

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“EVALUACIÓN DEL ENCAPSULANTE Y TEMPERATURA DE
SECADO EN EL MICROENCAPSULADO DE ACEITE DE SACHA
INCHI (*Plukenetia volubilis* L.)”**

Presentada por:

EDUARDO VLADIMIR GUEVARA GUEVARA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima - Perú

2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**“EVALUACIÓN DEL ENCAPSULANTE Y TEMPERATURA DE
SECADO EN EL MICROENCAPSULADO DE ACEITE DE SACHA
INCHI (*Plukenetia volubilis* L.)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

EDUARDO VLADIMIR GUEVARA GUEVARA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Eduardo Morales Soriano

PRESIDENTE

Mg. Sc. Gloria Pascual Chagman

ASESOR

Mg. Sc. Carlos Elías Peñafiel

MIEMBRO

Mg. Sc. Beatriz Hatta Sakoda

MIEMBRO

DEDICATORIA

La siguiente tesis se la dedico a mi familia que gracias a su apoyo he podido concluir satisfactoriamente esta etapa de mi desarrollo profesional. A mis padres y hermanos por su apoyo y confianza. Gracias por apoyarme a cumplir los objetivos como persona y profesional, a mis padres por haber forjado como persona, mucho de mis logros se los debo a ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que hicieron realidad la elaboración de este proyecto de investigación como son la Universidad de Lima y la Universidad Nacional agraria la Molina, así como también a docentes a lo largo de mi desarrollo profesional por el apoyo brindado para el desarrollo de mi tesis y mi familia por el gran apoyo en cada etapa de mi vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Aceite de sachá inchi	3
2.1.1. Extracción de aceite de sachá inchi	3
2.1.2. Caracterización fisicoquímica del aceite de sachá inchi	6
2.2 Micro encapsulamiento de alimentos.....	7
2.2.1. Sustancias Encapsulantes	8
2.2.2. Ventajas del microencapsulado	8
2.2.3. Agentes utilizados para la microencapsulación.....	9
2.2.4. Técnicas de encapsulamiento	12
2.3 Antioxidantes	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Lugar de ejecución.....	14
3.2 Materia prima e insumos.....	14
3.2.1. Materia prima	14
3.3 Materiales, reactivo y equipos	14
3.3.1. Materiales	14
3.3.2. Reactivos	15
3.3.3. Equipos poner descripción, marca, a los equipos.....	15
3.4 Métodos de Análisis.....	15
3.5 Metodología experimental	16
3.5.1. Caracterización del aceite de sachá inchi	16
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1 Caracterización del Aceite de Sachá Inchi.....	19
4.2 Evaluación de la temperatura y efecto encapsulante	21
4.3 Caracterización fisicoquímica del aceite microencapsulado	24
4.3.1. Resultados para el índice de peróxido del aceite microencapsulado.....	24
4.3.2. Resultados para el índice de ácidos del aceite microencapsulado.....	25
4.4 Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado	26

4.4.1. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina como material de microencapsulación	26
4.4.2. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material microencapsulación.....	28
4.4.3. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulación	29
V. CONCLUSIONES.....	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
VIII. ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de la etapa extracción y micro encapsulamiento.....	17
Tabla 2. Esquema experimental de la obtención de un micro encapsulado.	18
Tabla 3. Análisis fisicoquímicos	19
Tabla 4. Extrapolación del pi y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi p. volubilis microencapsulado sin material de pared en el stabnet a 25°C	20
Tabla 5. Rendimiento y humedad de las microcápsulas de las muestras de sachá inchi	22
Tabla 6. Análisis de varianza para humedad	23
Tabla 7. Análisis de varianza para rendimiento	24
Tabla 8. Resultados para el índice de peróxido.....	24
Tabla 9. Resultados para el índice de acidez del aceite microencapsulado.....	25
Tabla 10. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina como material de microencapsulación.	27
Tabla 11. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulación	28
Tabla 12. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulado	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño experimental para el proceso de evaluación del rendimiento en la extracción de aceite de sachá inchi.....	4
Figura 2. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación.....	13
Figura 3. Flujograma del proceso de microencapsulado del aceite de sachá inchi	16
Figura 4. Extrapolación del p_i y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi p. volubilis microencapsulado sin material de pared en el stabnet a 25°C	20
Figura 5. Rendimiento y humedad de las microcápsulas de las muestras de sachá inchi ..	22
Figura 6. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina como material de microencapsulación.	27
Figura 7. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulación.....	29
Figura 8. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina al 50% y proteína concentrada de suero de leche al 50%	30

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Balanza de humedad sartorius	40
Anexo 2.	Medición de humedad de la muestra	41
Anexo 3.	Mezcladora de rotor y estator	42
Anexo 4.	Proceso de secado por pulverización y encapsulación	43
Anexo 5.	Determinación de la estabilidad a la oxidación del aceite	44

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del encapsulante y temperatura de secado en la obtención de un microencapsulado de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis L*). Se obtuvieron muestras de aceite mediante el proceso de prensado en frío, las cuales se usaron en el proceso de encapsulación. Para el encapsulado se usó la maltodextrina, proteína concentrada de suero de leche y una combinación de ambos. El encapsulante que aportó valores óptimos fue aquel en el que se utilizó la maltodextrina con proteína concentrada de suero de leche a una temperatura de 150°C, humedad de 3.84 % ± 0.05 y rendimiento de aceite en el encapsulado de 39.3 % ± 1.11 respectivamente y, un tiempo de vida útil extrapolada a 25°C de 1589 h equivalente a 0.18 años.

Palabras clave: microencapsulante, temperatura de secado, Sachá Inchi.

SUMMARY

The objective of the study was to evaluate the effect of the encapsulant and drying temperature in obtaining a microencapsulated sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L), was evaluated. Oil samples were obtained through the cold pressing process, which were used in the encapsulation process. For encapsulation, maltodextrin, concentrated whey protein and a combination of both were used. The encapsulant that provided optimal values was the one in which maltodextrin was used with concentrated whey protein at a temperature of 1500C, humidity of $3.84\% \pm 0.05$ and oil yield in the encapsulation of $39.3\% \pm 1.11$ respectively, and a useful life time extrapolated at 25 ° C from 1589 h equivalent to 0.18 years.

Keywords: microencapsulant, drying temperature, Sacha Inchi.

I. INTRODUCCIÓN

El Sacha Inchi es un cultivo de la diversidad biológica nativa de la región amazónica cuyo consumo se remonta a la época preíncea. Sin embargo, la promoción de este producto, más en el mercado internacional que en el nacional, es un proceso que se ha iniciado solo en los últimos cinco años, como insumo para la industria alimentaria, con muchas expectativas y crecientes volúmenes de ventas en los mercados de la Unión Europea y Estados Unidos. En el país, la región San Martín es una de las principales zonas productoras, representando este cultivo una actividad que podría resultar prioritaria para su desarrollo económico y social. Debido al impulso del biocomercio en el país, a comienzos del 2000, instituciones de los ámbitos nacional e internacional, públicas y privadas, se interesaron por revalorar productos de la biodiversidad como el sachá inchi. Sus objetivos eran conservar el recurso, sobre todo por su valor genético, y darle un uso económico que considerará la situación de los actores que participan en todo el proceso, especialmente de las comunidades responsables de su cultivo (Vela 1994).

Además, dentro del marco del desarrollo del proyecto PNIA N°020-2015-INIA/UPSM/SI/IE, desarrollado en la Universidad de Lima en coordinación con la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyo nombre “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” se quiere promover el cultivo de sachá inchi, así como también, el desarrollo de alimentos saludables aprovechando las características nutricionales y funcionales que pueden tener las microcápsulas obtenidas del presente proyecto.

Dentro de los componentes del sachá inchi principalmente encontramos: proteínas, aminoácidos, ácidos grasos esenciales (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) en contenidos significativamente elevados, respecto de semillas de otras

oleaginosas (maní, palma, soya, maíz, colza y girasol). Investigaciones recientes realizadas con aceites omegas y vitamina E indican la importancia nutricional y terapéutica de su consumo para el control de radicales libres y una serie de enfermedades que estos originan en el organismo humano (Arévalo 2000).

Asimismo, una microcápsula consiste en una membrana semi-permeable, esférica, delgada y fuerte alrededor de un centro sólido/líquido. Los materiales que se utilizan para el encapsulamiento pueden ser gelatina, grasas, aceites, goma arábiga, alginato de calcio, ceras, almidón de trigo, maíz, arroz, papa, nylon, ciclodextrina, maltodextrina, caseinato de sodio, proteína de lactosuero o proteína de soya.

Las aplicaciones de la microencapsulación se dirigen a la industria, más específicamente a la industria textil, metalúrgica, química, alimenticia, cosméticos, farmacéutica y medicina. Dentro de las técnicas utilizadas para microencapsular se encuentran el secado por aspersión, secado por enfriamiento, secado por congelamiento, coacervación y extrusión. Las sustancias que se microencapsulan pueden ser vitaminas, minerales, colorantes, prebióticos, probióticos, sabores nutraceúticos, antioxidantes, olores, aceites, enzimas, bacterias, perfumes, drogas e incluso fertilizantes (Vela 1994).

Por lo antes mencionado, la presente investigación tuvo como objetivo general evaluar el efecto del encapsulante y temperatura de secado en la obtención de un microencapsulado de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis L*). En cuanto a los objetivos específicos, estos fueron caracterizar el aceite de sacha inchi en: Índice de Acidez, índice de peróxido, índice de refracción, densidad y evaluación del tiempo de vida, evaluar el efecto del encapsulante y la temperatura de secado en el microencapsulado de aceite de sacha inchi y determinar el porcentaje de rendimiento del aceite en el microencapsulado y el análisis de tiempo de vida de la mejor microcápsula obtenida.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ACEITE DE SACHA INCHI

Las semillas de sachá inchi *Plukenetia volubilis* L. pertenece a la biodiversidad peruana, sus aceites contienen un alto porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados, considerados de gran importancia para la salud humana, debido a que previenen enfermedades cardiovasculares, hipertensión arterial, entre otros (Alarcón *et al.* 2019). Asimismo, el aceite de sachá inchi contiene 51% de Omega 3, 34 % de Omega 6, 8% de Omega 9 y 1 % de Omega 7. Obtenido de 100% semilla de sachá inchi prensado en frío (ITP-Laboratorio 2007). Este alto porcentaje de ácido linolénico lo hace una de las fuentes más abundante del mundo. Gracias al método de extracción aplicado, este aceite mantiene intactas todas las características que posee la semilla.

Los Omega 3, EPA y DHA se encuentran en las algas, algunos peces de aguas frías y "el organismo humano sintetiza por procesos de elongación los ácidos grasos EPA y DHA a partir de los ácidos grasos esenciales linoleico y linolénico". El organismo al asimilar los ácidos grasos esenciales linoleico y alfa linolénica los elonga, convirtiendo la cadena del Linoleico de 18 átomos de carbono con dos dobles enlaces a 20 átomos con 5 dobles enlaces y produce el ácido graso Eicosapentaenoico (EPA) y la cadena del alfa linolénico la elonga de 18 átomos de carbono con 3 dobles enlaces a 22 átomos con 6 dobles enlaces y produce el ácido graso Docosahexaenoico (DHA); estos ácidos grasos son denominados Omega 3 (Arévalo 1995).

2.1.1. Extracción de aceite de sachá inchi

Desde el año 1988 el Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA) en la Estación Experimental Agraria "El Porvenir" - Tarapoto; la subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología inicia las investigaciones relacionadas al cultivo del sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), con la colección, conservación y evaluación de 06 ecotipos. Desde entonces investigadores de esta Estación Experimental vienen realizando actividades relati-

onadas a la colección, caracterización, evaluación y conservación de germoplasma; siendo necesario ampliar el campo de estudio abarcando procesos de industrialización, métodos de conservación, etc. (Larico 2000). Larico (2000), menciona a continuación que cada una de las operaciones unitarias necesarias en el procesamiento de la extracción de aceite de sachá inchi.

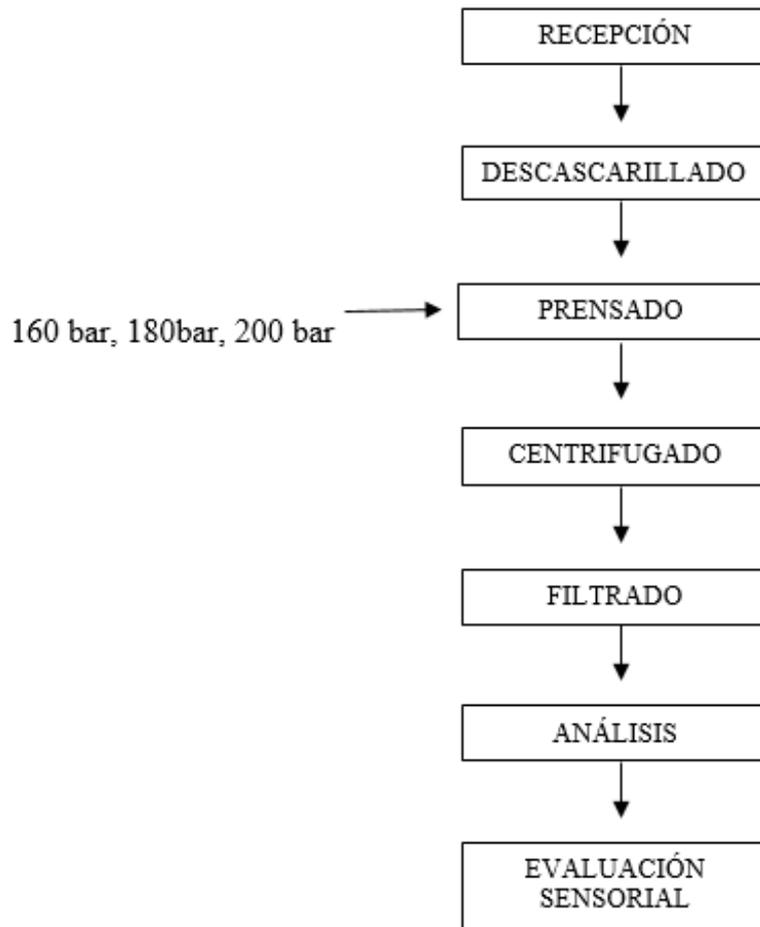


Figura 1. Diseño experimental para el proceso de evaluación del rendimiento en la extracción de aceite de sachá inchi.

Fuente: Larico (2000).

- Recepción: se desarrolla mediante la evaluación de la materia prima para un pesado a fin de obtener los rendimientos.
- Descascarillado: se desarrolla mediante el equipo de descascarillado, para posteriormente pasar a un proceso de selección de los granos de sachá inchi descascarillados, la selección posterior al descascarillado se realiza de manera manual.

- Prensado: se desarrolla a través de un a prensa hidráulica, en la cual el presente autor evaluó 3 presiones diferentes (160 bar, 180 bar y 200 bar).
- Centrifugado: se realiza con la finalidad de separar algunas de las partículas que puedan intervenir en alguna otra característica del aceite.
- Filtrado: con la finalidad de purificar el aceite. Se realiza tanto análisis fisicoquímicos y organolépticos.

El aceite crudo de sacha inchi obtenido con partículas finas en suspensión se sometió a un filtrado utilizando una bomba de vacío y de esa manera se logró obtener un aceite más puro y límpido. Determinación proximal de la semilla de sacha inchi se realizaron usando la metodología de la Association of Official and Analytical Chemists (A.O.A.C. 2007).

En la actualidad existen múltiples métodos de extracción de aceite provenientes de las semillas de Sacha Inchi, depende del método usado para obtener mejor cantidad, calidad y contenidos grasos, así como sus contenidos dietéticos y volumen de antioxidantes (Aranda *et al.* 2019).

Los métodos más comunes son:

- a. Método mecánico: Prensado de semilla
- b. Métodos químicos: Uso de solventes y fluidos supercríticos.

El prensado en frío es un proceso mecánico libre de químicos para extraer aceite de semillas y nueces. Este método de extracción de aceite es una alternativa a la extracción con hexano, que es un método utilizado para muchos aceites convencionales y que generalmente se usa para lograr altos volúmenes de producción y productividad. La temperatura alcanzada durante el prensado depende de la dureza de la nuez o semilla. Cuanto más dura sea la nuez o semilla, se requerirá mayor presión para la extracción del aceite, lo cual creará mayor fricción y mayor calentamiento. Durante el prensado no se aplica ningún calor externo (Larico 2000).

Para lograr una óptima extracción del aceite a partir de sus semillas, es importante que la temperatura no sea superior a los 50°C durante el proceso y mantener la conservación de los ácidos grasos y antioxidantes los cuales son las características fisicoquímicas más buscadas del aceite. Según investigaciones realizadas en EEUU el cual considera al Perú como el principal proveedor de esta semilla en el mundo, concluyeron que el aceite de sacha inchi es el más recomendado para el consumo en la dieta alimenticia con respecto a otros aceites vegetales, ya que está compuesto por ácidos grasos mono y polinsaturados (Omega 3), además de ácidos grasos como el linolénico (w-6) y el linolénico (w-3), los cuales son de suma importancia en la salud debido a su aporte en las funciones del cerebro, y del mismo modo en el crecimiento y desarrollo de las personas que lo consumen (Hoyos y Sánchez 2019).

El proceso de extracción más común actualmente es de manera manual, teniendo en cuenta las etapas como son: el secado, el pelado de la cascara de la semilla y seleccionar si la semilla es cruda, normal o quemada, previniendo que la temperatura ocasionada por este proceso no exceda el límite establecido para no alterar su valor nutricional. El prensado es un proceso que no usa químicos en la extracción del aceite en las semillas y nueces, este procedimiento es una alternativa que los pequeños y grandes productores pueden elegir en comparación con la técnica de hexano, la cual es usada en varios tipos de aceites, con la finalidad de obtener alta productividad (Gutiérrez *et al.* 2017).

2.1.2. Caracterización fisicoquímica del aceite de sacha inchi

El aceite obtenido presentó un color amarillo pálido y un aroma poco fuerte a sacha inchi. El aceite crudo obtenido es de color amarillo claro con medidas espectrofotométricas de 2.86783u. equivalentes a unidades de color rojo lovibond, medido a temperatura ambiente (Mehlembacher 1979). Además, según Saldaña (2018) las características fisicoquímicas encontradas en una fuente INIA es una densidad de 0.93 y un índice de refracción de 1.48 a 20 °C, con un índice de peróxido de 1.25 meqO₂/Kg aceite.

El índice de iodo 189(g de iodo/100g de grasa) encontrado en el aceite de sacha inchi crudo como refinado se acerca al valor del índice de aceites marinos, como el de la sardina 189-193 (g de I/g grasa) reportado por Mehlembacher (1979). Este índice se explica por la alta

insaturación del aceite de sacha inchi, pues tiene una alta cantidad de ácidos grasos polinsaturados. Debido a su alto índice de iodo, este aceite tiene propiedades secantes.

El índice de saponificación del aceite de sacha inchi es de 229.583 mg KOH/ g grasa, y está relacionado con el peso molecular medio de la grasa. Los Índices de refracción y peso específico de algunas grasas y aceites, el aceite de sacha inchi contiene ligeramente un alto índice de refracción (1.48) en comparación a los diferentes aceites y grasas. Bailey (1961) menciona que los índices de refracción tanto de grasas como de ácidos grasos aumentan conforme aumenta la longitud de las cadenas de hidrocarburos y el número de enlaces dobles de las cadenas, lo que podría indicar que el aceite de sacha inchi es altamente insaturado y que existe gran cantidad de cadenas de ácidos grasos largos, esto se corrobora con los resultados encontrados en la composición de ácidos grasos.

El índice de peróxido es de gran importancia y de interés práctico para el reconocimiento del comienzo y progreso de la descomposición auto oxidativa y con ello, las posibilidades de tratamiento y predecir la capacidad de conservación o estabilidad de las grasas (Mehlembacher 1979). Asimismo, es el responsable de determinar cuánto peróxido de hidrogeno se encuentra en la muestra aportando la medición de la oxidación de los ácidos grasos insaturados, estableciendo la Norma Técnica Peruana el valor de 10 meqO₂/Kg de aceite (Álvarez *et al.* 2018). Por otra parte, En el Codex alimentarios de 1992, se acepta un índice de peróxido máximo de 10 miliequivalentes de oxígeno activo por Kg de aceite, en este aceite se puede observar que el nivel de rancidez es bajo, a pesar de la alta insaturación.

2.2 MICRO ENCAPSULAMIENTO DE ALIMENTOS

La encapsulación se puede definir como una técnica por la cual gotas líquidas, partículas sólidas o gaseosas, son cubiertas con una película polimérica porosa conteniendo una sustancia activa (Araneda y Valenzuela 2009), esta membrana, barrera o película está generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (Luo y Pozrikidis 2009). Se utiliza de igual manera el término de microencapsulación en la industria alimentaria, cuando se encapsulan sustancias de bajo peso molecular o en pequeñas cantidades, aunque los dos términos, encapsulación y microencapsulación, se emplean indistintamente (Araneda y Valenzuela 2009).

2.2.1. Sustancias Encapsulantes

Los procesos de encapsulación fueron desarrollados entre los años 1930 y 1940 por la National Cash Register para la aplicación comercial de un tinte a partir de gelatina como agente encapsulante (Yañez *et al.* 2002); su comienzo en los productos de microencapsulación se inició en 1950 en las investigaciones dentro de la presión-sensitiva de cubierta para la elaboración de papel destinado a copias (Madene *et al.* 2006). Asimismo, la microencapsulación de aceites esenciales se constituye en una tecnología interesante utilizada en la industria de alimentos, al prevenir su volatilización y extender la vida útil de estos componentes biológicos (Colin *et al.* 2009).

Dos experimentos de emulsificación, composición y condiciones de homogenización fueron optimizados para la preparación de una emulsión alimenticia para ser secada por aspersión. El tamaño medio de las gotas de aceite puede estar influenciado por la composición de la emulsión y por la presión de homogenización, pero no por el número de fases. Con un tamaño medio de las gotas de aceite por debajo de 2 μm y una máxima viscosidad de 179 mPa, emulsiones apropiadas podrían ser producidas con un 50% de aceite y 2,2% de azúcar de remolacha. Parámetros fisicoquímicos como la morfología de la partícula, tamaño de la partícula y generalmente grasa extraíble, refleja una buena eficiencia en la microencapsulación e indica una buena estabilidad oxidativa (Drusch 2007).

2.2.2. Ventajas del microencapsulado

Drusch (2007), menciona que algunas de las principales ventajas del proceso de microencapsulado son:

- Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad), entre otros.
- El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.

- El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- Estabilización de principios activos inestables.
- Transformación de líquidos en sólidos (Astray *et al.* 2009).

Pajaro (2017), deduce que la microencapsulación tiene como objetivo evitar que algún proceso afecte de manera directa o indirecta la composición química y sus propiedades. Asimismo, la microencapsulación se define como un conjunto de actividades que a través de sustancias bioactivas tales como sabores, vitaminas o aceites esenciales son incluidas dentro de una lámina con el propósito de detener su pérdida. Además, la microencapsulación protege y alarga la vida útil del material activo impidiendo que tengan contacto con las condiciones ambientales. Por otro lado, existen diferentes técnicas para la microencapsulación de materiales, donde los métodos se dividen en diferentes tipos como químico, fisicoquímico y físico mecánico (Cuevas *et al.* 2019)

2.2.3. Agentes utilizados para la microencapsulación

El polivinil alcohol un polímero hidrofílico que puede ser empleado como material formador de pared en capsulas, también membranas de nylon han sido utilizadas para encapsular y atrapar enzimas como: la pepsina, pectina esterasa para la clarificación de jugos, la invertasa para la inversión de sacarosa. Otro agente utilizado en la microencapsulación es el quitosano, su uso es bastante amplio en la industria de alimentos, se destaca como antioxidante, antimicrobiano, recuperador de proteínas solubles a partir de residuos de surimi, cubiertas para alimentos comestibles, renina para coagulación de leche y caseínas para formar cápsulas artificiales (Yañez *et al.* 2002).

El alginato es un polímero extraído a partir de algas y utilizado como un agente encapsulante; tiene como características: no tóxico, biocompatible, y facilidad de solubilización (por Ca⁺⁺ secuestrante) (Nazzaro *et al.* 2009). Un ejemplo de los alginatos es el de calcio que ha sido ampliamente utilizado para la inmovilización de bacterias ácido-lácticas (BAL), lo anterior debido a la facilidad de manejo, naturaleza no tóxica y bajo costo. Estudios han mostrado que cultivos inmovilizados de alginato de calcio son los mejores protectores, esto ha sido

evidente al incrementarse la sobrevivencia de bacterias bajo diferentes condiciones de ensayo que cuando las bacterias fueron probadas en el estado no encapsulado (Sozer y Kokini 2009).

Los Eudragit son un grupo de polímeros derivados del ácido metacrílico que están disponibles en diferentes formas iónicas. Son altamente solubles debido a su valor de pH alcalino, y por la neutralización de los grupos carboxilo con la respectiva formación de la sal, y, por lo tanto, exhibiendo el carácter de polielectrolito aniónico en solución. Diferentes tipos de Eudragit se han utilizado en la elaboración de micropartículas, permitiendo la liberación de principios activos a nivel intestinal, evitando la inactivación de fármacos en el estómago, por ejemplo, en la preparación de micropartículas que permiten la administración oral de péptidos y proteínas (Sozer y Kokini 2009).

A. Lípidos

Dentro de los principales agentes Encapsulantes de carácter lipídico están: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados como el aceite de palma, algodón y soya; son excelentes formadores de películas capaces de cubrir las partículas individuales, proporcionando una encapsulación uniforme (Yañez *et al.* 2002).

B. Carbohidratos

Son extensivamente 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 (Madene, *et al.* 2006; Murúa *et al.* 2009). Por ejemplo, los frutos como higo son considerados como un material vegetal, que según el proceso de oxidación va en crecimiento, la actividad de los sistemas enzimáticos antioxidantes reduce (Manzanare *et al.* 2020).

C. Almidón

Almidones basados en ingredientes (almidones modificados, maltodextrinas, β -ciclodextrinas) son muy utilizados en la industria alimenticia (Madene *et al.* 2006; Murúa, *et al.* 2009); dentro de los almidones más importantes se destacan el de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), tapioca (*Manihot esculenta*) (Yañez *et al.* 2002).

El almidón nativo y modificado de tapioca, y maltodextrina ha sido investigado por su habilidad de ser utilizado como material de pared para la encapsulación de β -caroteno. Tiene amplia distribución de tamaño, comparado con el almidón nativo y maltodextrina (Astray *et al.* 2009).

D. Maltodextrina

Se elaboran por métodos de hidrólisis ácida o enzimática de los almidones. En la selección de materiales de pared para encapsular, la maltodextrina es una buena solución entre el costo y la efectividad; 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 (Astray *et al.* 2009), está disponible en diferentes pesos moleculares y son extensivamente utilizados en la industria de alimentos (Madene *et al.* 2006; Sáenz *et al.* 2009).

E. Gomas

Son generalmente 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 (Madene *et al.* 2006; Murúa *et al.* 2009). Como ejemplos se tienen goma de algarrobo, guar, goma de tamarindo, goma gelana y xantana (Morkhade y Joshi 2007); una aplicabilidad ha sido en inmovilización de células bacterianas, para lo cual se han utilizado alginatos y carragenina (McMaster *et al.* 2005). La goma arábica, un polímero natural biodegradable ha sido utilizado como una matriz para encapsular enzimas como la endoglucanasa producida por la bacteria *Thermomonospora*. La endoglucanasa mostró un cambio en la temperatura óptima (50-55

°C) y un incremento considerable en el pH y estabilidad comparado con la enzima libre, además también protegió la actividad de la enzima en presencia de detergentes realzando la vida útil. Mezclas de goma arábiga y maltodextrinas también han mostrado promesa como transportadores de sólidos, proporcionando viscosidad por ejemplo en la microencapsulación de aceite de cardamomo por secado por aspersión (Bertolini *et al.* 2001; McMaster *et al.* 2005; Madene *et al.* 2006).

F. Proteínas

Alimentos hidrocoloides son ampliamente utilizados como microencapsulante, por ejemplo: proteínas alimenticias como caseinato de sodio, proteína de lactosuero, aislados de proteína de soya (Madene *et al.* 2006; Murúa *et al.* 2009), ceras (Bertolini *et al.* 2001), gluten, grenetina (Yañez *et al.* 2002), caseína, soya, trigo (Madene *et al.* 2006) y gelatina (McMaster *et al.* 2005), este último utilizado por sus buenas propiedades de emulsificación, formación de películas, solubilidad de agua y biodegradabilidad. Además, elementos tales como la soya se consideran una fuente de proteína que actúa como barrera en la transferencia del dióxido de carbono y oxígeno, teniendo como resultado un incremento el uso como material de papel en la microencapsulación por la baja viscosidad (Manzanare *et al.* 2020).

2.2.4. Técnicas de encapsulamiento

Las técnicas de encapsulación pueden ser divididas en dos grupos: químicos y mecánicos (Madene *et al.* 2006). En la Figura 2 se observan los principales métodos que se utilizan para encapsular sustancias.

2.3 ANTIOXIDANTES

Son compuestos que inhiben o retrasan la oxidación de otras moléculas mediante la inhibición de la propagación de la reacción de oxidación. Los antioxidantes pueden clasificarse en naturales o sintéticos, estando estos últimos en desuso debido a estudios que les atribuyen efectos carcinógenos (Velioglu *et al.* 1998 mencionados por Martínez *et al.* 2000). Este hecho ha despertado un creciente interés en el estudio de los antioxidantes naturales entre los que se encuentran distintos compuestos fenólicos.

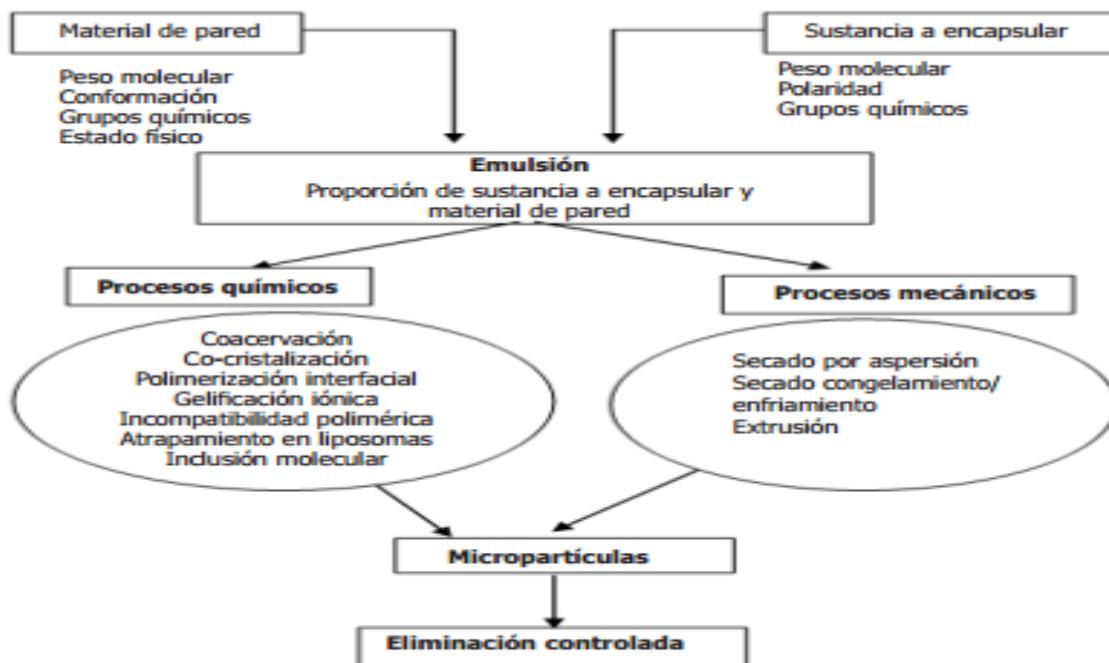


Figura 2. Ilustración esquemática de los diferentes procesos de microencapsulación

Fuente: Madene *et al.* (2006).

Los antioxidantes naturales son apreciados porque pueden ser usados en el diseño de alimentos benéficos para la salud (funcionales o nutraceuticos). La importancia de los antioxidantes es crucial para la salud, debido a su capacidad de neutralizar radicales libres (que contienen uno o más electrones desapareados), siendo responsables de muchas enfermedades degenerativas, cataratas, arterioesclerosis, muerte celular y cáncer, asimismo por su capacidad de eliminar y atrapar potencialmente a los electrófilos dañadores del ADN, metales tóxicos, hasta la inhibición de enzimas activadoras de precarcinógenos, hasta carcinógenos (Martínez *et al.* 2000).

Desde el punto de vista biológico, un antioxidante se define como una sustancia que, en concentraciones bajas respecto a las de un sustrato oxidable, puede retrasar o evitar su oxidación (Gutteridge y Halliwul 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

- Laboratorios Aceites y Grasa de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Lima
- Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. Materia prima

- Semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis L.*) procedente de la región de San Martín.
- Materiales de pared (Microencapsulante): Maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche.

3.3 MATERIALES, REACTIVO Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales

- Recipientes plásticos
- Embudo
- Vaso precipitado
- Papel tissue
- Matraz Erlenmeyer (250mL)
- Bureta
- Pipeta (1, 5 y 10mL) Balanza analítica
- Papel aluminio

- Baguetas
- Beakers (500mL)

3.3.2. Reactivos

- NaOH 0.1N
- Persulfato de potasio
- Fosfato monosódico

3.3.3. Equipos poner descripción, marca, a los equipos

- Viscosímetro Anton Para (Stanbinger SMV 3000)
- Refractómetro ABBE (Model 98)
- Potenciómetro (HANNA®)
- Rancimat (892 Professional Rancimat)
- Oxitexter (CDR OxiTester)
- Emulsionador TOPITEC® TOUCH
- Secador Spray Dray (BUTCHI)

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

- Ácidos Grasos Libres, índice de peróxidos, índice de yodo según la Legislación de Aceite de Oliva – European Commission Regulation 2011 N°61 (A.O.A.C. 2007).
- Análisis de Tocoferoles (A.O.A.C. 2007)., siendo este la evaluación de los niveles de vitamina E.
- pH: Mediante el método 981.12 (A.O.A.C. 2007).
- Acidez libre: Se seguirá la metodología recomendada por NTP 209.005. ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES, por ser un colorante lipofílico. Método de determinación de la acidez libre (Marfil 2008).

- Índice de Peróxido: Según la NTP 209.006. ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método de determinación del índice de peróxido (A.O.A.C. 2007).

3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. Caracterización del aceite de sachá inchi

Una vez extraído el aceite de sachá inchi en el proceso de prensado hidráulico en frío, con el fin de no dañar los ácidos grasos se realizaron los procesos detallados en la Figura 7.

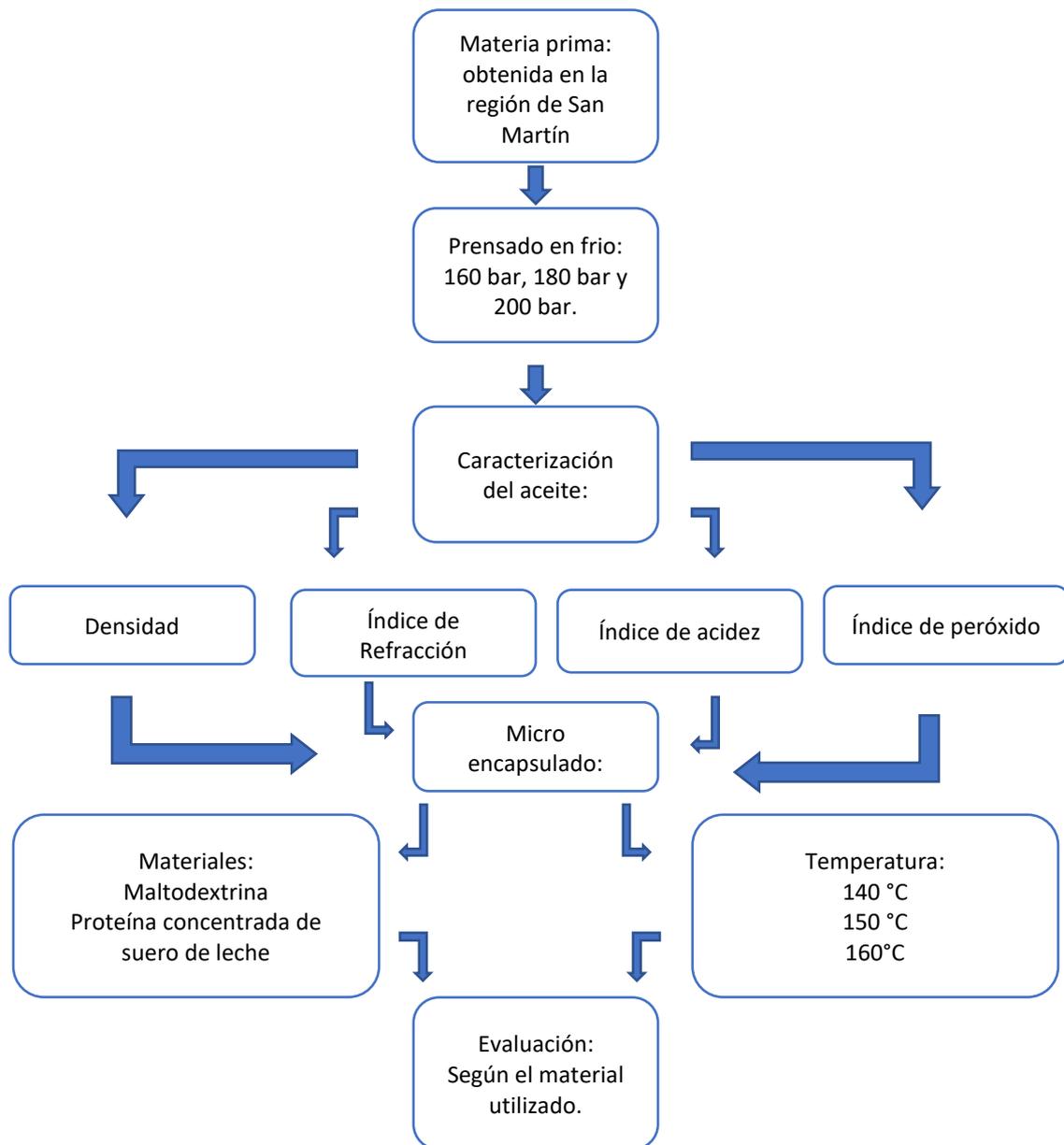


Figura 3. Flujograma del proceso de microencapsulado del aceite de sachá inchi

En la Figura 3, la materia prima utilizada fue semillas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) siendo tratadas a través de un proceso de prensado hidráulico en frío que permitió la preservación de ácidos grasos para posteriormente filtrar 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, 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 empleando como materiales maltodextrina, proteína concentrada de suero y la combinación de ambos a fin de una evaluación posterior del efecto de los materiales utilizados como microencapsulantes. Se desarrolló la descripción de las etapas del esquema experimental en la Tabla 1.

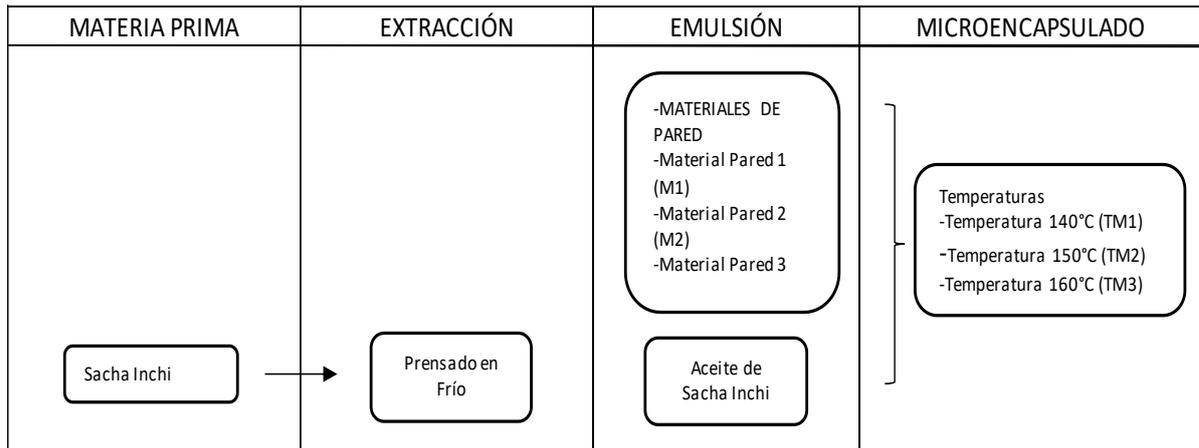
Tabla 1. Descripción de la etapa extracción y micro encapsulamiento

ETAPA	EXTRACCIÓN		MICROENCAPSULAMIENTO
	Aceite	Materiales de Pared	Micro encapsulado
OPERACIÓN	Prensado en Frío	Material de Pared	Micro encapsulamiento
TRATAMIENTOS	T1: Aceite	E1: Maltodextrina E2: Proteína de concentrada de suero E3: Maltodextrina + Proteína concentrada de suero	TM1: Temperatura 140°C TM2: Temperatura 150°C TM3: Temperatura 160°C
DESCRIPCIÓN	Extracción de aceite de sachá inchi mediante prensado en frío	Adición del material encapsulante y/o material de pared	Desarrollo del proceso de emulsificación con un material de pared a diferentes temperaturas de secado
OBJETIVO	Caracterización del Aceite de sachá inchi	Evaluar el efecto del material encapsulante y/o material de pared	Micro encapsulado de aceite
ANÁLISIS	Índice de Acidez Índice de Peróxido Evaluación de tiempo de vida (rancimat)		Índice de Acidez Índice de Peróxido Evaluación de tiempo de vida (rancimat)

Se desarrolló la caracterización de 1 variedad de aceite de sachá inchi de la región San Martín mediante los análisis de índice de acidez, índice de peróxido, índice de refracción, densidad y evaluación de tiempo de vida (R rancimat); posteriormente, se llevó a cabo la adición de materiales encapsulantes y/o materiales de pared como maltodextrina, proteína concentrada de suero de leche y una mezcla de ambas de iguales proporciones, posteriormente se llevó a

un secado por spray drive a diferentes temperaturas para obtener las microcápsulas. Una vez obtenido las microcápsulas se llevó a cabo los análisis previamente descritos, posteriormente se evaluó el tiempo de vida mediante oxidación acelerada para las microcápsulas que tengan los mejores índices, el procedimiento se desarrolla en la Tabla 2.

Tabla 2. Esquema experimental de la obtención de un micro encapsulado.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE SACHA INCHI

Se procedió al análisis fisicoquímico de las muestras obtenidas arrojando los valores mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis fisicoquímicos

ACEITES DE SACHA INCHI	IA (%, ácido oleico)	IP (meqO ₂ /kg aceite)	IR	Densidad g/ml
ASIV	0.24 ± 0.05	2.66 ± 0.05	1.475 ± 0.001	0.9291 ± 0.01

IA: Índice de Acidez IP: Índice de Peróxido IR: Índice de Refracción

En la Tabla 3, se muestra las características fisicoquímicas del aceite de sachá inchi, que el índice de acidez es de 0.24%, mientras que el índice de peróxido fue de 2.66 meqO₂/kg aceite, el índice de refracción obtenido es de 1.475; mientras que, la densidad es de 0.9291 g/ml. Paucar *et al.* (2015), mencionan similares resultados para el índice de refracción valor de 1.475 ± 0.001, y densidad valores de 0.9183 ± 0.0016 respectivamente. Mientras el índice de acidez e índice de peróxido sus valores son bajos comparados con Yajahuanca *et al.* (2011).

El índice de acidez es considerado como uno de los principales parámetros que reflejan la calidad de los aceites, el grado de refinación, así como el cambio de calidad durante el almacenamiento. El índice de acidez obtenido en la investigación fue de 0.24% ± 0.05, estos valores no sobrepasan lo establecido por la NTP 151.400-2009, quien señala un máximo de 1% para aceite extra virgen y 2% para aceite virgen; por lo tanto, nuestra muestra al tener un bajo contenido de ácidos grasos libres se refiere ha llevado un tratamiento fitosanitario y manejo post cosecha de materia prima adecuado. En tanto CODEX STAN 33 (1981), declara un valor de 0.8%, un valor por encima del determinado en este estudio (0.24 ± 0.05).

En el caso del índice de peróxido, este concuerda con los hallazgos encontrados con Alarcón, *et al.* (2019) en el cual se encontraron valores iniciales inferiores a 10 meqO₂/kg aceite en una etapa inicial estando dentro de lo señalado por la Norma Técnica Peruana que también establece un valor máximo de 10 meqO₂/kg aceite coincidiendo la validez con los valores encontrados en la presente investigación. Asimismo, la densidad encontrada concuerda por lo presentado por Saldaña (2018).

Tabla 4. Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P. volubilis* microencapsulado sin material de pared en el StabNet a 25°C

Aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
Peso del Aceite (g)	3.0 ± 0.005	3.0 ± 0.005	3.0 ± 0.005	3.0 ± 0.005
Tiempo de Inducción (h)	41.76	19.38	9.23	4.6
Tiempo de Estabilidad (h)	48.99	19.25	8.9	4.59
Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C	1105 h, 0.12 años			

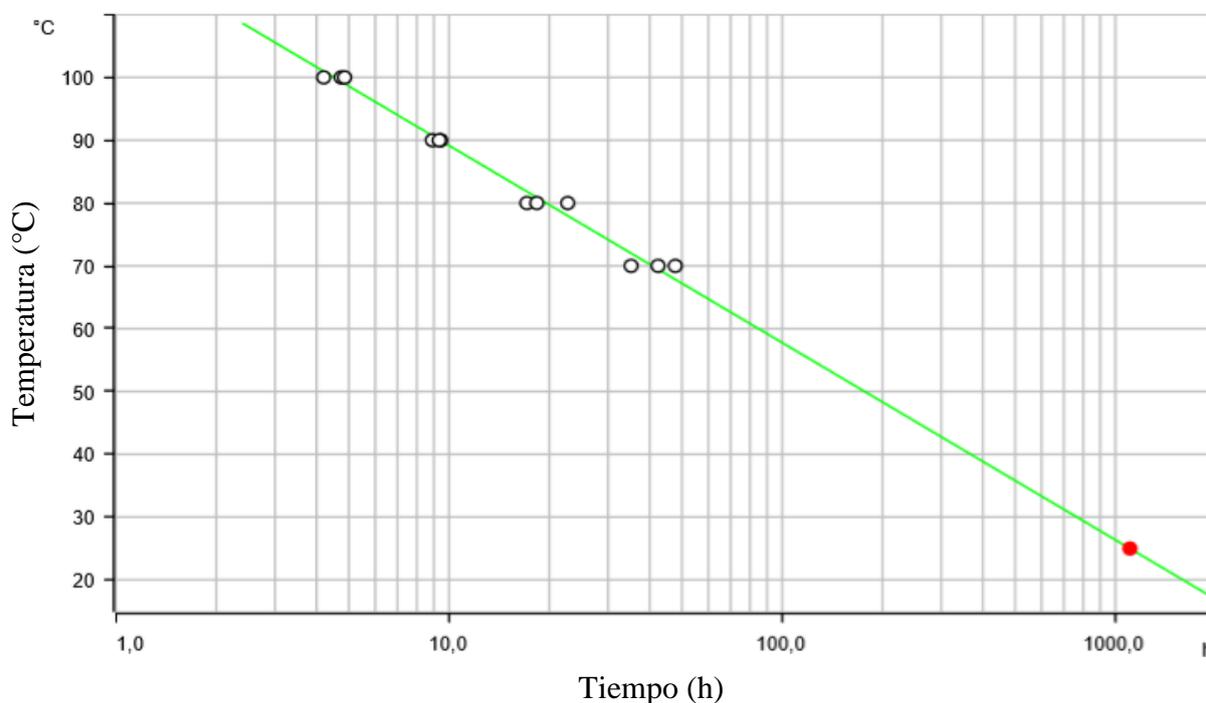


Figura 4. Extrapolación del PI y tiempo de vida útil del aceite de sachá inchi *P. volubilis* microencapsulado sin material de pared en el StabNet a 25°C

En la Tabla 4 y la Figura 4, se muestran los resultados para la extrapolación del periodo de inducción y el tiempo de vida de las muestras de aceite sachá inchi *P. volubilis* microencapsulado sin material de pared en el StabNet a 25°C, en los cuales para dicha extrapolación se utilizaron temperaturas de 70, 80, 90 y 100 °C respectivamente en muestras de 3.0 ± 0.005 gramos obteniendo valores para la muestra de 70 °C el tiempo de inducción fue de 41.76 horas y el tiempo de estabilidad fue de 48.99 horas, para la muestra de 80 °C el tiempo de inducción fue de 19.38 horas y el tiempo de estabilidad fue de 19.25 horas, para la muestra de 90 °C el tiempo de inducción fue de 9.23 horas y el tiempo de estabilidad fue de 8.9 horas; mientras que, para la muestra de 100°C el tiempo de inducción fue de 4.6 horas y el tiempo de estabilidad fue de 4.59 horas extrapolándose un tiempo de vida útil de 1105 horas que equivale a 0.12 años (43.8 días).

El aceite de sachá inchi presentó un tiempo de vida menor (43.8 días) a lo reportado por Paucar *et al.* (2015), quienes mencionan un tiempo de vida útil de 92.62 días y 136.54 días para aceite de pescado y aceite de oliva respectivamente, siendo el aceite de sachá inchi quien presentó una oxidación más rápida en comparación con el aceite de oliva, ello es debido a que los ácidos grasos insaturados son más susceptibles a la oxidación.

4.2 EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA Y EFECTO ENCAPSULANTE

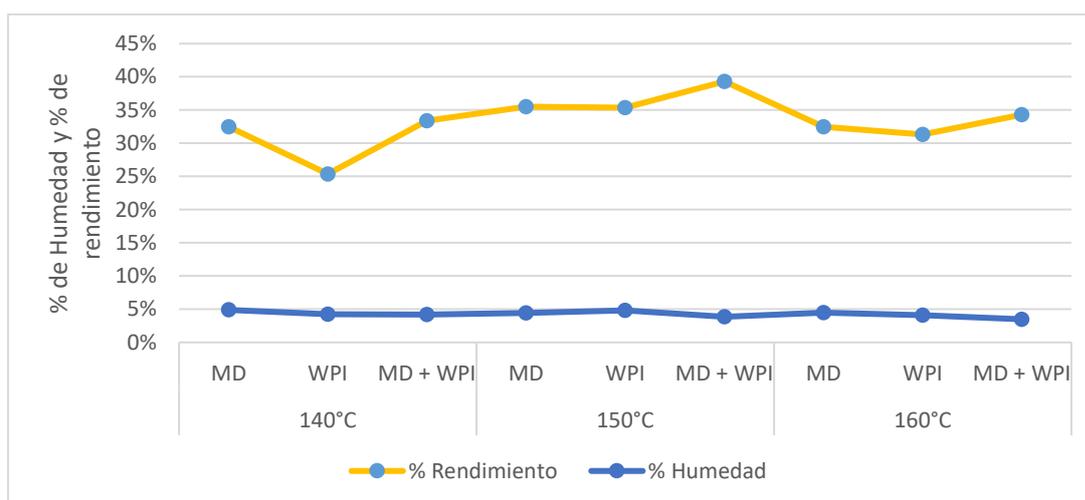
Se realizaron pruebas a 140 °C, 150 °C y 160 °C de temperatura, una vez medidos los resultados se eligió la temperatura para el secado que ofreció mayor rendimiento de las muestras de aceite de sachá inchi, utilizando 3 gramos de las microcápsulas en la balanza de humedad que determinó la humedad de las microcápsulas a 100 °C y 1 atmósfera de presión.

En la Tabla 5, se muestra en rendimiento y humedad de las microcápsulas de las muestras de sachá inchi. En la Tabla 5 y la Figura 5, se muestran los datos referentes al rendimiento y humedad de las muestras de aceite de sachá inchi, en las cuales para una temperatura de 150°C con el uso de la combinación maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche (50/50) registro una humedad de 3.84% y un rendimiento de 39.3%.

Tabla 5. Rendimiento y humedad de las microcápsulas de las muestras de sachá inchi

Temperatura	Material de pared	% Humedad	% Rendimiento
140°C	MD	4.89 ± 0.02	32.49 ± 1.23
	WPI	4,22 ± 0,03	25.37± 0.99
	MD + WPI	4.18 ± 0,09	33.4 ± 1.25
150°C	MD	4.42 ± 0.06	35.49 ± 1.12
	WPI	4.49 ± 0.04	32.49 ± 1.36
	MD + WPI	3,84 ± 0,05	39.3 ± 1.11
160°C	MD	4.49 ± 0.04	32.49 ± 1.36
	WPI	4.11 ± 0,01	31.32± 0.41
	MD + WPI	3,48 ± 0,02	34.3 ± 1.19

MD: Maltodextrina WPI: proteína concentrada de suero de leche y MD + WPI: combinado 50/50



MD: Maltodextrina WPI: proteína concentrada de suero de leche; MD + WPI: combinado

Figura 5. Rendimiento y humedad de las microcápsulas de las muestras de sachá inchi

Además, para la temperatura de 140°C en el uso de maltodextrina registró una humedad de 4.89% y un rendimiento de 32.49%, para la proteína concentrada de suero de leche la humedad fue de 4.22% y el rendimiento de 25.37%; mientras que, para el uso combinado la humedad registrada fue de 4.18% y el rendimiento 33.4%. Asimismo, para una temperatura de 160 °C en el uso de maltodextrina registró una humedad de 4.49% y un rendimiento de 32.49%, para la proteína concentrada de suero de leche la humedad fue de 4.11% y el rendimiento de 31.32%; mientras que, para el uso combinado la humedad registrada fue de

3.48% y el rendimiento 34.3%. Debido a que el rendimiento es mayor con la temperatura de secado de 150 °C se seleccionó ésta para realizar los análisis posteriores.

La eficiencia de la microencapsulación representa la emulsión retenida dentro de las micropartículas (aceite retenido dentro de la microcápsula), se evalúa indirectamente considerando el aceite de pescado superficial y total (Encina *et al.*, 2016). Según lo reportado por Kalonoski *et al.* (2006), utilizando como agentes encapsulantes maltodextrina y metilcelulosa encontraron una eficiencia del 86.5%. Por otra parte, Patrick *et al.* (2013) encapsularon con goma arábica y carboximetil celulosa sódica, obteniendo micropartículas con eficiencia del 75.2% y 82.8%, respectivamente. En otra investigación, se encapsuló con leche en polvo sin y con maltodextrina reportando eficiencias de 77.2 y 85.1% (Aghbashlo *et al.* 2012c). En la presente investigación encontramos valores menores de eficiencia de microencapsulación, considerando que las investigaciones realizadas se hicieron con aceite de pescado y otros materiales de microencapsulado. Por otra parte, Ipaguirre (2019), en su investigación presento valores de humedad de 2.40% a 6.36 % además de presentar valores de rendimiento que van desde 30.58% a 35.75%.

Tabla 6. Análisis de varianza para humedad

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	0.937	2	0.469	4.223	0.072
Intra-grupos	0.666	6	0.111		
Total	1.603	8			

En la Tabla 6, se puede observar que el valor de F es de 4.223 y la significación es de 0.072; al ser la significación mayor a 0.05 quiere decir que no hay relación entre las dos variables y por lo tanto la diferencia de media de humedad entre el material no son significativas.

Tabla 7. Análisis de varianza para rendimiento

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	37.397	2	18.698	1.461	0.304
Intra-grupos	76.808	6	12.801		
Total	114.205	8			

En la Tabla 6 y 7, se puede observar que el valor de F es de 1.461 y la significación es de 0.304; al ser la significación mayor a 0.05 quiere decir que no hay relación entre las dos variables y por lo tanto la diferencia de media de rendimiento entre el material no son significativas.

4.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ACEITE MICROENCAPSULADO

A continuación, se presentó la caracterización fisicoquímica del aceite microencapsulado del aceite de sachá inchi, tomando en consideración para el proceso la maltodextrina, proteína concentrada de suero de leche y la combinación de ambos elementos en las microcápsulas midiendo el aceite en meqO₂/kg aceite tanto en una etapa inicial como en el intervalo de 3 meses.

4.3.1. Resultados para el índice de peróxido del aceite microencapsulado

Tabla 8. Resultados para el índice de peróxido

ACEITES DE SACHA INCHI	Aceite (meqO₂/kg aceite)	Microcapsulado Inicio (meqO₂/kg aceite)	Microcapsulado 2 meses (meqO₂/kg aceite)	Microcapsulado 3 meses (meqO₂/kg aceite)
MD	2.66 ± 0.05	3.66 ± 0.0097	5.42 ± 0.0103	9.12 ± 0.0207
WPI	2.66 ± 0.05	2.78 ± 0.0207	4.58 ± 0.0019	9.1 ± 0.0316
MD + WPI	2.66 ± 0.05	2.68 ± 0.0024	3.22 ± 0.0851	7.92 ± 0.0341

MD: Maltodextrina WPI: proteína concentrada de suero de leche; MD + WPI: combinado

En la Tabla 8, se muestran los resultados del índice de peróxido durante el proceso de micro encapsulado, en el cual al uso de maltodextrina el aceite presentó un valor de 2.66 meqO₂/kg aceite, el aceite microencapsulado en el inicio presentó un valor de 3.66 meqO₂/kg aceite. El microencapsulado a los 2 meses mostró un índice de peróxido de 5.42 meqO₂/kg aceite y a los 3 meses de 9.12 meqO₂/kg aceite. Además, para la proteína concentrada de suero de leche el aceite obtuvo un valor de 2.66 meqO₂/kg aceite, el microencapsulado al inicio presenta un valor de 2.78 meqO₂/kg aceite, a los 2 meses de 4.58 meqO₂/kg aceite y a los 3 meses de 9.1 meqO₂/kg aceite; mientras que, para la mezcla de ambos elementos el aceite presento un valor de 2.66 meqO₂/kg aceite, el microencapsulado al inicio presentó un valor de 2.68 meqO₂/kg aceite, a los 2 meses de 3.22 meqO₂/kg aceite y los 3 meses de 7.92 meqO₂/kg aceite.

Según Álvarez *et al.* (2018), la Norma Técnica peruana establece como valor permitido para el peróxido del aceite de sacha inchi de 10 meqO₂/kg de aceite. Paucar *et al.* (2015) dentro del estudio se muestra valores de referencia de 7.5meq O₂/kg de aceite fresco, resultados elevados en comparación con el valor de 2.66 meqO₂/kg aceite obtenido Enel presente estudio. En otras investigaciones, Ipaguirre (2019), encontró como valor del índice de peróxido en su muestra de sacha inchi un valor de 2.65 ± 0.05 meqO₂/kg aceite.

4.3.2. Resultados para el índice de acides del aceite microencapsulado

Tabla 9. Resultados para el índice de acides del aceite microencapsulado

ACEITES DE SACHA INCHI	Aceite (%, ácido oleico)	Microcapsulado Inicio (%, ácido oleico)	Microcapsulado 2 meses (%, ácido oleico)	Microcapsulado 3 meses (%, ácido oleico)
MD	0.24	0.29	0.52	0.68
WPI	0.24	0.28	0.45	0.63
MD + WPI	0.24	0.25	0.41	0.60

MD: Maltodextrina WPI: proteína concentrada de suero de leche; MD + WPI: combinado

En la Tabla 9, se muestran los resultados del índice de acides durante el proceso de micro encapsulado, en el cual al uso de maltodextrina el aceite presentó un valor de 0.24%, el

microencapsulado al inicio presenta un valor de 0.29%, a los 2 meses de 0.52% y a los 3 meses de 0.68%. Además, para la proteína concentrada de suero de leche el aceite obtuvo un valor de 0.24%, el microencapsulado al inicio presentó un valor de 0.28%, a los 2 meses de 0.45% y a los 3 meses de 0.63%; mientras que, para la mezcla de ambos elementos el aceite presentó un valor de 0.24%, el microencapsulado al inicio presenta un valor de 0.25%, a los 2 meses de 0.41% y a los 3 meses de 0.6%.

Según NTP 151.400-2009 y CODEX STAN 33 (1981), señalan valores de 1% y 0.8% para considerar a un aceite extra virgen, luego de realizado el proceso de microencapsulación se presentan valores menores a los señalados para cada una de las microcápsulas a los 3 meses de tiempo de vida, así mismo, con respecto al material de microencapsulado se muestra que la combinación de maltodextrina con proteína concentrada de suero muestra una mejor barrera ante la oxidación.

4.4 EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD OXIDATIVA Y TIEMPO DE VIDA DEL ACEITE MICROENCAPSULADO

Se presentan los resultados concernientes a la evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado del aceite de sachá inchi. Estudiándose por separado cada elemento utilizado siendo esta maltodextrina, proteína concentrada de suero de leche y una combinación de ambas a temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C midiendo el peso del aceite, tiempo de estabilidad, tiempo de inducción y tiempo de vida útil extrapolada a 25°C.

4.4.1. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina como material de microencapsulación

En la Tabla 10 y la Figura 6, se muestran los resultados para la extrapolación del periodo de inducción y el tiempo de vida de las muestras de aceite sachá inchi *P. volubilis* microencapsulado con maltodextrina como material de encapsulado en el StabNet a 25°C, en los cuales para dicha extrapolación se utilizaron temperaturas de 70, 80, 90 y 100 °C respectivamente en muestras de 3.0 ± 0.005 gramos obteniendo como valores que, para la

Tabla 10. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina como material de microencapsulación.

Aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
Peso del Aceite (g)	3 ± 0.01	3 ± 0.01	3 ± 0.01	3 ± 0.01
Tiempo de Inducción (h)	29.89	13.98	5.49	2.86
Tiempo de Estabilidad (h)	30.23	14.9	6.32	3.32
Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C	1420 h, 0.16 años			

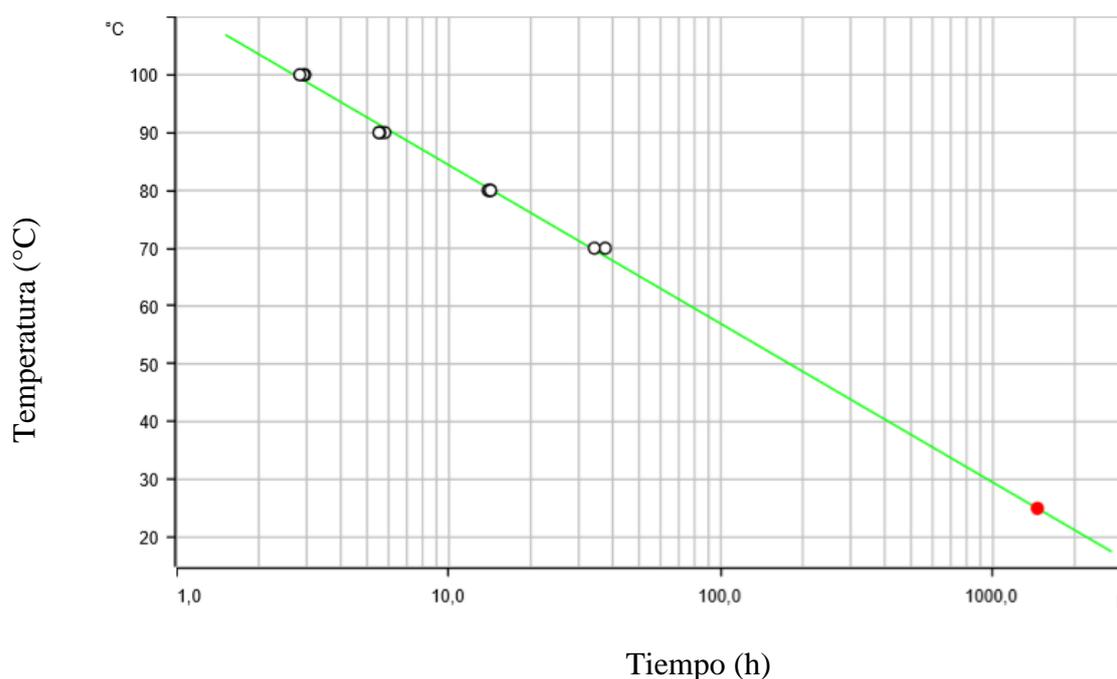


Figura 6. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina como material de microencapsulación.

muestra de 70 °C el tiempo de inducción fue de 29.89 horas y el tiempo de estabilidad fue de 30.23 horas, para la muestra de 80 °C el tiempo de inducción fue de 13.98 horas y el tiempo de estabilidad fue de 14.9 horas, para la muestra de 90 °C el tiempo de inducción fue de 5.49 horas y el tiempo de estabilidad fue de 6.32 horas; mientras que, para muestra de 100°C el tiempo de inducción fue de 2.86 horas y el tiempo de estabilidad fue de 3.32 horas extrapolándose un tiempo de vida útil de 1420 horas o 0,16 años (58.4 días).

Resultados que discrepan con lo encontrado con Iparraguirre (2019), quien a su muestras de aceite de sacha inchi con un microencapsulado de maltodextrosa con adición de goma arábica obtuvo un tiempo de estabilidad en promedio de 78.29 h para una temperatura de 70°C, para una temperatura de 80°C el tiempo de estabilidad fue de 21,28 h; para una temperatura de 90 °C el tiempo fue de 19.38 h; mientras que, para una temperatura de 100°C el tiempo fue de 10.79 h. Asimismo, según lo encontrado por Alarcón y otros (2019), el tiempo de vida extrapolado a 25 °C del aceite de sacha inchi con un microencapsulado de maltodextrosa con adición de goma arábica fue de 79 días.

4.4.2. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material microencapsulación

Tabla 11. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulación

Aceite de sacha inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
Peso del Aceite (g)	2.0 ± 0.02	2.0 ± 0.02	2.0 ± 0.02	2.0 ± 0.02
Tiempo de Inducción (h)	30.1	12.66	4.92	2.22
Tiempo de Estabilidad (h)	51.98	24.23	12.06	5.61
Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C	1495 h, 0.17 años			

En la Tabla 11 y la Figura 7, se muestran los resultados para la extrapolación del periodo de inducción y el tiempo de vida de las muestras de aceite sacha inchi *P. volubilis* microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material de pared en el StabNet a 25°C, en los cuales para dicha extrapolación se utilizaron temperaturas de 70, 80, 90 y 100 °C respectivamente en muestras de 3.0 ± 0.005 gramos obteniendo como valores para la muestra de 70 °C el tiempo de inducción fue de 30.1 horas y el tiempo de estabilidad fue de 51.98 horas, para la muestra de 80 °C el tiempo de inducción fue de 12.66 horas y el tiempo de estabilidad fue de 24.23 horas, para la muestra de 90 °C el tiempo de inducción fue de 4,92 horas y el tiempo de estabilidad fue de 12.06 horas; mientras que, para la muestra de 100°C el tiempo de inducción fue de 2.22 horas y el tiempo de estabilidad fue de 5.61 horas extrapolándose un tiempo de vida útil de 1495 horas o 0.17 años (62.06 días).

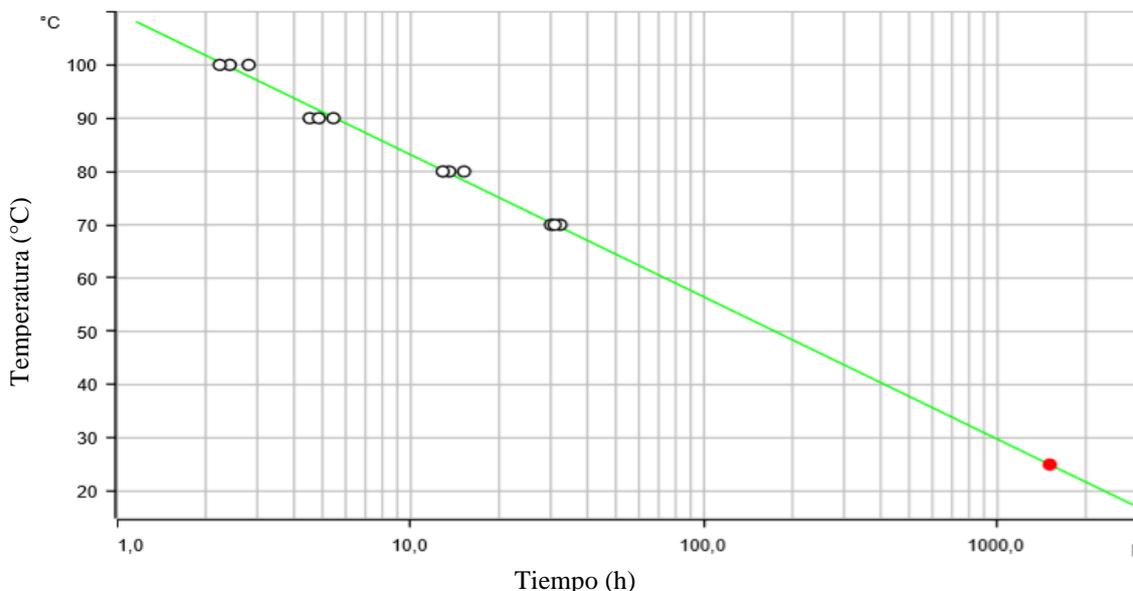


Figura 7. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulación.

Resultados que discrepan de lo encontrado con Iparraguirre (2019), quien obtuvo un tiempo de estabilidad en promedio de 80.11 h para una temperatura de 70°C, para una temperatura de 80°C el tiempo de estabilidad fue de 39.50 h; para una temperatura de 90 °C el tiempo fue de 64.36 h; mientras que, para una temperatura de 100°C el tiempo fue de 28.63 h. Asimismo, según lo reportado por Alarcón *et al.* (2019), el tiempo de vida extrapolado a 25 °C del aceite de sachá inchi fue de 49 días.

4.4.3. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulación

En la Tabla 12 y la Figura 8, se muestran los resultados para la extrapolación del periodo de inducción y el tiempo de vida de las muestras de aceite sachá inchi *P. volubilis* microencapsulado con maltodextrina y con proteína concentrada de suero de leche como material de pared en el StabNet a 25°C, en los cuales para dicha extrapolación se utilizaron temperaturas de 70, 80, 90 y 100 °C respectivamente en muestras de 3.0 ± 0.005 gramos obteniendo como valores para la muestra de 70 °C el tiempo de inducción fue de 58.9 horas y el tiempo de estabilidad fue de 66.62 horas, para la muestra de 80 °C el tiempo de inducción fue de 27.76 horas y el tiempo de estabilidad fue de 31.29 horas, para la muestra de 90 °C

Tabla 12. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche como material de microencapsulado

Aceite de sachá inchi <i>P. volubilis</i>	70°C	80°C	90°C	100°C
Peso del Aceite (g)	2.0 ± 0.02	2.0 ± 0.02	2.0 ± 0.02	2.0 ± 0.02
Tiempo de Inducción (h)	58.9	27.76	13.52	6.69
Tiempo de Estabilidad (h)	66.62	31.29	17.25	8.88
Tiempo de vida útil extrapolada a 25°C	1589 h, 0.181 años			

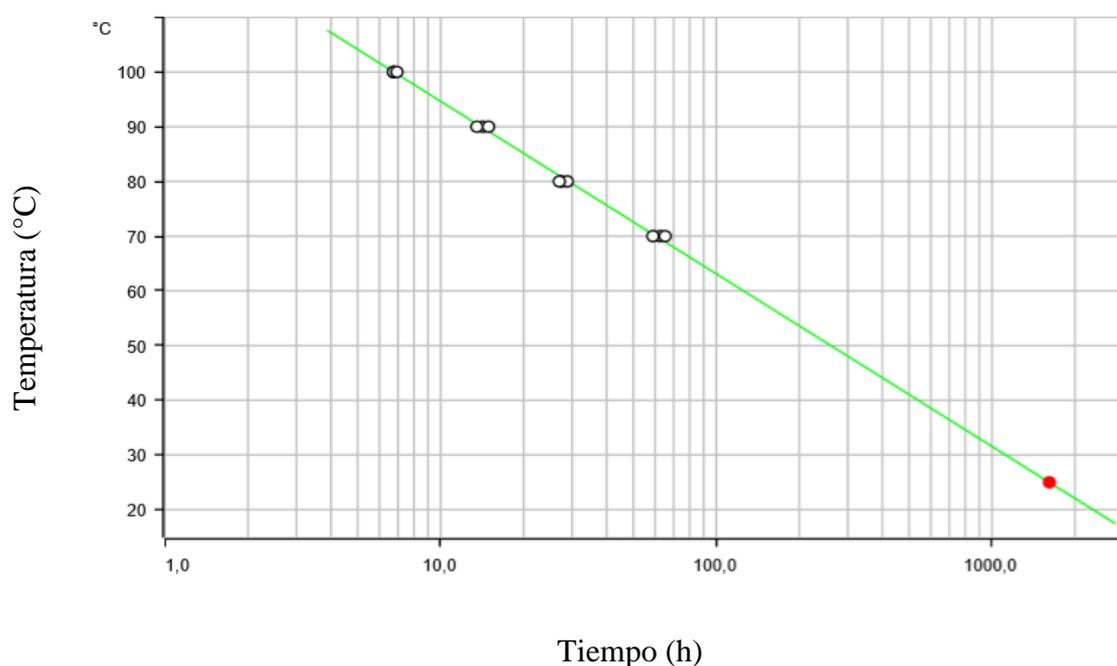


Figura 8. Evaluación de estabilidad oxidativa y tiempo de vida del aceite microencapsulado con maltodextrina al 50% y proteína concentrada de suero de leche al 50%

el tiempo de inducción fue de 13.52 horas y el tiempo de estabilidad fue de 17.25 horas; mientras que, para la muestra de 100°C el tiempo de inducción fue de 6.69 horas y el tiempo de estabilidad fue de 8,88 horas extrapolándose un tiempo de vida útil de 1589 horas o 0.181 años (66.06 días).

El tiempo de vida de los aceites analizados en la presente investigación son de 58.4 días; 62.05 días y 66.06 días para los microencapsulados con maltodextrina, proteína concentrada de suero de leche y la combinación de ambos materiales (50/50), se puede observar que el

mejor material para la microencapsulación es la combinación de maltodextrina con proteína de suero de leche en proporción 50/50, sin embargo, el tiempo de vida del aceite microencapsulado es menor al reportado por Paucar *et al.* (2015), quienes mencionan un tiempo de vida útil de 92.62 días para el aceite de sachá inchi.

Resultados que discrepan con lo encontrado con Iparraguirre (2019), quien a su muestras de aceite de sachá inchi con un microencapsulado con maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche adicionándole goma arábica obtuvo un tiempo de estabilidad en promedio de 66.07 h para una temperatura de 70°C, para una temperatura de 80°C el tiempo de estabilidad fue de 32.02 h; para una temperatura de 90 °C el tiempo fue de 19.33 h; mientras que, para una temperatura de 100°C el tiempo fue de 10.02 h. Asimismo, según lo encontrado por Alarcón *et al.* (2019), el tiempo de vida extrapolado a 25 °C del aceite de sachá inchi con un microencapsulado de maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche con adición de goma arábica fue de 84.1 días.

V. CONCLUSIONES

1. El mejor microencapsulante fue la combinación de maltodextrina y proteína concentrada de suero de leche (50/50) siendo necesario someterlo a una temperatura de 150°C obteniendo una humedad de $3,84 \pm 0,05$ y un rendimiento de 39.3 ± 1.11 .
2. El aceite de sacha inchi obtenido bajo las condiciones descritas presentó un índice de acidez fue de $0.24\% \pm 0.05$ de ácido oleico, un índice de peróxido de $2.66\% \pm 0.05$ meqO₂/Kg aceite, el índice de refracción registrado fue de 1.475 ± 0.001 ; mientras que, la densidad mostrada fue de $0.9291\text{g/ml} \pm 0.01$.
3. El rendimiento óptimo fue el obtenido al someter las microcápsulas de las muestras de sacha inchi a una temperatura de 150°C. En el uso de maltodextrina registró una humedad de $4.42\% \pm 0.06$, para la proteína concentrada de suero de leche la humedad fue de $4.49\% \pm 0.04$; mientras que, para el uso combinado la humedad registrada fue de $3.84\% \pm 0,05$.
4. Respecto al rendimiento a la temperatura de 150°C para el uso de maltodextrina el rendimiento fue de $35.49\% \pm 1.12$ teniendo un tiempo de vida útil extrapolado 1420 horas equivalente a 0.16 años (58.4 días), para la proteína concentrada de suero de leche el rendimiento fue de $35.37\% \pm 0.21$ teniendo un tiempo de vida útil extrapolado de 1495 horas equivalente 0.17 años (62.06 días).; mientras que, para el uso combinado el rendimiento fue de $3.84\% \pm 0,05$ teniendo un tiempo de vida útil extrapolado de 1.589 horas equivalente a 0.18 años (66.06 días).

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar el efecto del encapsulante manejando diferentes rangos de temperatura en el proceso de secado en la obtención de microencapsulado de sachá inchi.
2. Medir otras características fisicoquímicas a fin de elaborar un perfil de mayor amplitud del aceite de sachá inchi
3. Evaluar el efecto de otros materiales como microencapsulante en el proceso de secado de aceite de sachá inchi para establecer el material que ofrezca mejores efectos en el proceso.
4. Realizar investigaciones probando otros métodos a fin de elaborar comparaciones para la obtención de resultados óptimos en cuanto al rendimiento y tiempo de vida del aceite de sachá inchi.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A. y Rafiee, S. 2012c. Optimization of emulsification procedure for mutual maximizing the encapsulation and exergy efficiencies of fish oil microencapsulation. *Powder Technology*, 225, 107-117.
- Alarcón Rivera, R., Pérez Camino, M. D. C., & Chasquibol Silva, N. 2019. Evaluación de la vida útil de los aceites de Sacha Inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) microencapsulados. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 327-337.
- Álvarez, M. E., Ciro, H. J., & Arango, J. C. 2018. Caracterización fisicoquímica de oleogeles de aceite de aguacate (*Persea americana*) y sachá inchi (*Plukenetia volubilis*).
- Araneda, C. y Valenzuela, F. 2009. Microencapsulación de extractantes: una metodología alternativa de extracción de metales. *Revista Ciencia Ahora* 22(11): 9-19.
- Astray, G.; Mejuto, J.; Rial, R.; González, C. and Simal, J. 2009. A review on the use of cyclodextrins in foods. *Food Hydrocolloids* 23(7): 1631-1640.
- A.O.A.C.2007. Manual of Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol 2. Fivetenth editios. USA.
- A.O.C.S.2007. Manual of Official Tentativa Analitical Methods of the American Oil Chemits Society
- Aranda-Ventura, J., Villacrés-Vallejo, J., & Rios-Isern, F. 2019. Composición química, características físico-químicas, trazas metálicas y evaluación genotóxica del aceite de *Plukenetia volubilis* L.(sachá inchi). *Revista Peruana de Medicina Integrativa*, 4(1), 4-14.
- Arévalo, G. 1989-1995. Informes de resultados de investigación. Tarapoto: Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología (Pronargeb), Estación Experimental Agraria (E. E. A.) El Porvenir.

- Arévalo, G. 2000. El cultivo de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en la Amazonía. Tarapoto: INIA, Pronargeb, E. E. A. El Porvenir.
- Bertolini, A.; Siani, A. and Grosso, R. 2001. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spraydrying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(2): 780-785.
- Bailey, 1961. Aceites y grasas industriales. Editorial Reverté. Barcelona. p.122-153.
- Benzie, I.; Strain, J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*.
- Colin, J.; Nolan, C. and Holub, B. 2009. Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. *Journal of Functional Foods* 1: 38 -43.
- CODEX STAN 33. 1981. Norma para los aceites de olive y aceites de orujo de oliva. Lima, Perú.
- CODEX STAN 33. 1999. Norma del Codex para aceites vegetales especificados. Lima, Perú.
- Cuevas-Bernardino, J. C., Pérez Alonso, C., Nieto-Ángel, R., & Aguirre-Mandujano, E. (2019). Microencapsulation of grape seed oil by spray drying using whey protein and hawthorn pectin.
- Drusch, S. 2007. Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying. *Food Hydrocolloids* 21(7): 1223-1228.
- Encina, C., Vergara, C., Giménez, B., Oyarzún-Ampuero, F. y Robert, P. 2016. Conventional spray-drying and future trends for microencapsulation of fish oil. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 46-60.
- Gorinstein, S.; Martin, O.; Katrich, E.; Lojek, A.; Ciz, M.; Gligelmo, N.; Haruenkit, R.; Park, Y.; Jung, S.; Trakhtenberg, S. 2003. Comparison of the contents of the main biochemical compounds and the antioxidant activity of some Spanish olive oils as determined by four different radical scavenging tests. *Journal of Nutritional Biochemistry*. Volume 14.
- Gutiérrez Suquillo, N. R., Saá Arévalo, I. A., & Vinuesa Lozada, A. F. 2017. Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío. *Enfoque UTE*, 8(2), 15-32.

- Gutteridge, J.; Halliwell, B. 2000. Free radicals and antioxidants in the year 2000: a historical look to the future. *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Hoyos Zagaceta, J. E., & Sánchez Zavaleta, S. H. (2019). Caracterización del aceite de semilla de maracuyá (*Passiflora edulis S.*) extraído con solvente orgánico y prensado en frío.
- Huang, H.; Alberg, A.; Nokus, E.; Hoffman, S.; Comstock, G.; Helzlsouer, K. 2005. Prospective study of antioxidant micronutrients in the blood and the risk of developing prostate cancer. *American Journal of Epidemiology*.
- Iparraguirre-Chipana, K. J. 2019. Contribución al estudio de la vida útil de los aceites de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *P. volubilis*) microencapsulados y su importancia en la industria alimentaria.
- Ivekovic, D.; Milardovic, S.; Roboz, M.; Grabaric, B. 2005. Evaluation of the antioxidant activity by flow injection analysis method with electrochemically generated ABTS radical cation. *Analyst*.
- Kolanowski, W., Ziolkowski, M., Weißbrodt, J., Kunz, B. y Laufenberg, G. 2006. Microencapsulation of fish oil by spray drying-impact on oxidative stability. Part 1. *European Food Research and Technology* 222:336-342.
- Larico, D. 2000. Evaluación del Rendimiento en la Extracción de Aceite de Sachá Inchi. Universidad ESAN. 173-178.
- Luo, H. and Pozrikidis, C. 2009. Numerical simulation of particle encapsulation due to liquid thread breakup. *Computers and Fluids* 38(3): 564–571.
- Lopez, M. 2015. Alimentos funcionales. Argentina: Escuela Regional de Nanotecnología en Agroindustrias y Agroalimentos.
- Madene, A.; Scher, J. and Desobry, S. 2006. Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4(1):1-21.
- Manco, E. 2003. Situación y avances del cultivo de sachá inchi en el Perú. Tarapoto: Pronargeb, INIA, E. E. A. El Porvenir.
- Manzanarez-Tenorio, L. E., Ruiz Cruz, S., Márquez-Ríos, E., Ornelas-Paz, J. D. J., Del-Toro-Sánchez, C. L., Wong-Corral, F. J., Holguin-Soto, R. 2020. Microencapsulación de

- extractos de higo (*Ficus carica*) por coacervación compleja y evaluación de su capacidad antioxidante. *Biotecnia*, 22(2), 70-77.
- McMaster, L.; Kokott, S. and Mazutti, P. 2005. Microencapsulation of *Bifidobacterium lactis* for incorporation into soft foods. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 21(5): 723–728.
- Marfil, R. 2008. Parámetros de calidad y componentes con interés nutricional del aceite de argán (*Argania spinosa*). Tesis para optar el grado de doctor. Universidad de Granada. Facultad de Farmacia. Granada. España.
- Martinez, I.; Periago, M.; Ros, G. 2000. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 50(1):5-18.
- Merhlebacher, M. 1979. Análisis de grasas y aceites. Ediciones Urmo. Bilbao. p.119-241,590-594.
- Miller, N.; Rice-Evans, C. 1994. Total antioxidant status in plasma and body fluids. *Methods in Enzimology*. Volume 234. EE. UU.
- Morkhade, D. and Joshi, S. 2007. Evaluation of gum damar as a novel microencapsulating material for ibuprofen and diltiazem hydrochloride. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 69(2):263-268.
- Morel, I.; Lescoat, G.; Cogrel, P.; Sergent, O.; Padeloup, N.; Brissot, P.; Cillard, P.; Cillard, J. 1993. Antioxidant and iron-chelating activities of the flavonoids catechin, quercetin and diosmetin on iron-loaded rat hepatocyte cultures. *Biochemistry Pharmacology*.
- Murúa, B.; Beristain, C. and Martínez. F. 2009. Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering* 91(3): 380–386.
- Nazzaro, F.; Fratianni, F.; Coppola, R.; Sada, A. and Orlando, P. 2009. Fermentative ability of alginateprebiotic encapsulated *Lactobacillus acidophilus* and survival under simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Functional Foods* 1(3): 319-323.
- NTP 151.400:2009. NORMA Técnica Peruana para Aceite de Sacha Inchi del género *Plukenetia*. Requisitos (Norma Peruana).

- Paucar-Menacho Luz Maria; Salvador-Reyes R; Guillén-Sánchez J.; Capa-Robles; Cesar J-Moreno-Rojo. 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. *Scientia Agropecuaria* 6 (4): 279 – 290.
- Pajaro, N. P., Méndez, G. L., Fortich, M. D. R. O., Alarcón, M. E. T., & Vega, J. M. R. 2018. Microencapsulación del aceite esencial de *Cinnamomum verum* J. mediante secado por aspersion y su potencial actividad antioxidante. *Revista Cubana de Farmacia*, 51(2).
- Patrick, K. E., Lv, Y., Muhamyankaka, V., Denis, O., Ntsama, I. S. B. y Zhang, X. 2013. Development of EPA-DHA microcapsules supplemented probiotic fermented milk. *Akademik Gıda*, 11, 6-15.
- Perú. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIA), E. E. A. El Porvenir. 1989-2005. Proyecto Conservación de Recursos Genéticos a través de Bancos ex situ: conservar, evaluar y seleccionar y documentar germoplasma de sacha inchi (*P. v. L.*). Tarapoto: E.E.A. El Porvenir.
- Pellegrini, N. 1999. Antioxidant activity aplynig in improved ABTS decoloration assay. *Fre Radicales Biology & Medicine*. 26. 1235-1237.
- Pineda, D.; Salucci, M.; Lázaro, R.; Mainani, G. y Ferro-Luzzi, A. 1999. Capacidad antioxidante y potencial de sinergismo entre los principales constituyentes antioxidantes de algunos alimentos. *Rev. Cubana Alimentación Nutricional*.
- Prior, R.; Hoang, H.; Gu, L.; Wu, X.; Bacchiocca, M.; Howard, L.; Hampsch, M.; Huang, D.; Ou, B.; Jacob, R. 2003. Assays for hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORAC) of plasma and other biological and food samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Salas, N.; Estrada, E.; Lengu, C.; Pino, J.; Alvis, R.; Bazán, G. 2009. Proceso para Obtener Bebida Nutracéutica a partir de *Myrciaria Dubia* (Cau Camu), orientado a reducir efecto genotóxico en niños de edad escolar. *Revista Peruana In. Química* Vol 12 N°2. Paggs 34-41.
- Saldaña Espinoza, F. B. 2018. Caracterización físicoquímica de compuestos antinutricionales en aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.).

- Singleton VL and Rossi JA Jr. 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*; 16(3): 144-158.
- Sozer, N and Kokini, J. 2009. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology* 27(2):82-89.
- Vela, S. L. 1994. Ensayos para la extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en el departamento de San Martín. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Tarapoto: UNSM, Departamento de Agroindustria.
- Valles, C. 1995. Investigador agrario. Profesor asociado de la Facultad de Agrónoma de la Universidad Nacional de San Martín Tarapoto (UNSM). Investigador de la especie *Plukenetia*. Entrevista personal.
- Valls, J.; Lampreave, M.; Nadal, M.; Arola, L. 2000. Importancia de los compuestos fenólicos en la calidad de los vinos tintos de crianza. 2: 119-124.
- Waterhouse, A. 2002. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. University of California, Davis, USA, I1.1.1-I.1.8.
- Yañez, J.; Salazar, J.; Chaires, L.; Jimenez, J.; Marquez, M. y Ramos, R. 2002. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Revista Avance y Perspectiva* 21: 313-319.
- Zanatta, C. F.; Cuervo, T.; Jimenes, G.; Tomas, G. 2005. Determination of Anthocyanins from Camucamu (*Myrciaria dubia*) by HPLC-PDA, HPLC-MS, and NMR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 24, p. 9531-9535.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Balanza de humedad Sartorius



Anexo 2. Medición de humedad de la muestra



Anexo 3. Mezcladora de rotor y estator



Anexo 4. Proceso de secado por pulverización y encapsulación



Anexo 5. Determinación de la estabilidad a la oxidación del aceite

