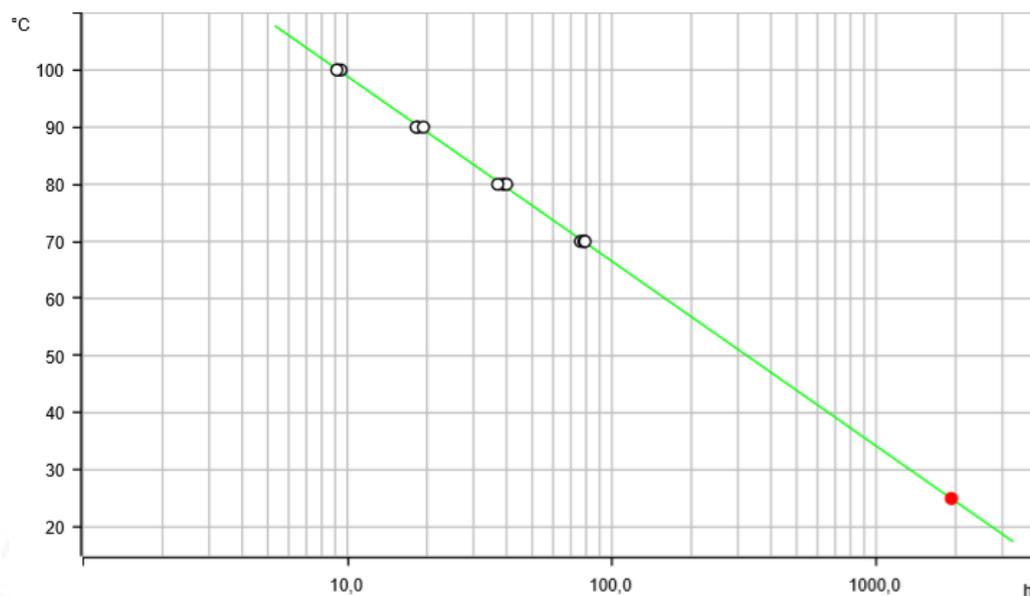
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con MD+GA+WPI como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sachu inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	30/10/2017	27/10/2017	25/10/2017	24/10/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	2.10 ± 0.08	2.099 ± 0.13	1.93 ± 0.04	1.98 ± 0.14
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	84.62 ± 2.95	37.65 ± 0.90	18.66 ± 0.25	9.70 ± 0.15
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	64.82 ± 17.75	40.01 ± 1.14	20.36 ± 0.71	10.82 ± 0.42
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	2,019 h, 0.23 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.35

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.14

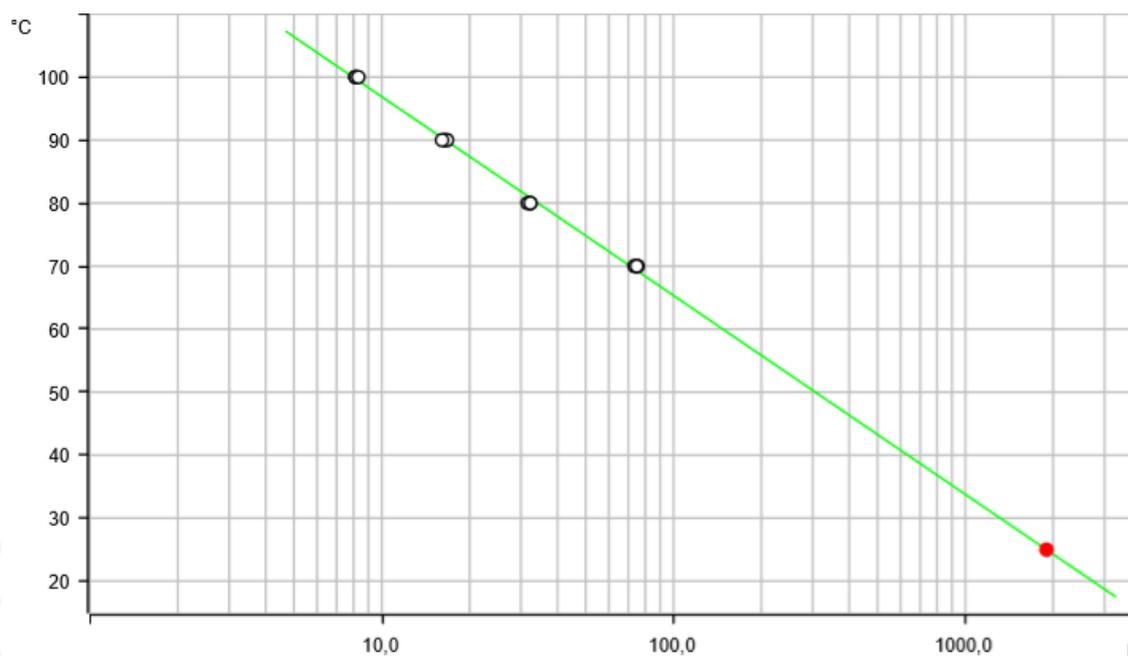
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sachu inchi <i>P. volubilis</i> microencapsulado con GA	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	18/10/2017	17/10/2017	16/10/2017	16/10/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	1.92 ± 0.04	2.01 ± 0.014	1.99 ± 0.05	2.01 ± 0.002
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	78.00 ± 1.57	38.61 ± 1.49	18.70 ± 0.61	9.26 ± 0.17
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	88.96 ± 5.47	44.85 ± 2.89	22.34 ± 0.74	12.30 ± 1.05
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1918 h, 0.21 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.36

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.15

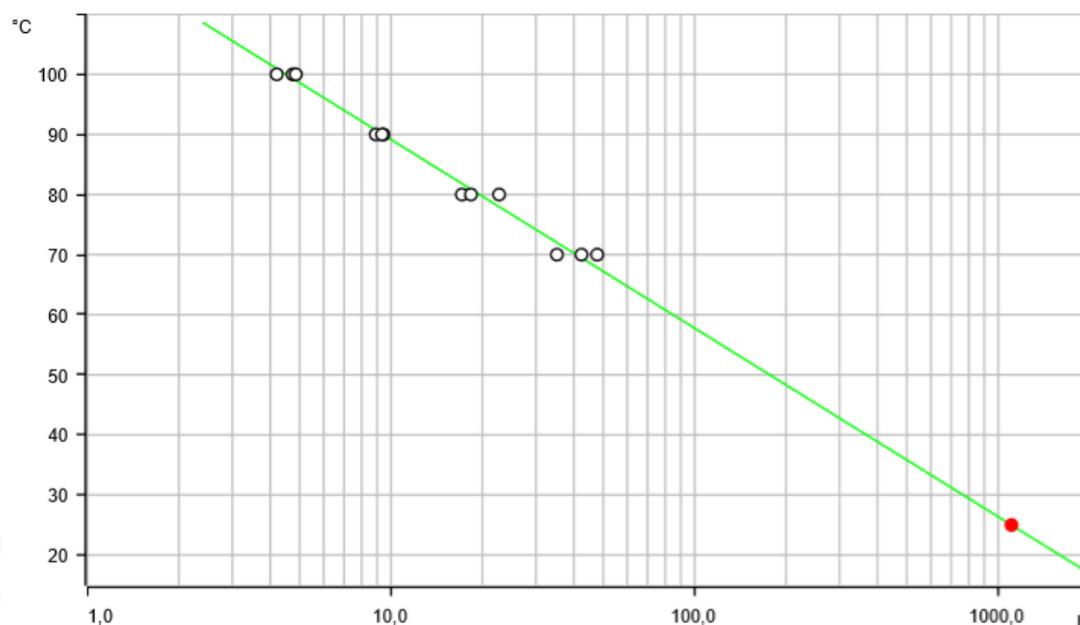
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachu inchi *P. volubilis* microencapsulado con GA+MD como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sachu inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	09/01/2018	16/04/2018	23/10/2017	23/10/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	1.94 ± 0.08	1.97 ± 0.05	1.94 ± 0.014	2.062 ± 0.14
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	74.53 ± 0.99	32.06 ± 0.40	16.41 ± 0.33	8.18 ± 0.11
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	78.38 ± 2.06	31.67 ± 9.01	19.50 ± 0.62	10.57 ± 0.62
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1,895 h, 0.21 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.37

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P.volubilis* sin microencapsular en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.16

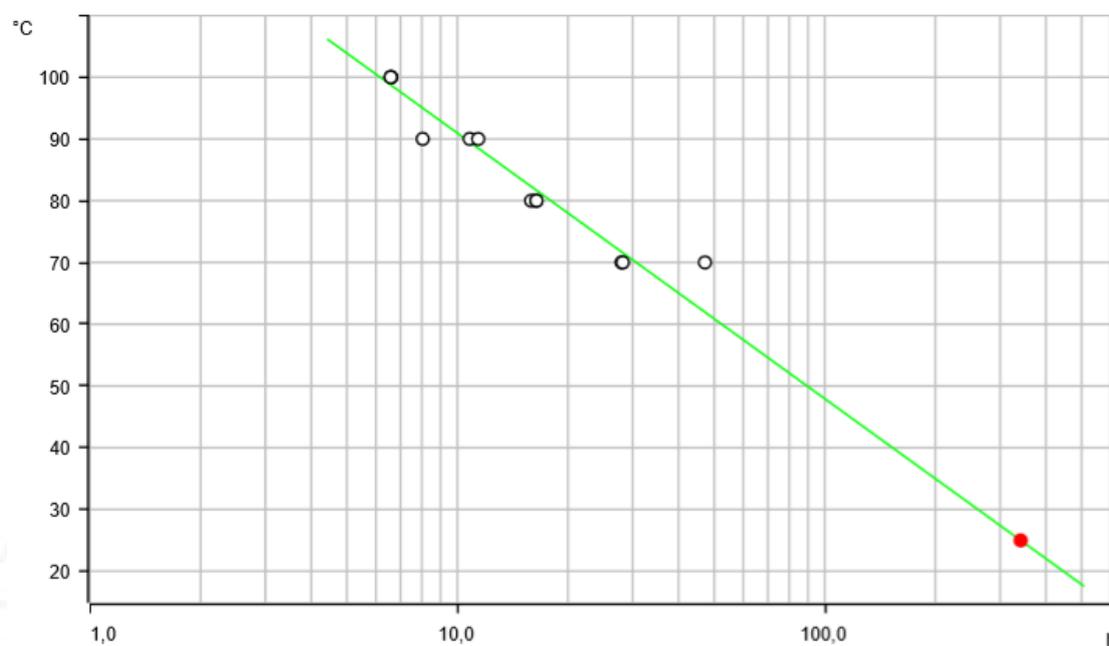
Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P.volubilis* sin microencapsular en el StabNet a 25°C

Aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	21/06/2017	20/06/2017	14/06/2017	20/06/2017
<b>Peso del Aceite (g)</b>	3.02 ± 0.005	3.019 ± 0.011	3.02 ± 0.002	3.02 ± 0.007
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	41.76 ± 6.31	19.38 ± 2.93	9.23 ± 0.28	4.60 ± 0.35
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	48.99 ± 4.50	19.25 ± 2.61	8.90 ± 0.66	4.59 ± 0.28
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	1,105 h, 0.12 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.38

Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi *P. volubilis* microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.17

Tiempo de inducción, tiempo de estabilidad y tiempo de vida útil del aceite de sacha inchi, *P. volubilis* microencapsulado con Capsul como material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sacha inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
<b>Fecha de Análisis</b>	13/03/2018	13/03/2018	19/03/2018	27/08/2018
<b>Peso del Aceite (g)</b>	2.01 ± 0.01	2.01 ± 0.01	2.027 ± 0.03	1.992 ± 0.01
<b>Tiempo de Inducción (h)</b>	34.45 ± 11.03	16.23 ± 0.30	10.08 ± 1.79	6.59 ± 0.01
<b>Tiempo de Estabilidad (h)</b>	46.45 ± 4.29	22.27 ± 1.16	13.16 ± 1.88	8.36 ± 0.49
<b>Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C</b>	341.2 h 0.03 años			

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

El tiempo de vida útil extrapolada a 25°C de los aceites de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) sin microencapsular y microencapsulados, al igual que los periodos de inducción (PI), se encuentran en una línea de tendencia exponencial (recta verde) debido a que la velocidad de oxidación es exponencialmente proporcional a la temperatura y la vida útil del lípido disminuye logarítmicamente con el aumento de la temperatura (Frankel, 1998); además, el elevado nivel de ácidos grasos poliinsaturados en los aceites de sachá inchi es determinante para su estabilidad oxidativa.

En la Tabla 4.18, se muestra el resumen general de los tiempos de inducción a las temperaturas de 100, 90, 80 y 70°C y los tiempos de vida útil extrapolada a 25°C para los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulado.

Tabla 4.18

Tiempo de inducción y tiempo de vida útil extrapolada a 25°C de los aceites de sachá inchi sin microencapsular y microencapsulado

Aceites	Material de pared	Tiempo de inducción (h)				Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C
		70°C	80°C	90°C	100°C	
HISI	Hi-cap	82.75 ± 0.74	34.08 ± 0.70	17.11 ± 0.40	8.66 ± 0.14	2,232 h = 0.25 años
	GA+MD+WPI	62.14 ± 3.23	27.72 ± 0.96	14.22 ± 0.70	6.81 ± 0.12	1,614 h = 0.18 años
	GA	31.10 ± 1.09	13.86 ± 1.20	4.94 ± 0.47	2.48 ± 0.29	1,507 h = 0.17 años
	GA+MD	33.26 ± 4.85	14.13 ± 0.16	5.64 ± 0.15	2.90 ± 0.06	1,457 h = 0.16 años
	ASIH	71.31 ± 3.01	32.46 ± 0.90	18.40 ± 0.85	9.28 ± 0.78	1,388 h = 0.15 años
	Capsul	43.76 ± 1.78	21.21 ± 0.08	12.60 ± 2.09	5.81 ± 0.16	838.3 h = 0.09 años
ASIV	Hi-cap	95.32 ± 2.48	40.31 ± 1.27	18.36 ± 0.36	8.89 ± 0.29	3,464 h, 0.39 años
	GA+MD+WPI	84.62 ± 2.95	37.65 ± 0.90	18.66 ± 0.25	9.70 ± 0.15	2,019 h, 0.23 años
	GA	78.00 ± 1.57	38.61 ± 1.49	18.70 ± 0.61	9.26 ± 0.17	1,918 h, 0.21 años
	GA+MD	74.53 ± 0.99	32.06 ± 0.40	16.41 ± 0.33	8.18 ± 0.11	1,895 h, 0.21 años
	ASIV	41.76 ± 6.31	19.38 ± 2.93	9.23 ± 0.28	4.60 ± 0.35	1,105 h, 0.12 años
	Capsul	34.45 ± 11.03	16.23 ± 0.30	10.08 ± 1.79	6.59 ± 0.01	341.2 h 0.03 años

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el IDIC de la Universidad de Lima (2018)

De los resultados de la Tabla 4.18, podemos concluir que los tiempos de inducción o periodos de inducción (PI) y los tiempos de estabilidad tienden a duplicarse por cada 10°C de aumento en la temperatura debido a la elevada insaturación de los aceites de sachá inchi como han sido comprobados en otros trabajos de investigación (Villanueva López, Castillo Benites, & Rodríguez Páucar, 2013; Rodríguez, Villanueva, Glorio, & Baquerizo, 2015).

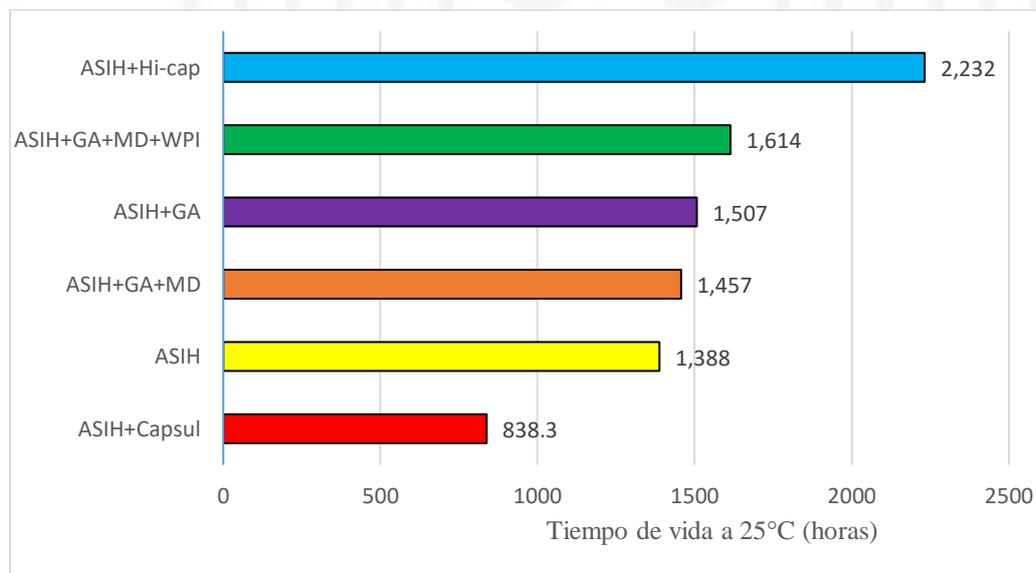
El periodo de inducción (PI) indica la iniciación de la formación de hidroperóxidos que contienen dobles enlaces *trans* conjugados y el tiempo de estabilidad de los aceites de sacha inchi, indica la formación de compuestos orgánicos aromáticos de cadena corta (como aldehídos, cetonas, alcoholes, y ácidos grasos de cadena corta) que son perjudiciales para la salud (Sherwin, 1978).

De la Tabla 4.18, podemos concluir que el mayor incremento de vida útil a 25°C respecto al aceite de sacha inchi sin microencapsular fue para las microcápsulas ASIH+Hi-cap (60.81%), seguido de las microcápsulas ASIH+GA+MD+WPI (16.28%) y de las microcápsulas de ASIH+GA (8.57%). Por último, el menor incremento de vida útil a 25°C respecto al aceite de sacha inchi sin microencapsular fue para las microcápsulas de ASIH+GA+MD (4.97%).

Por lo tanto, el tiempo de vida útil extrapolada a 25°C del aceite de sacha inchi *P. huayllabambana* (Figura 4.39) fue en el orden siguiente: ASIH + Capsul < ASIH < ASIH + GA + MD < ASIH + GA < ASIH + GA + MD + WPI < ASIH + Hi-cap

Figura 4.39

Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C del aceite de sacha inchi, *P. huayllabambana* sin microencapsular y microencapsulado con diferentes materiales de pared (horas)



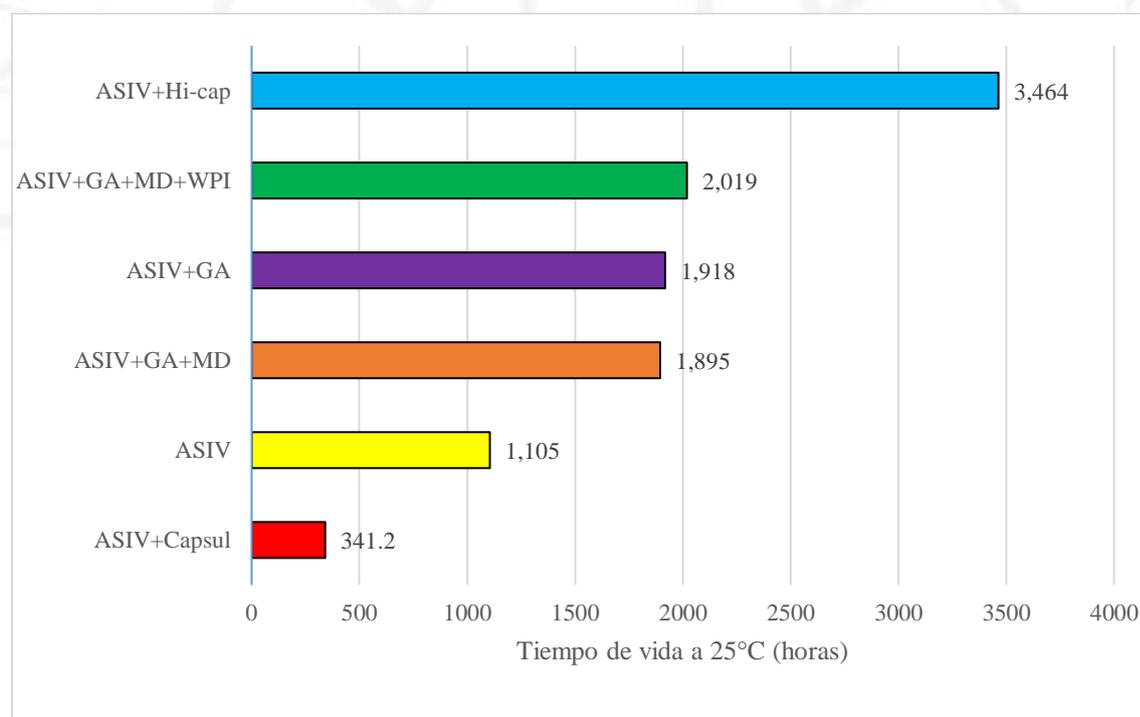
Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

De la Tabla 4.18, podemos concluir que el mayor incremento de vida útil a 25°C respecto al aceite de sacha inchi *P. volubilis* sin microencapsular fue para las microcápsulas ASIV+Hi-cap (213.48%), seguido de las microcápsulas ASIV+GA+MD+WPI (82.71%) y de las microcápsulas de ASIH+GA (73.57%). Por último, el menor incremento de vida útil a 25°C respecto al aceite de sacha inchi sin microencapsular fue para las microcápsulas de ASIV+GA+MD (71.49%).

Por lo tanto, el tiempo de vida útil extrapolada a 25°C del aceite de sacha inchi *P. volubilis* (Figura 4.40) que se encontraron fue en el orden siguiente: ASIV + Capsul < ASIV < ASIV + GA + MD < ASIV + GA < ASIV + GA + MD + WPI < ASIV + Hi-cap

Figura 4.40

Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C del aceite de sacha inchi, *P. volubilis* sin microencapsular y microencapsulado con diferentes materiales de pared (horas)



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

De la Tabla 4.18, podemos concluir que el tiempo de vida útil a 25°C del aceite de sacha inchi *P. volubilis* sin microencapsular obtenido en el presente trabajo de investigación fue de

1,105 horas que es menor al tiempo de vida útil a 25°C obtenido por Paucar, *et al.* (2015) que fue de 2,222 horas para el aceite de sacha inchi (*P. volubilis*) de la marca Olivos del Sur con el siguiente contenido de ácidos grasos insaturados: 11.17% de omega-3, 50.65% de omega-6 y 22.43% de omega-9 como están reportados en el trabajo de Paucar, *et al.* (2015). El contenido de ácidos grasos reportado por Paucar, *et al.* (2015) se encuentra fuera de lo establecido por la NTP (NTP 151,400, 2014) por lo que carece de valor científico.

El tiempo de vida útil a 25°C de los aceites de sacha inchi sin microencapsular de los ecotipos *P. huayllabambana* y *P. volubilis* (0.15 y 0.12 años, respectivamente) son menores al tiempo de vida útil del aceite de linaza (0.50 años), al aceite de uva (0.22 años) (Navas, 2010) y al tiempo de vida útil a 25°C del aceite de sacha inchi *P. volubilis* (1.79 años) obtenido por Rodríguez, *et al.* (2015), debido a que los aceites de sacha inchi utilizados en el presente trabajo presentan una elevada insaturación y contenido de omega-3.

Para ambos aceites de sacha inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*), podemos concluir que el material de pared que mejor protegió a la oxidación lipídica de los ácidos grasos poliinsaturados de los aceites de sacha inchi fueron de las microcápsulas con Hi-cap, seguido por las microcápsulas con mezcla ternaria (GA+MD+WPI), microcápsulas con GA y, por último, la mezcla binaria (GA + MD). Por otro lado, el material de pared Capsul no protegió a los aceites de sacha inchi por lo que no es un buen material encapsulante.

Los promedios y desviaciones estándar de la evaluación del índice de peróxidos para los microencapsulados de los aceites de sacha inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) con diferentes materiales de pared se muestran en las Tablas 4.19 - 4.20 y Figuras 4.41 - 4.42. El índice de peróxido indica la formación de hidroperóxidos que son productos primarios de la oxidación lipídica (Lutterodt, y otros, 2010). Las microcápsulas de aceite de sacha inchi estuvieron almacenadas en bolsas de aluminio a -5°C de temperatura en todo el período de almacenamiento durante 120 días.

Existen dos publicaciones previas de microencapsulación de aceite de sacha inchi del ecotipo *P. volubilis*. La primera publicación fue realizada por Pastuña, *et al.* (2016) donde realiza diferentes determinaciones químicas a las microcápsulas de aceite de sacha inchi con la mezcla binaria (GA+MD). La segunda publicación fue reportada por Vicente, *et al.* (2017) donde realiza determinaciones químicas a las microcápsulas de aceite de sacha inchi con ovoalbúmina. Por otro lado, no existen investigaciones previas de microencapsulación del

aceite de sachu inchi del ecotipo *P. huayllabambana*; por lo tanto, el presente trabajo es la primera en su clase.

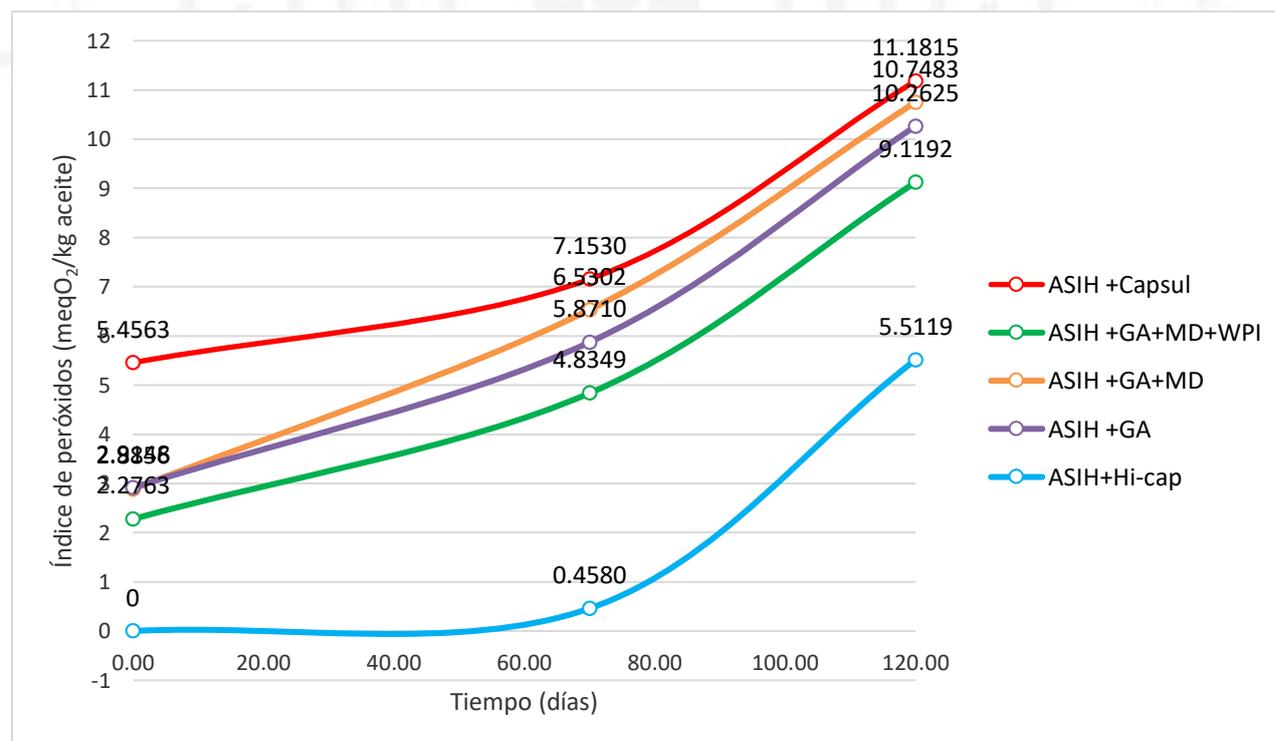
Tabla 4.19  
Índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de sachu inchi *P. huayllabambana*

Microcápsulas	IP (1) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	IP (2) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	IP (3) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)
ASIH+Hi-cap	0.0000 ± 0.0000	0.4580 ± 0.0271	5.5119 ± 0.0107
ASIH +GA+MD+WPI	2.2763 ± 0.0257	4.8349 ± 0.0155	9.1192 ± 0.0286
ASIH +GA	2.8856 ± 0.0112	5.8710 ± 0.0345	10.2625 ± 0.0203
ASIH +GA+MD	2.9148 ± 0.0112	6.5302 ± 0.0717	10.7483 ± 0.0122
ASIH +Capsul	5.4563 ± 0.0851	7.1530 ± 0.0173	11.1815 ± 0.0316

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.41

El índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de sachu inchi (*P. huayllabambana*) con diferentes materiales de pared



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Tabla 4.20

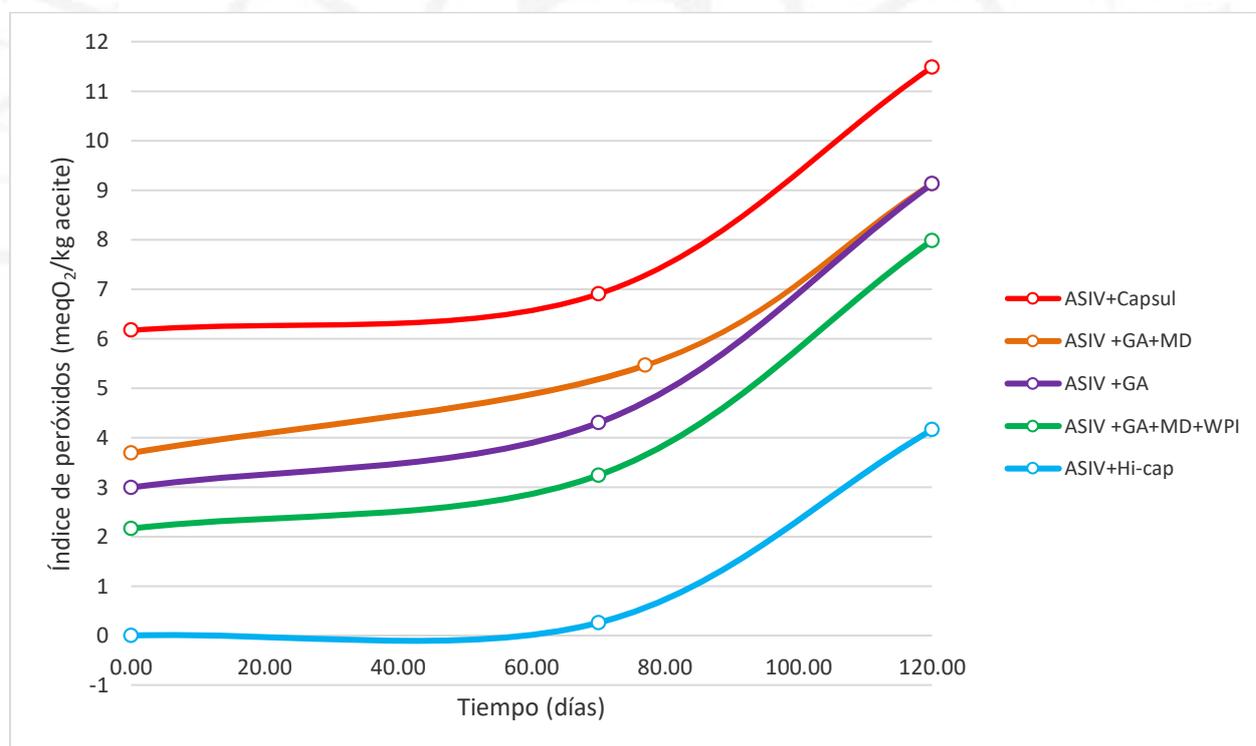
Índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite sachá inchi *P. volubilis*

Microcápsulas	I. Peróxidos (1) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	I. Peróxidos (2) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)	I. Peróxidos (3) (meqO <sub>2</sub> /kg aceite)
ASIV+Hi-cap	0.0000 ± 0.0000	0.2580 ± 0.0019	4.1546 ± 0.0024
ASIV +GA+MD+WPI	2.1615 ± 0.0103	3.2377 ± 0.0172	7.9793 ± 0.0261
ASIV +GA	2.9898 ± 0.0097	4.2974 ± 0.0341	9.1219 ± 0.0207
ASIV +GA+MD	3.6881 ± 0.0216	5.4546 ± 0.0339	9.1298 ± 0.0363
ASIV+Capsul	6.1652 ± 0.0067	6.8995 ± 0.0851	11.4815 ± 0.0316

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Figura 4.42

El índice de peróxidos de las microcápsulas de aceite de sachá inchi (*P. volubilis*) con diferentes materiales de pared



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

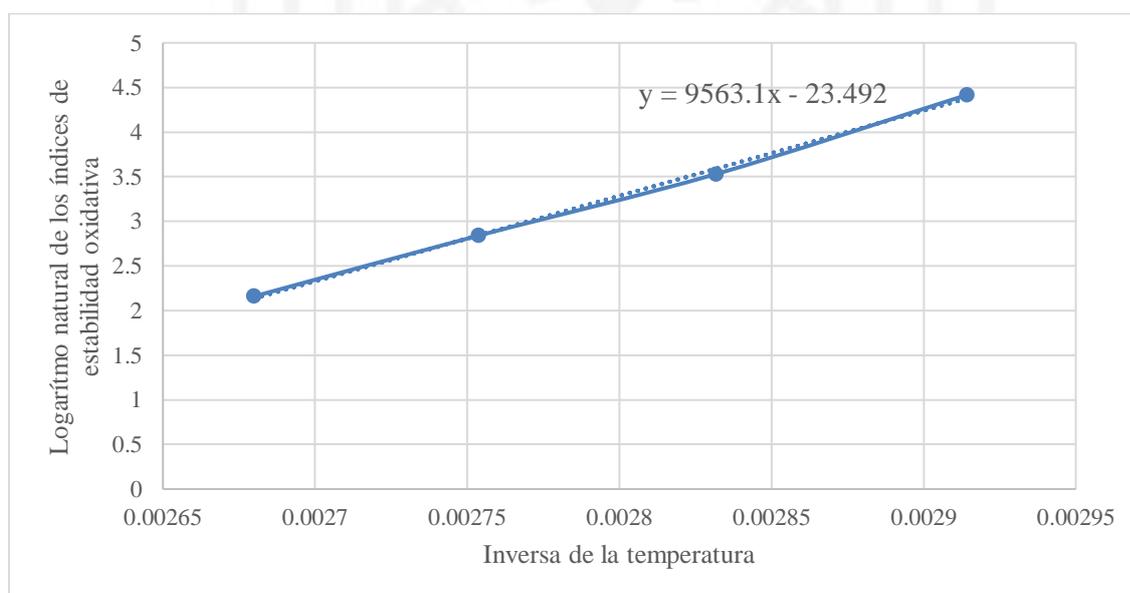
Podemos concluir que los índices de peróxidos de las microcápsulas de los aceites de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) a 0 y 70 días de evaluación se encuentran dentro de los valores establecidos por la Norma Técnica Peruana de Sachá Inchi (NTP 151,400, 2014)

que establece un valor máximo de 10 meq O<sub>2</sub>/kg aceite; sin embargo, a los 120 de evaluación, los resultados de índice de peróxidos de las microcápsulas de ASIH+GA, ASIH+GA+MD, ASIH+Capsul y ASIV+Capsul fueron mayores al límite permitido, debido a la formación de hidroperóxidos y de compuestos orgánicos aromáticos de cadena corta (como aldehídos, cetonas, alcoholes, y ácidos grasos de cadena corta).

Según Blaine y Savage (1992) y Garcia-Ochoa *et al.* (1989), la adición de los radicales de oxígeno a los ácidos grasos se produce en los dobles enlaces entre los átomos de carbono, siguiendo cinéticas de primer orden. Además, el efecto de la temperatura en los valores del índice de estabilidad oxidativa obtenidos por el método de Rancimat puede ser estudiado aplicando tanto la ecuación empírica como el modelo cinético (Navas, 2010). Se puede obtenerse la energía de activación de la reacción a fin de poder comprender mejor el proceso de oxidación de los aceites vírgenes contenido en las semillas. Para hallar la energía de activación se estableció la ecuación (Figura 4.43) entre la inversa de la temperatura absoluta y el logaritmo natural de los índices de estabilidad oxidativa de las microcápsulas, donde la pendiente de dicha ecuación fue multiplicada por la constante universal de los gases.

Figura 4.43

Diagrama de la inversa de la temperatura absoluta y el logaritmo natural de los índices de estabilidad oxidativa



Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

Finalmente, los valores de las energías de activación, como se muestran en la Tabla 4.21, variaron entre 58.06 y 91.78 kJ/mol

Tabla 4.21  
Energía de activación de las microcápsulas con aceite sachá inchi

Aceites	Microcápsulas	EA (kJ/mol)
<b>ASIH</b>	Hi-cap	79.51
	GA+MD+WPI	77.73
	GA	91.78
	GA+MD	87.76
	ASIH	71.20
	Capsul	69.97
<b>ASIV</b>	Hi-cap	84.18
	GA+MD+WPI	76.71
	GA	75.74
	GA+MD	77.75
	ASIV	78.35
	Capsul	58.06

Fuente: Proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima (2018)

De la Tabla 4.21 se concluye que para el ecotipo *Plukenetia huayllabambana* se obtuvo una mayor energía de activación para las microcápsulas ASIH+GA y ASIH+GA+MD por obtener una pendiente más elevada, debido a que los índices de estabilidad oxidativa tienden a ser más del doble por cada 10°C de aumento en la temperatura.

Para el ecotipo *P. volubilis*, el índice de estabilidad oxidativa tuvo una relación directamente proporcional a la energía de activación, ya que, a mayor índice de estabilidad oxidativa, mayor es la energía de activación de las microcápsulas de sachá inchi. De manera similar, la energía de activación del aceite de sachá inchi *P. volubilis* obtenido por Rodríguez, *et al.* fue de 137.90 kJ/mol.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el “Laboratorio de Grasas, Aceites y Alimentos Funcionales” del Centro de Innovación y Alimentos Funcionales (CEIAF) para el proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE “Microencapsulación de aceites de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *P. huayllabambana*) y antioxidantes de la biodiversidad peruana. Contribución al desarrollo de alimentos funcionales conteniendo omega-3 para prevenir enfermedades no transmisibles” del Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Ministerio de Agricultura y Riego, el Banco Mundial y el Instituto de Investigación Científica (IDIC) de la Universidad de Lima, podemos concluir:

Los resultados del índice de estabilidad oxidativa y periodo de inducción (PI) confirman que la microencapsulación de los aceites de sachá inchi prolongan la vida útil de los aceites de sachá inchi hasta en 60.81% para el ecotipo *P. huayllabambana* en 213.48% para el ecotipo *P. volubilis*; es decir, la mayoría de los materiales de pared utilizados en el proceso de microencapsulación protegieron a los aceites de sachá inchi del proceso de oxidación lipídica de los ácidos grasos poliinsaturados de los aceites de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*). El material de pared que mejor protegió fue el Hi-cap.

Los tiempos de vida útil estimado a 25°C de los aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* sin microencapsular fueron de 0.15 años y 0.12 años, respectivamente. Respecto a los microencapsulados de aceite de sachá inchi (*P. huayllabambana*), según el material de pared empleado, el tiempo de vida útil fue: Capsul (0.09 años) < GA + MD (0.16 años) < GA (0.17 años) < GA + MD + WPI (0.18 años) < Hi-cap (0.25 años). El tiempo de vida a 25°C para el ecotipo *P. volubilis* fue en el orden siguiente: Capsul (0.03 años) < GA + MD (0.21 años) < GA (0.21 años) < GA + MD + WPI (0.23 años) < Hi-cap (0.39 años). Por lo que se puede concluir que el tiempo de vida útil de los microencapsulados de los aceites de sachá inchi fue mucho mayor que los aceites de sachá inchi sin microencapsular.

Además, se determinó el comportamiento termodinámico mediante el cálculo de la energía de activación, este parámetro indica la demora del proceso de oxidación inicial. Se determinó que la energía de activación de los aceites de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* fueron 71.20 kJ/mol y 78.35 kJ/mol, respectivamente. Respecto a los

microencapsulados de los aceites de sacha inchi del ecotipo *P. huayllabambana*, según el material de pared empleado, el orden de la energía de activación fue en la siguiente relación: Capsul (69.97 kJ/mol) < GA + MD (87.76 kJ/mol) < GA (91.78 kJ/mol) < GA + MD + WPI (77.73 kJ/mol) < Hi-cap (79.51 kJ/mol). Para el ecotipo *P. volubilis*, la energía de activación fue: Capsul (58.06 kJ/mol) < GA + MD (77.75 kJ/mol) < GA (75.74 kJ/mol) < GA + MD + WPI (76.71 kJ/mol) < Hi-cap (84.18 kJ/mol).

De los resultados obtenidos se encontró una relación indirecta entre los porcentajes de humedad e índices de peróxidos respecto al índice de estabilidad oxidativa, debido a que, a mayor porcentaje de humedad, menor es el índice de estabilidad oxidativa y viceversa; de manera similar, a mayor índice de peróxido, menor es el índice de estabilidad oxidativa y viceversa.

Finalmente, la determinación de la estabilidad oxidativa para los aceites de sacha inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) sin microencapsular y microencapsulados debe establecerse como un parámetro de calidad importante en la industria alimentaria de grasas y aceites con la finalidad de asegurar la calidad del producto, estimar su tiempo de conservación bajo determinadas condiciones de almacenamiento (temperatura, tiempo, entre otros) y poder salvaguardar la salud de los consumidores.

## RECOMENDACIONES

La extracción de los aceites de sachá inchi de las semillas de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) deben ser obtenidos mediante prensado en frío y deben cumplir los requisitos de aceite extra virgen y virgen de la (NTP 151,400, 2014) para garantizar su inocuidad, genuinidad y sus valiosos componentes de ácidos grasos  $\omega$ -3,  $\omega$ -6, entre otros.

Se recomienda una calibración constante del equipo Rancimat empleando el patrón de conductividad que indica la conductividad eléctrica en función de la temperatura. El patrón estándar es una conductividad de  $100 \pm 2.0 \mu\text{S}/\text{cm}$  a una temperatura de  $25 \pm 0.2^\circ\text{C}$ .

Se recomienda realizar una limpieza adecuada de los componentes del equipo Rancimat que está en contacto directo con la grasa o aceite. Estos necesitan un lavado con acetona y detergente para evitar contaminar las nuevas muestras con restos de análisis anteriores. Para los demás componentes, el lavado se puede realizar con agua y detergente.

## REFERENCIAS

- Huntington, D. (2007). The Influence of the Spray Drying Process on Product. *Drying Technology: An International Journal*, 1261-1287.
- Ácidos grasos. (s.f.). Recuperado de <https://www.acidosgrasos.net/saturados/>
- ADEX. (04 de diciembre de 2018). *ADEXPERU*. Recuperado de <http://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/buscan-promover-oferta-en-el-exterior-y-evitar-extraccion-de-material-genetico-sin-autorizacion/>
- Alberca Tocto, S. K., & Huanca Vásquez, M. A. (2015). *Evaluación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de moringa (moringa oleífera lam) por el método rancimat*. Chiclayo. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS\\_16ce646e55762e2d3172f33ebe6a8afc](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_16ce646e55762e2d3172f33ebe6a8afc)
- Alves Vargas, A., & Vásquez Ocmin, S. (2013). *Actividad Hipolipemiente del aceite Plukenetia volubilis L. "Sacha Inchi" y del Olea europaea L. "Oliva" administrados a ratas Albinas Holtzmann*. UNIVESIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA, Iquitos. Recuperado de [http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4684/Anthony\\_Tesis\\_Titulo\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4684/Anthony_Tesis_Titulo_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ancira, R. (2008). *Omega 3: Los secretos curativos del eslabón perdido de la salud*. México.
- ANDINA. (2 de Mayo de 2018). *Agencia peruana de noticias*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-punena-gana-premio-al-mejor-cafe-del-mundo-ee-uu-708634.aspx>
- ANDINA. (7 de Junio de 2018). *Devida: erradicación de coca ilegal va junto a desarrollo alternativo y programas sociales*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-devida-erradicacion-coca-ilegal-va-junto-a-desarrollo-alternativo-y-programas-sociales-669966.aspx>
- Arias Nuñuvero, J. O., & Lopez Carranza, N. A. (2015). *Estabilidad oxidativa y perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de lino (linum usitatissimum) procedentes de Corongo y Otuzco, extraído por prensado en frío*. Nuevo Chimbote. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR\\_52a5101ac69ad6968da11f65d2bf8471/Description#tabnav](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_52a5101ac69ad6968da11f65d2bf8471/Description#tabnav)
- Biocomercio Perú; PROMPERU. (2013). *Productos del Biocomercio en la Amazonía: sacha inchi y camu camu. Oportunidades del mercado y potencialidades en la región*. Lima. Recuperado de [http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1183/Productos\\_biocomercio\\_sacha\\_inchi\\_camu\\_camu\\_2009\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1183/Productos_biocomercio_sacha_inchi_camu_camu_2009_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Blaine, S., & Savage, P. (1992). Reaction Pathways in Lubricant Degradation, 3, Reaction Model for n - Hexadecane autoxidation. *Engineering Chemical Research*, 69-75.

- Bondioli, P., & Bella, D. (2006). Alpha linolenic acid rich oils: Composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) oil from Peru. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*.
- Cabré Cabré, P., & Massó Maresch, A. (2014). Determinación de la estabilidad a la oxidación de aceites y grasas por el método Rancimat.
- Cachique, D., Rodríguez, Á., Corazon-Guivin, M., Mejía, K., Del Castillo, D., Renno, J., & García-Dávila, C. (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*.
- Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W., & Nogales, J. (2011). MICROENCAPSULACION, UN METODO PARA LA CONSERVACION DE PROPIEDADES FISICOQUIMICAS Y BIOLOGICAS DE SUSTANCIAS QUIMICAS. *Boliviana de Química*, 135-140.
- Castaño, D., Valencia, M., Murillo, E., Méndez, J., & Eras, J. (2012). Composición de ácidos grasos de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal. *Revista Chilena de Nutrición*, 39-45.
- Chasquibol, N. (2017). *Caracterización, análisis sensorial y estabilidad oxidativa del aceite de sachá inchi (Plukenetia huayllabambana)*. Autenticidad de aceites comerciales de sachá inchi. UNMSM, Lima.
- Chasquibol, N., Chellah, d., Yacono, J., Guinda, Á., Moreda, W., Gómez-Roca, R., & Pérez Camino, M. (2014). Characterization of Glyceridic and Unsaponifiable Compounds of Sacha Inchi (*Plukenetia huayllabambana* L.) Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. doi:10.1021/jf5028697
- Chasquibol, N., Yacono, J., Pérez Camino, M., del Águila, C., & Moreda, W. (2014). Specific markers of the addition of other seed oils to commercial extra virgin sachá inchi oils. 404.
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Domínguez, G., & Campos, D. (2015). Comparison of the physicochemical and phytochemical characteristics of the oil of two *Plukenetia* species. *Food Chemistry*, 1203-1206.
- Congreso de la República. (2004). *Proyecto de Ley Documento de Seguimiento*. Recuperado de <http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/TraDocEstProc/CLProLey2001.nsf/fa08063cac51e9d805256cdf006c92be/edc84314dd0d4cb405256f09005b2b2d?OpenDocument>
- Cortez Cortez, D. G., & Sánchez Carbajal, E. E. (2017). *Evaluación de la estabilidad oxidativa de la mezcla de aceites de Chia (Salvia hispánica l.) y Ajonjolí (Sesamum indicum l.)*. Nuevo Chimbote. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR\\_364af5e810102de406ccad9be75c2523/Description#tabnav](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_364af5e810102de406ccad9be75c2523/Description#tabnav)
- Cubero Castillo, E., Gonzalez, X., Herrea, G., & Hernández, O. (2016). Efectos del consumo de ácidos grasos omega-3 sobre la salud cardiovascular, cerebral y diversas enfermedades del sistema nervioso central. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1 - 24.
- Domínguez Alba, A. P., & Jimenez Gonzales, D. L. (2017). *Caracterización y estimación de la vida útil del aceite de castaña (bertholletia excelsa) mediante pruebas aceleradas*. Nuevo Chimbote. Recuperado de

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR\\_f712be50ecd14e76b2142893ad8bc9a8](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_f712be50ecd14e76b2142893ad8bc9a8)

- Editora Perú. (2 de Mayo de 2018). *Agencia peruana de noticias*. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-punena-gana-premio-al-mejor-cafe-del-mundo-ee-uu-708634.aspx>
- El Comercio. (22 de setiembre de 2014). EE.UU. reconoce al aceite de sacha inchi como alimento seguro. Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/ee-uu-reconoce-aceite-sacha-inchi-alimento-seguro-177492>.
- El Comercio. (14 de Agosto de 2018). Recuperado de <https://elcomercio.pe/economia/peru/expoamazonica-2018-genero-negocios-s-94-millones-noticia-nndc-546639>
- el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IAAP). (2017). San Martín: Uso de caldo sulfocálcico para prevención y control de plagas en cítricos. Recuperado de <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/senasa-uso-de-caldo-sulfocalcico-para-prevencion-y-control-de-plagas-en-citricos/>
- El Peruano. (24 de marzo de 2005). Normas Legales. *Ley N° 28477*, pág. 289575. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/download/full/0d7ptd2g4fa8tgqblWNB0Q>
- El Peruano. (Diciembre de 2017). *Expo Amazónica, Plataforma de oportunidades*, págs. 6-22.
- Esquivel González, B., Ochoa Martínez, L., & Rutiaga Quiñones, O. (2015). MICROENCAPSULACIÓN MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS. *Iberoamericana de Tecnología*, 180-192.
- Estrada Talexi, W. R., & Estrada Talexcio, J. N. (2016). *Influencia de los parámetros del rancimat en el tiempo de inducción y perfil de ácidos grasos del aceite de chía (salvia hispánica l.) cultivada en el distrito de Andahuaylas*. Nuevo Chimbote. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR\\_deba3af1ef944b8d3e9d8860cbd93883](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_deba3af1ef944b8d3e9d8860cbd93883)
- Euromonitor. (2018). *Top five onsumer trends*. Recuperado de <http://www.portal.euromonitor.com/portal/analysis/tab>
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, F., & Grasso, S. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 13043-13049. doi:10.1021/jf203184y
- Flores, D., & Lock, O. (2013). Revalorizando el uso milenario del sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) para la nutrición, la salud y la cosmética. *Revista de Fitoterapia*, 23-30. Recuperado de <http://studylib.es/doc/8197973/plukenetia-volubilis-l>.
- Follegatti-Romero, L., Piantino, C., Grimaldi, R., & Cabral, F. (2009). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of omega-3 rich oil from Sacha. *ELSEVIER*, 323-329.
- Food and Agricultural Organization. (1992). *Minor oil crops*. Italia.
- Frankel, E. N. (1998). *Lipid oxidation*. Dundee, Scotland: Oily Press.

- Fry, J. (2018). El sector de aceites en las tendencias de la agricultura mundial 2015-2035. *El Palmicultor*, 11-13. Recuperado de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/12335/12254>
- García Gutiérrez, C., González Maldonado, M. B., Ochoa Martínez, L. A., & Medrano Roldán, H. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 262-266.
- García, D., Seclen, A., Rengifo, D., Saldaña, R., Dávila, É., Merino, C., & Sotero, V. (2013). Obtención de lípidos estructurados a partir de mezclas binarias de aceites de castaña (*Bertholletia excelsa*) y sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000400007&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000400007&script=sci_arttext)
- García-Ochoa, F., Romer, A., & Querol, A. (1989). Modeling of the Thermal n-Octane Oxidation in the Liquid Phase. *Industrial and Engineering Chemical Research*, 43-48.
- Garmendia, F., Pando, R., & Ronceros, G. (2011). *Efecto del aceite de sacha inchi (plukenetia volubilis l) sobre el perfil lipídico en pacientes con hiperlipoproteinemia*. Lima. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342011000400009](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342011000400009)
- Garnica, G., & Alcántar, M. (2015). Microencapsulación de sabores y aromas. *Saber Mas. Universidad de Michoacana de San Francisco Hidalgo*, 30-41.
- Gutiérrez Estrada, Y. Y., & Terrones Blas, L. J. (2016). *Caracterización fisicoquímica y estabilidad oxidativa del aceite de semilla de granada (púnica granatum)*. Nuevo Chimbote. Recuperado de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR\\_a65b3129d0d41c8fcea2bf1ecae0d0e5](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_a65b3129d0d41c8fcea2bf1ecae0d0e5)
- Gutiérrez, L., Rosada, L., & Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites. International Journal of Fats and Oils*, 76-83. doi: 10.3989/gya044510
- Huamán, J., Chávez, K., Castañeda, E., Carranza, S., Chávez, T., Beltrán, Y., Cadenillas, J. (2008). Efecto de la *Plukenetia volubilis* Linneo (sacha inchi) en la trigliceridemia posprandial. *Scielo*.
- INDECOPI. (2014). NTP 151.400.2014 Aceite de sacha inchi
- INIA. (2018). *Instituto Nacional de Innovación Agraria*. Recuperado de <http://www.inia.gob.pe/certificacion-semillas/>
- Jácome Pozo, M. (s.f.). TRATAMIENTO ALTERNATIVO DE LAS DISLIPIDEMIAS CON ACEITE DE MANÍ SILVESTRE – SACHA INCHI EN EL PERSONAL ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE DE LA CIUDAD DE IBARRA. *TESIS DE GRADO*. UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, Ibarra– Ecuador.
- Jiménez P., P., Masson S, L., & Quitral R., V. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos. *Revista Chilena de Nutrición*.
- Kemin Industries Inspired Molecular Solutions. (2013). *Oxidación, Ingredientes y Alimentos*. Recuperado de

- [http://www.alapre.org/Downloads/Congresos/Primer\\_Congreso/Kemin\\_Carlos\\_Bacal.pdf](http://www.alapre.org/Downloads/Congresos/Primer_Congreso/Kemin_Carlos_Bacal.pdf)
- La República. (25 de Junio de 2018). Minagri creará Autoridad Nacional de Semillas. *La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/sociedad/1267079-minagri-creara-autoridad-nacional-semillas-sistema-informacion-agraria-sistema-credito-tasa-menor-15>
- Laurentia technologies coatings & capsules. (11 de Marzo de 2016). PCMs para regular la temperatura. Recuperado de <https://www.laurentia.es/2016/04/11/pcms-para-regular-la-temperatura/>
- Lawson, H. (1999). *Aceites y grasas alimentarias: tecnología, utilización y nutrición*. Zaragoza: Editorial Acribia S.A.
- Lutterodt, H., Lutehr, M., Slavin, M., Yin, J., Parry, J., Gao JinMing, & Yu, L. (2010). Fatty acid profile, thymoquinone content, oxidative stability, and antioxidant properties of cold-pressed black cumin seed oils. *LWT - Food Science and Technology*, 1409-1413.
- Manco Céspedes, E. (2006). *Existen diversos materiales de pared, muchos de estos de origen orgánico, como los siguientes:*. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRARIA, San Martín - Perú. Recuperado de <http://www.incainchi.es/pdf/1358.pdf>
- McBride, J. (1936). *Publication. Field Museum of Natural History. Botanical series*. Chicago.
- MINAGRI. (2016). *Sierra y selva exportadora*. Recuperado de <https://www.sierraexportadora.gob.pe/portfolio/cafes-2/>
- MINAGRI. (2018). *Ministerio de Agricultura y Riego*. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/463-seminario-semillas/9904-las-semillas-en-el-peru>
- MINCETUR. (2016). *BIOCOMERCIO SERÁ PILAR DEL DESARROLLO DEL COMERCIO EXTERIOR*. Lima. Recuperado de <https://www.mincetur.gob.pe/biocomercio-sera-pilar-del-desarrollo-del-comercio-exterior/>
- Mincetur. (8 de febrero de 2017). *Ministerio de Comercio Exterior Y Turismo*. Recuperado de <https://www.mincetur.gob.pe/peru-presenta-al-mundo-nueva-marca-superfoods-peru/>
- Morales Millan, M. T. (2012). *Grasas y aceites alimentarios*. Madrid: Editorial Diaz de Santos.
- Navas, H. (2010). *Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales*. España.
- Nobel Lectures. (1970). *The Nobel Prize*. Recuperado de <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1931/warburg/biographical/>
- Norma Alayón, A., & Echeverri J., I. (2016). Sacha Inchi (*plukenetia volubilis linneo*): ¿una experiencia ancestral desaprovechada? Evidencias clínicas asociadas a su consumo. *Revista chilena de nutrición*, 166 - 170. doi:10.4067/S0717-75182016000200009
- NTP 151,400. (2014). NTP 151.400.2014 Aceite de sachá inchi

- OCEX (Oficina Comercial del Perú en el exterior). (08 de enero de 2018). Estas son las tendencias de los alimentos funcionales en el 2018 en EE.UU. *GESTIÓN*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/son-tendencias-alimentos-funcionales-2018-ee-uu-224386>.
- Parzanese, M. (2013). *www.alimentosargentinos.gob.ar*. Recuperado de Tecnologías para la Industria Alimentaria - Microemulsificación. Recuperado de [http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha\\_20\\_Microemulsificacion.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_20_Microemulsificacion.pdf).
- Pastuña Pullutasig, A., López Hernández, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez Leyes, E., Vicente, R., . . . Tapia Hernández, F. (2016). Microencapsulación de aceite de sacha inchi. *Revista Colombia Cienc. Quím. Farm.*, 422-437.
- Paucar Menacho, L., Salvador Reyes, R., Guillén Sánchez, J., Capa Robles, J., & Moreno Rojo, C. (2015). Estudio comparativo de las características físico-químicas del aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), aceite de oliva (*Olea europaea*) y aceite crudo de pescado Comparative. *Scientia Agropecuaria*, 279-290.
- Perú 21. (2018, 05 11). ¡Atentos! MEF subió impuesto a las gaseosas, licores, cigarros, combustibles y vehículos.
- Pitchford, P. (2007). *Sanando con alimentos integrales : tradiciones asiáticas y nutrición moderna*. California: North Atlantic Books.
- PROMPERU. (2008). Recuperado de [http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1417/Investigacion\\_mercado\\_sacha\\_inchi\\_2008\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1417/Investigacion_mercado_sacha_inchi_2008_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- PROMPERU. (2011). Recuperado de [http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1138/Mercados\\_biocomercio\\_requisitos\\_barreras\\_exportacion\\_alimentos\\_sacha\\_inchi\\_2010\\_keyword\\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/1138/Mercados_biocomercio_requisitos_barreras_exportacion_alimentos_sacha_inchi_2010_keyword_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- PROMPERU. (s.f.). *Peru info*. Recuperado de <https://peru.info/es-lat/GASTRONOMIA/Noticias/2/12/sacha-inchi--beneficios-de-esta-semilla-milenaria>
- PROMPERU. (s.f.). *Peru Info*. Recuperado de <https://peru.info/es-pe/superfoods/detalle/super-sacha-inchi>
- Przybylski, R., Chauhan, G., & Eskin, N. (1994). Characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa*) lipids. *ELSEVIER*, 187-192. doi:[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90255-0](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90255-0)
- Quispe, S., & Saldaña, M. (2011). Microencapsulation of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil with zein. *International Congress on Engineering and Food (Full Paper Proceedings)*.
- Rattana, M., Pattawee, V., & Narirat, C. (2018). Screw press extraction of Sacha inchi seeds: Oil yield and its chemical composition and antioxidant properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 135-136.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado de <http://dle.rae.es/srv/fetch?id=Qjo25iP>

- Rodríguez, G., Villanueva, E., Glorio, P., & Baquerizo, M. (2015). Estabilidad oxidativa y estimación de la vida útil del aceite de. *Sciencia Agropecuaria*, 155-163.
- Rojas, W., Vargas Mena, A., & Pinto Porcel, M. (2016). La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el. *Scielo*, 114-124. Recuperado de [http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n2/v3n2\\_a01.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/riiarn/v3n2/v3n2_a01.pdf)
- Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J., & Rojas, R. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). *Scielo Perú*. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2013000100005&script=sci_arttext).
- Ryan, E., Galvin, K., & O'Connor, T. (2007). Phytosterol, Squalene, Tocopherol Content and Fatty Acid Profile of Selected Seeds, Grains, and Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 85-91. doi:10.1007/s11130-007-0046-8
- Salazar Perdomo, J. X. (2017). <https://saintgermain.com.co/>. Recuperado de MÉTODOS DE MICROENCAPSULACIÓN CON MATERIAL DE NÚCLEO DE FRAGANCIAS: UNA REVISIÓN. Recuperado de <https://saintgermain.com.co/wp-content/uploads/2017/06/Microencapsulación-de-fragancias.pdf>
- Sánchez Bartra, A. (2017). *Diagnóstico de la cadena de valor del sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) en la región San Martín*. Tarapoto, PERÚ.
- Sansone, F., Mencherini, P., Picerno, P., d'Amore, M., Aquino, R., & Lauro, R. (2011). Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. *Journal of food engineering*, 468-476.
- Santos, S., & Paredes Escobar, M. (2018). Estudio de la estabilidad del aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia*. Ecuador.
- SENASA - Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2017). Andina: Región San Martín promueve la investigación sobre el sachá inchi. Recuperado de <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/region-san-martin-promueve-la-investigacion-sobre-el-sacha-inchi/>
- Sherwin, E. (1978). Oxidation and antioxidants in fat and oil processing. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 809-814.
- Sierra Exportadora. (27 de Abril de 2017). *Ministerio de Agricultura y Riego*. Recuperado de <https://www.sierraexportadora.gob.pe/?s=sacha+inchi>
- Tonon, R., Brabet, C., & Hubinger, M. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 907-9014. doi:10.1016/j.foodres.2009.12.013
- Vega Turizo, A. (2004). *Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces*. Bogotá: Convenio Andrés Bello.
- Velasco, J., Dobarganes, C., Holgado, F., & Marquez Ruiz, G. (2009). A follow-up oxidation study in dried microencapsulated oils under the accelerated conditions of the Rancimat test. *Food Research International*, 56-62.
- Vicente, J., de Souza Cezarino, T., & Pereira, L. (2017). Microencapsulation of sachá inchi oil using emulsion-based delivery systems. *Food Research International*, 612-622.

- Villanueva López, E., Castillo Benites, D., & Rodríguez Páucar, G. (2013). Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L. *Scientia Agropecuaria*, 173-180.
- Villarreal Peña, D., Posada Suárez, H., & Baena Clavijo, L. (2012). *ANÁLISIS DE LÍPIDOS Y ÁCIDOS GRASOS EN CAFÉ*. Colombia. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/520/1/arc063%281%2919-40.pdf>
- Vinyes, F. (2012). El caso de la Dra. Johanna Budwig. *Medicina Naturista*, 15-16.
- Wood, S., Lawson, L., Fairbanks, D., Robison, L., & Andersen, W. (1993). Seed Lipid Content and Fatty Acid Composition of Three Quinoa Cultivars. 41-44. doi: [//doi.org/10.1006/jfca.1993.1005](http://doi.org/10.1006/jfca.1993.1005)

## BIBLIOGRAFÍA

- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante: Anthocyanins Microencapsulation of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and Evaluation of Color Stability and Antioxidant Capacity. *Información Tecnológica*, 25(3), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
- Arteaga, A., & Arteaga, H. (2016). Optimization of the antioxidant capacity, anthocyanins and rehydration in powder of cranberry (*Vaccinium corymbosum*) microencapsulated with mixtures of hydrocolloids. *Scientia Agropecuaria*, 7(SPE), 191–200. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.05>
- Ballesteros-Vásquez, M. N., Valenzuela-Calvillo, L. S., Artalejo-Ochoa, E., & Robles-Sardin, A. E. (2012). Ácidos Grasos Trans: Un Análisis Del Efecto De Su Consumo En La Salud Humana, Regulación Del Contenido En Alimentos Y Alternativas Para Disminuirlos. *Nutrición Hospitalaria : Organo Oficial de La Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral*, 27(1), 54–64. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5420>
- Bondioli, P. (2014). Composition of *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) oil from Peru.pdf, (August), 1–5.
- Bussmann, R. W., Téllez, C., & Glenn, A. (2009). *Plukenetia huayllabambana* sp. nov. (Euphorbiaceae) from the upper Amazon of Peru. *Nordic Journal of Botany*, 27(4), 313–315. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2009.00460.x>
- Castañeda, Heriberto; Gemio, Romulo; Yapu, W. N. J. (2011). Microencapsulacion, Un Metodo Para La Conservacion De Propiedades Fisicoquimicas Y Biologicas De Sustancias Quimicas. *Boliviana de Quimica*, 28, 135–140.
- Cóccaro, G. C. (2010). Desarrollo de Nuevos Productos, Alimentos Funcionales y NovelFood. *Alimentos Funcionales*, 4–54.
- Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias. (2009). NTP 151.400: ACEITE DE SACHA INCHI. Requisitos.
- Fadini, A. L., Alvim, I. D., Ribeiro, I. P., Ruzene, L. G., Silva, L. B. da, Queiroz, M. B., Rodrigues, R. A. F. (2018). Innovative strategy based on combined microencapsulation technologies for food application and the influence of wall material composition. *LWT - Food Science and Technology*, 91, 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.071>

- Fernando Ramos-Escudero. (2018). Plukenetia volubilis L. *Food Research International*. Recuperado de <http://www.tropicos.org/Name/12802411>
- Fuentes Berrío, L., Acevedo Correa, D., Chantré, C. A., & 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*, 13(2), 140. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)140-149](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)140-149)
- Gracia, M. D. (n.d.). Como Fluido Caloportador Y Material De Almacenamiento Térmico.
- Guillén, M. D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., & Pascual, G. (2003). Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(8), 755–762. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0768-z>
- Guillén, M. D., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R., & Pascual, G. (2003). Characterization of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80(8), 755–762. <https://doi.org/10.1007/s11746-003-0768-z>
- Gutiérrez Luis-Felipe, Rosadab Lina-María, & Álvaro Jiménez. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds and. *Grasas y Aceites*, 62(1), 76–83. <https://doi.org/10.3989/gya044510>
- Gutiérrez, L. F., Rosada, L. M., & Jiménez, Á. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i> L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas y Aceites*, 62(1), 76–83. <https://doi.org/10.3989/gya044510>
- Juárez, D., Balart, R., Ferrándiz, S., & García, D. (n.d.). *ESTUDIO DE MATERIALES CON CAMBIO DE FASE (PCM) Y ANÁLISIS SEM DE MICRO (PCM) STUDY OF PHASE CHANGE MATERIALS (PCM) AND SEM ANALYSIS OF MICRO PCM*. Recuperado de <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2012/11/cambio-de-fase.pdf>
- Mateos, G., Rebollar, P., & Medel, P. (1996). Utilización De Grasas Y Productos Lipídicos En Alimentación Animal. *Fedna*, 1(May 2014), 18.
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo Perú (MINCETUR). (2016). Perfil del Producto: Aceite y Grano Tostado Aceite y Grano Tostado de Sacha Inchi. *Mincetur*, 24. Recuperado de [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/plan\\_exportador/Penx\\_2025/PDM/canada/images/files/pdf/html5/pp9/mobile/index.html#p=1](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/plan_exportador/Penx_2025/PDM/canada/images/files/pdf/html5/pp9/mobile/index.html#p=1)
- Moreno Muñoz, G. Y. (2018). Plan de calidad en una innovación que desarrolle el proceso de microencapsulado a base de aceite esencial de eucalipto, en tejidos de algodón. Recuperado de <http://ria.utn.edu.ar/handle/123456789/2938>
- Roxana Cea, L. (n.d.). *Microencapsulación: un avance en el sector cosmético*. Recuperado de [http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/9745/MICROENCAPSULACION oct.pdf](http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/9745/MICROENCAPSULACION%20oct.pdf)

- Sánchez Silva, M. L. (2009). Microencapsulación de materiales de cambio de fase para su aplicación textil. Recuperado de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/2269>
- Sanchez-Reinoso, Z., & Gutiérrez, L. F. (2017). Effects of the Emulsion Composition on the Physical Properties and Oxidative Stability of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil Microcapsules Produced by Spray Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 10(7), 1354–1366. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1906-3>
- Sanchez-Reinoso, Z., & Gutiérrez, L. F. (2017). Effects of the Emulsion Composition on the Physical Properties and Oxidative Stability of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil Microcapsules Produced by Spray Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 10(7), 1354–1366. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1906-3>
- Silva, M., De la Rosa, E., Linares, T., Tomás, G., & Garrido, A. (2016). Obtención y caracterización del aceite de semilla de huayllabambana. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 19(1), 85–88.
- Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral., J. J., Martín-Bautista, E., Baró, L., Fonollá, J., Jiménez, J., Boza, J. J., & López-Huertas, E. (2005). Nutrición hospitalaria : organo oficial de la Sociedad Española de Nutrición Parenteral y Enteral. *Nutrición Hospitalaria*, 20(1), 63–69. Recuperado de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112005000100010&lang=pt](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112005000100010&lang=pt)
- Tyurin, I. N., Getmantseva, V. V., & Andreeva, E. G. (2018). Analysis of Innovative Technologies of Thermoregulating Textile Materials. *Fibre Chemistry*, 50(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10692-018-9918-y>
- Universidad Nacional de Colombia. Facultad Nacional de Agronomía, R. A. (2010). *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* (Vol. 63). Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472010000200020](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472010000200020)
- V. Griguol, M. León-Camacho, & I.M. Vicario. (2007). Revisión de los niveles de ácidos grasos trans encontrados en distintos tipos de alimentos. *Grasas y Aceites*, 58(1), 87–98. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/2457/1/Trans.pdf>
- Vicente, J., de Souza Cezarino, T., Pereira, L. J. B., da Rocha, E. P., Sá, G. R., Gamallo, O. D., ... Garcia-Rojas, E. E. (2017). Microencapsulation of sachu inchi oil using emulsion-based delivery systems. *Food Research International*, 99, 612–622. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.039>
- Wang, S., Zhu, F., & Kakuda, Y. (2018). Sachu inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. *Food Chemistry*, 265(April), 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- Xiomara Salazar Perdomo, J. (n.d.). *MÉTODOS DE MICROENCAPSULACIÓN CON MATERIAL DE NÚCLEO DE FRAGANCIAS: UNA REVISIÓN*. Recuperado de

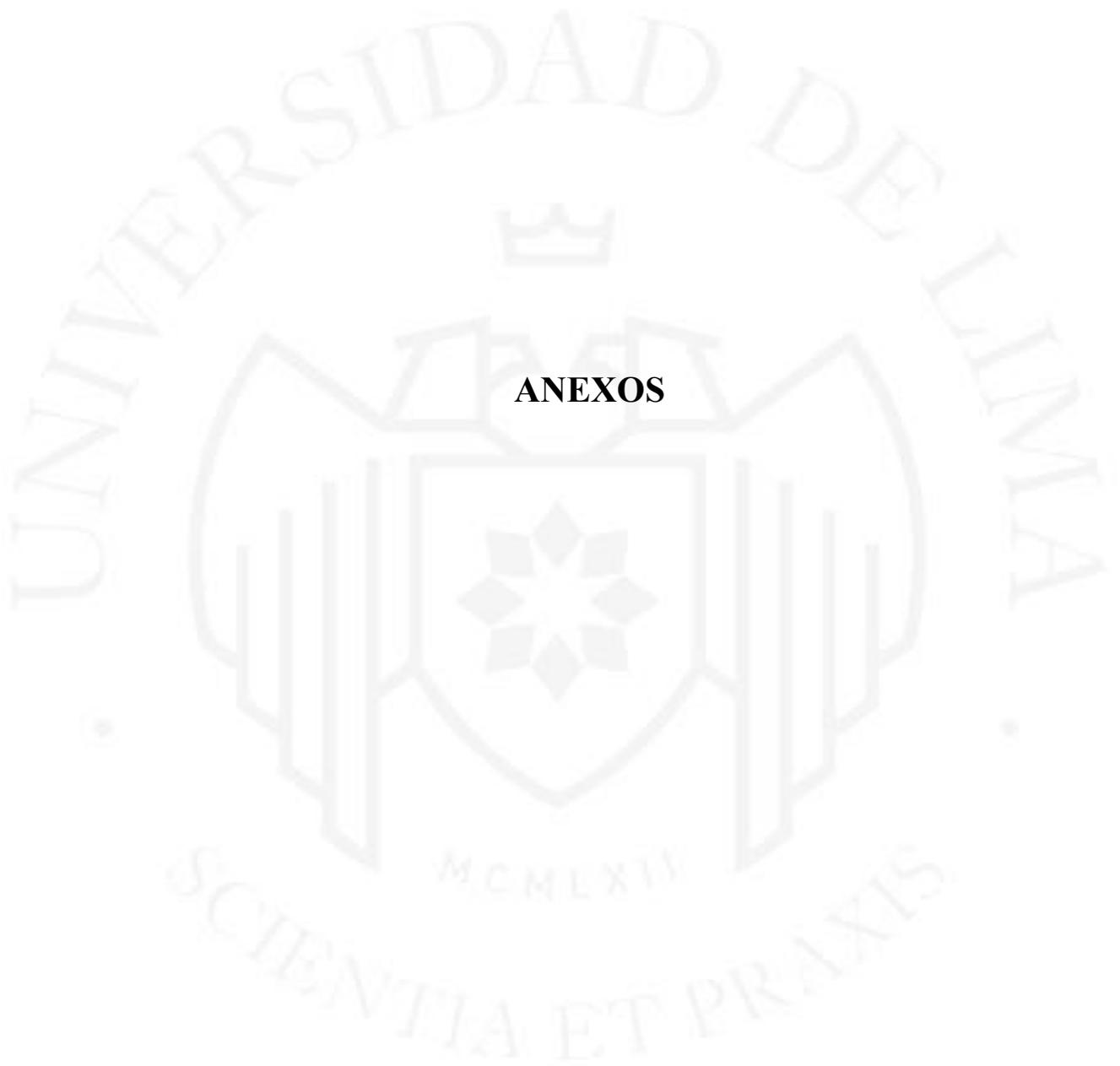
<https://saintgermain.com.co/wp-content/uploads/2017/06/Microencapsulación-de-fragancias.pdf>

Zuleta, E. C., Rios, L. A., & Benjumea, P. N. (2012). Oxidative stability and cold flow behavior of palm, sacha-inchi, jatropha and castor oil biodiesel blends. *Fuel Processing Technology*, 102, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.04.018>

*Introducción Microencapsulación para aplicaciones textiles*. (n.d.). Recuperado de [http://www.revistasice.info/cachepdf/BICE\\_2768\\_91-96\\_\\_E83E2BC8FB21C3DA277E351033FA78F8.pdf](http://www.revistasice.info/cachepdf/BICE_2768_91-96__E83E2BC8FB21C3DA277E351033FA78F8.pdf)

Materiales termorreguladores. Policondensación interfacial de. (n.d.). Recuperado de <http://studylib.es/doc/6551956/materiales-termorreguladores.-policondensación-interfacia>.

**ANEXOS**



## Anexo 1: Primera visita técnica realizada a los productores sacha inchi Huayllabamba - Rodríguez de Mendoza – departamento de Amazonas en diciembre del 2018

La exposición se llevó a cargo de la Dra. Nancy Chasquibol, coordinadora general del proyecto N° 020-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE y los integrantes del proyecto Rafael Alarcón y Juan Carlos Yacono



Asistentes del primer taller técnico en el Consejo Provincial de la provincia de Rodríguez de Mendoza - Amazonas



**Anexo 2: Sacha inchi *Plukenetia huayllabambana* de la provincia de Rodríguez de Mendoza departamento de Amazonas**



## Anexo 3: Base de datos ProQuest y Scopus

Buscador: Microencapsulation sachá inchi oil

The screenshot shows the ProQuest Central search results page. At the top, there is a navigation bar with 'ProQuest Central' and options like 'Búsqueda básica', 'Búsqueda avanzada', 'Publicaciones', 'Examinar', and 'Cambiar bases de datos'. Below this, there is a search bar and a list of search actions: 'Modificar búsqueda', 'Búsquedas recientes', and 'Guardar búsqueda/alerta'. The main content area shows a list of search results. The first result is highlighted and expanded, showing the title 'Microencapsulación de aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante secado por aspersión' and its English translation 'Microencapsulation of oil sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) by spray drying'. Below the title, the authors 'Alex Pastuña-Pullutasig, Orestes López-Hernández, Alexis Debut, Andrea Vaca, Eduardo Rodríguez-Leyes, Roxana Vicente, Víctor Gonzalez, María González-Sanabia, Fausto Tapia-Hernández' and the journal 'Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas; Bogota Tomo 45, N.º 3, (2016): 422-437.' are listed. The second and third results are also visible in a table format below.

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Effects of the Emulsion Composition on the Physical Properties and Oxidative Stability of Sachá Inchi (Plukenetia volubilis L.) Oil Microcapsules Produced by Spray Drying	Sanchez-Reinoso, Z., Gutiérrez, L.-F.	2017	Food and Bioprocess Technology 10(7), pp. 1354-1366	7
2 Microencapsulation of sachá inchi oil using emulsion-based delivery systems	Vicente, J., de Souza Cezarino, T., Pereira, L.J.B., (...), de Carvalho, M.G., Garcia-Rojas, E.E.	2017	Food Research International 99, pp. 612-622	4
3 Innovative strategy based on combined microencapsulation technologies for food application and the influence of wall material composition	Fadini, A.L., Alvim, I.D., Ribeiro, I.P., (...), Chaves, F.C.M., Rodrigues, R.A.F.	2018	LWT - Food Science and Technology 91, pp. 345-352	2

# Buscador: sachá inchi Rancimat

Seleccionar 1-4 0 entradas seleccionadas

Citar Enviar por correo electrónico Imprimir Guardar

1  **Lipid Research; Studies from Ningbo University Yield New Information about Lipid Research (W/O Nano-Emulsions with Olive Leaf Phenolics Improved Oxidative Stability of Sacha Inchi Oil)**  
**Health & Medicine Week; Atlanta** [Atlanta]01 June 2018: 4617.  
 ...to prepare W/O nano-emulsions of Sacha Inchi oil (SIO, containing more than 90...  
 ...Phenolics Improved Oxidative Stability of Sacha Inchi Oil. European Journal of...  
 ...Stability of Sacha Inchi Oil). Health & Medicine Week. June 1, 2018; p 4617. ...

Detalles Texto completo Vista ▾

2  **Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Characterization of Argentinean Chia Seed Oil**  
 Ixtaina, Vanesa Y; Mattea, Facundo; Cardarelli, Damián A; Mattea, Miguel A; Nolasco, Susana M; et al..  
**JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society; Champaign** Tomo 88, N.º 2, (Feb 2011): 289-298.  
 ...results have been found in other vegetable oils, such as Sacha Inchi seeds from...  
 ...with CO2 of similar oils like Sacha Inchi oil [7]. In this work an increase in...  
 ...that reported for Sacha Inchi oil [7] (4.4, 1.7, 14.7 and 16.7 g oil/kg CO2 at...

Resumen/detalles Texto completo Texto completo - PDF (708 KB) Citado por (3) Referencias (32) Vista ▾

3  **Physicochemical Properties of Acer truncatum Seed Oil Extracted Using Supercritical Carbon Dioxide**  
 Hu, Peng; Xu, Xuebing; Yu, Liangli. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society; Champaign** Tomo 94, N.º 6, (Jun 2017): 779-786.

Resumen/detalles Texto completo - PDF (499 KB) Vista ▾

4  **Evaluation of the Stability of Polymeric Materials Exposed to Palm Biodiesel and Biodiesel-Organic Acid Blends**  
 Baena, Libia M; Zuleta, Ernesto C; Calderón, Jorge A. **Polymers; Basel** Tomo 10, N.º 5, (2018): 511.

Resumen/detalles Texto completo - PDF (6 MB) Vista ▾

Scopus

Search Sources Alerts Lists Help ▾ SciVal ▾ Karen Iparraquirre Chipana ▾ ☰

## 1 document result

View secondary documents View 2 patent results View 20 Mendeley Data

TITLE-ABS-KEY ( rancimat AND sachá AND inchi )

! Search tips

Show results for: TITLE-ABS-KEY ( rancidity AND sachs AND inchi )

Edit Save Set alert Set feed

Search within results...

**Refine results**

Limit to

Access type  (1) >

Year

Analyze search results Show all abstracts Sort on: Cited by (highest) ▾

All ▾ Export Download View citation overview View cited by Save to list

	Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1	W/O Nano-Emulsions with Olive Leaf Phenolics Improved Oxidative Stability of Sacha Inchi Oil	Liu, L., Jin, Z., Wang, M., (...), Wang, Z., Liu, L.	2018	European Journal of Lipid Science and Technology 120(5),1700471	9

View abstract ▾ View at Publisher Related documents

## Anexo 4: Aceites vegetales ofrecidos en el mercado nacional

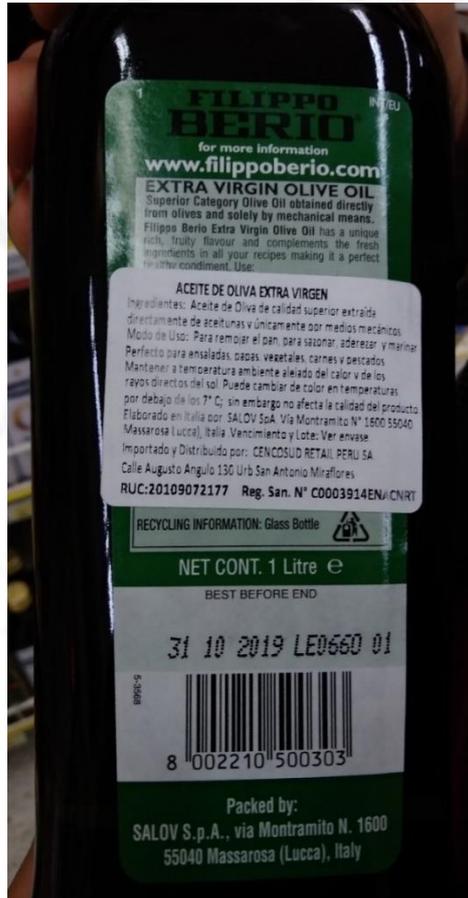
### Aceites de oliva











## Aceites de sacha inchi

