



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**EXTRACCIÓN MECÁNICA Y NANOENCAPSULACIÓN DEL
ACEITE DE *Juglans neotropica* MEDIANTE SPRAY-DRYING**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA

AUTOR: GABRIELA ELIZABETH ALBÁN GORDILLO

TUTOR: B.Q.F. DIEGO VINUEZA TAPIA M.sc

Riobamba-Ecuador

2015

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación **EXTRACCIÓN MECÁNICA Y NANOENCAPSULACIÓN DEL ACEITE DE *Juglans neotropica* MEDIANTE SPRAY-DRYING**, de responsabilidad de la señorita Gabriela Elizabeth Albán Gordillo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--------------|--------------|
| BQF. Diego Vinueza Tapia DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | _____ | _____ |
| Dr. Carlos Pilamunga MIEMBRO DEL TRIBUNAL | _____ | _____ |
| DOCUMENTALISTA SISBIB-ESPOCH | _____ | _____ |
| NOTA DE TESIS ESCRITA | _____ | |

Yo, Gabriela Elizabeth Albán Gordillo, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado, pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

GABRIELA ELÍZABETH ALBÁN GORDILLO

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios por darme la fuerza y la sabiduría necesaria para terminar mi vida estudiantil. A mi hija por ser mi fuente de inspiración y lucha. A mi madre por el apoyo incondicional ya que sin ella no hubiera podido concluir mi carrera. A mi hermano, abuela y tíos por su ayuda en cada etapa de mi vida. A mis amigos y compañeros por brindarme su amistar y compartir momentos gratos hasta el final.

Gabriela E. Albán G.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme la vida, la fuerza y la sabiduría para culminar mi periodo estudiantil. A mi familia por ser mi apoyo incondicional. A mis docentes de la Escuela de Bioquímica y Farmacia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme impartido conocimientos necesarios para mi vida profesional. Al BQF. Diego Vinueza y al Dr. Carlos Pilamunga por brindarme su soporte y asesoramiento durante la elaboración de esta investigación. Al Dr. Orestes López por su colaboración en este trabajo y a cada y una de las personas que estuvieron presentes en la realización de este trabajo.

Gabriela E. Albán G.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS..... | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| SUMARY..... | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 3 |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| 1.1 Enfermedades cardiovasculares..... | 3 |
| <i>1.1.1 Principales factores de riesgo.....</i> | <i>4</i> |
| 1.2 <i>Juglans neotropica</i>..... | 4 |
| <i>1.2.1 Historia e introducción de Juglans neotropica.....</i> | <i>4</i> |
| <i>1.2.2 Descripción botánica.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.2.3 Taxonomía.....</i> | <i>6</i> |
| <i>1.2.4 Juglans neotropica en el ecuador.....</i> | <i>7</i> |
| <i>1.2.5 Análisis nutricional.....</i> | <i>7</i> |
| 1.3 Ácidos Grasos..... | 8 |
| <i>1.3.1 Omega 3.....</i> | <i>8</i> |
| <i>1.3.2 Omega 6.....</i> | <i>8</i> |
| 1.4 Extracción de lípidos a partir de semillas..... | 9 |
| 1.5 Nano o Microencapsulación..... | 9 |
| <i>1.5.1 Nanopartículas o microencapsulación como una fuente de suministro de componentes funcionales.....</i> | <i>10</i> |
| <i>1.5.2 Técnicas utilizadas para la producción de nanopartículas o microencapsulación de alimentos.....</i> | <i>11</i> |
| <i>1.5.3 Nano o Microencapsulación de lípidos.....</i> | <i>11</i> |
| <i>1.5.4 Técnicas de microencapsulación.....</i> | <i>13</i> |
| <i>1.5.4.1 Spray-Drying.....</i> | <i>13</i> |
| <i>1.5.4.2 Coacervación.....</i> | <i>14</i> |
| <i>1.5.5 Consideraciones tecnológicas a tener en cuenta en el proceso de nanoencapsulación o microencapsulación.....</i> | <i>16</i> |
| <i>1.5.6 La goma arábica y la maltodextrina como encapsulantes.....</i> | <i>19</i> |

| | | |
|---|--|-----------|
| 1.6 | Indicadores para evaluar la calidad de las nano o microcápsulas..... | 20 |
| 1.6.1 | <i>Contenido de aceite superficial.....</i> | 20 |
| 1.6.2 | <i>Eficiencia de encapsulación.....</i> | 20 |
| 1.6.3 | <i>Distribución de tamaño de partículas.....</i> | 20 |
| 1.6.4 | <i>Morfología.....</i> | 20 |
| 1.6.5 | <i>Aspecto de la superficie.....</i> | 20 |
| 1.6.6 | <i>Carga de principio activo.....</i> | 21 |
| 1.6.7 | <i>Humedad.....</i> | 21 |
| 1.6.8 | <i>Microscopía electrónica de barrido (SEM).....</i> | 21 |
| 1.6.9 | <i>Cromatografía de gases.....</i> | 22 |
| 1.6.10 | <i>Espectroscopia infrarroja.....</i> | 22 |
| CAPITULO II | | 23 |
| MARCO METODOLÓGICO | | |
| 2. | PARTE EXPERIMENTAL..... | 23 |
| 2.1 | Lugar de investigación..... | 23 |
| 2.2 | Materiales, equipos y reactivos..... | 23 |
| 2.2.1 | <i>Materia prima.....</i> | 23 |
| 2.2.2 | <i>Materiales y equipos.....</i> | 23 |
| 2.2.3 | <i>Reactivos.....</i> | 24 |
| 2.3 | TÉCNICAS Y MÉTODOS..... | 24 |
| 2.3.1 | <i>Control de calidad de Juglans neotropica.....</i> | 24 |
| 2.3.2 | <i>Extracción de lípidos.....</i> | 24 |
| 2.3.3 | <i>Estudio del proceso de microencapsulación.....</i> | 24 |
| 2.3.3.1 | <i>Descripción del procedimiento experimental.....</i> | 24 |
| 2.3.3.2 | <i>Cálculo del rendimiento de encapsulación.....</i> | 26 |
| 2.3.3.3 | <i>Contenido de aceite superficial.....</i> | 26 |
| 2.3.3.4 | <i>Cálculo de la eficacia de encapsulación.....</i> | 27 |
| 2.3.3.5 | <i>Humedad.....</i> | 27 |
| 2.3.4 | <i>Técnicas analíticas empleadas en la caracterización del producto.....</i> | 27 |
| 2.3.4.1 | <i>Determinación de la distribución de tamaño de las partículas.....</i> | 27 |
| 2.3.4.2 | <i>Observación de la forma y la superficie de las partículas.....</i> | 28 |
| 2.3.4.3 | <i>Determinación del contenido de ácidos grasos.....</i> | 28 |
| 2.3.4.4 | <i>Espectroscopia infrarroja.....</i> | 29 |
| CAPITULO III..... | | 30 |
| MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | | |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 30 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.1 | Rendimiento de la extracción de lípidos..... | 30 |
| 3.2 | Rendimiento de la microencapsulación del aceite de Juglans neotropica..... | 30 |
| 3.3 | Contenido de aceite superficial y eficacia de encapsulación..... | 31 |
| 3.4 | Humedad de las microcapsulas..... | 33 |
| 3.5 | Tamaño de las partículas..... | 34 |
| 3.6 | Forma y superficie de las partículas..... | 36 |
| 3.7 | Determinación del contenido de ácidos grasos..... | 37 |
| 3.8 | Espectroscopia infrarroja..... | 38 |
| | CONCLUSIONES..... | 40 |
| | RECOMENDACIONES..... | 41 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| AVC | Accidentes vasculares cerebrales |
| °C | Grado Celsius |
| cm ² | Centímetros cuadrados |
| DHA | Ácido decosahexaenóico |
| EVC | Enfermedades cardiovasculares |
| EPA | Ácido eicosapentaenóico |
| g | Gramos |
| GC | Cromatografía de gases |
| GLC | Cromatografía gas-líquido |
| h | Horas |
| IR | Espectroscopia de infrarrojo |
| Kcal | Kilocalorías |
| Kg | Kilogramos |
| Kv | Kilovatio |
| m | Metros |
| m ² | Metros cuadrados |
| MD | Maltodextrina |
| DE | Dextrosa |
| mg | Miligramos |
| min | minutos |
| mm | Milímetros |
| m.s.n.m. | Metros sobre el nivel del mar |
| nm | Nanómetros |
| s | Segundos |
| SEM | Microscopia electrónica de barrido |
| µm | Micras |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------------|--|----|
| Tabla 1-1 | Clasificación taxonómica del Nogal..... | 6 |
| Tabla 1-2 | Composición nutricional de <i>Juglans neotropica</i> | 7 |
| Tabla 1-3 | Encapsulantes y parámetros de secado para diferentes productos..... | 17 |
| Tabla 2-1 | Lista de materiales y equipos utilizados..... | 23 |
| Tabla 2-2 | Lista de reactivos utilizados en la investigación..... | 24 |
| Tabla 3-1 | Determinación del contenido de aceite libre..... | 32 |
| Tabla 3-2 | Contenido de humedad de las nanocápsulas..... | 33 |
| Tabla 3-3 | Contenido de ácidos grasos en el aceite de <i>Juglans neotropica</i> | 37 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figura 1-1 | Representación esquemática de la encapsulación de los alimentos. | 12 |
| Figura 1-2 | Representación esquemática de los procesos | 16 |
| Figura 2-1 | Metodología para la Nanoencapsulación | 25 |
| Figura 2-2 | Recubrimiento de oro a la muestra de aceite de Juglans neotropica | 28 |
| Figura 3-1 | Fotos del tamaño de partículas | 35 |
| Figura 3-2 | Fotos de microscopía de barrido electrónico | 36 |
| Figura 3-3 | Espectros infrarrojos de las microcápsulas y sus componentes | 38 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A.** Tocte (*Juglans neotropica*)
- Anexo B.** Aceite de *Juglans neotropica*
- Anexo C.** Goma arábica y maltodextrina
- Anexo D.** Goma arábica y maltodextrina pesada
- Anexo E.** Mezcla de agua, goma arábica y maltodextrina
- Anexo F.** Adición del aceite a la mezcla
- Anexo G.** Emulsión
- Anexo H.** Spray drying
- Anexo I.** Alimentación al spray drying
- Anexo J.** Nanoencapsulado dentro del equipo de spray drying
- Anexo K.** Nanoencapsulado de *Juglans neotropica*
- Anexo L.** Determinación de humedad
- Anexo M.** Determinación de humedad
- Anexo N.** Equipo IR
- Anexo Ñ.** Colocada de la muestra en el cristal del seleniuro de Zinc
- Anexo O.** Perfil lipídico del aceite de *Juglans neotropica*

RESUMEN

El presente trabajo expone los resultados del desarrollo de una tecnología para la microencapsulación de aceite de *Juglans neotropica* (tocte) mediante Spray Drying o también conocido como secado por aspersión o secado por pulverización. Para lo cual se realizó una extracción mecánica del aceite en una prensa PITEBA dándonos un rendimiento de extracción mayor al 79%. Se evaluó la influencia de la concentración de los agentes encapsulantes sobre la eficiencia y el rendimiento del proceso de microencapsulación. Este proceso realizado a escala piloto permitió la obtención de microcápsulas con forma esférica y sin poros en la superficie, con una eficiencia de encapsulación superior al 65 %, un tamaño inferior a 3 μm y un contenido de ácido linolénico de 69,93%, ácido oleico 19,17% y ácido γ linolénico 4,24%, lo que demuestra la reproducibilidad de la tecnología en las diferentes escalas y su posible funcionalidad en la disminución del riesgo de adquirir enfermedades cardiovasculares. Los lípidos sin microencapsular y los microencapsulados demostraron ser estables en el tiempo alcanzando un porcentaje de humedad menor al 10%. El proceso diseñado permitió un máximo aprovechamiento del recurso natural de partida (semillas de tocte), demostrando ser económicamente factible. Además el material vegetal de desecho (torta) de *Juglans neotropica* fue entregada a la Universidad Técnica de Ambato para posteriores análisis y aplicaciones.

Palabras claves

<MICROENCAPSULACIÓN>, < [tocte] JUNGLAS NEOTROPICA>, <ACEITE DE TOCTE>, < [secado por aspersión] SPRAY-DRYING>, <EXTRACCIÓN MECÁNICA>, <EFICACIA DE ENCAPSULACIÓN>.

SUMMARY

This paper presents the results of the development of a technology for microencapsulation of Neotropical Juglans oil (tocte) by means of spray drying. For which a mechanical oil extraction was performed in a PITEBA press, giving greater extraction yield 79%. The concentration influence of encapsulating agents on the efficiency and performance of the microencapsulation process was evaluated. This process made it possible pilot scale obtaining spherical microcapsules with and without pores on the surface with higher encapsulation efficiency of 65%, less than 3µm size and linoleic acid content of 69.93%, oleic acid 19.17% and linoleic acid 4.24%, demonstrating the technology reproducibility in different scales and possible functionality in reducing risk for cardiovascular disease. Without micro encapsulating lipids and encapsulated micro proved stable over time reaching a percentage of humidity less than 10%. The designed process allowed a maximum use of natural resources (tocte seed) proving to be economically feasible. Besides the waste plant material (tocte) of Neotropical Juglans was delivered to the Technical University of Ambato for further analysis and applications.

Keywords:

MICROENCAPSULACION (tocte) / NEOTROPICAL JUNGLES / OIL TOCTE (spray drying) / SPRAY – DRYING / MECHANICAL EXTRACTION / ENCAPSULATION EFFICIENCY/.

INTRODUCCIÓN

Los extractos lipídicos de origen vegetal son ricos en ácidos grasos, los mismos que han demostrado reducir el riesgo de adquirir enfermedades cardiovasculares (EVC). Estas enfermedades son una de las causas principales de mortalidad y morbilidad, en la mayoría de los países occidentales estas enfermedades están asociadas con la raza, la edad que tiene relación con el tiempo requerido para el desarrollo de las lesiones o la duración de la exposición de los factores de riesgo. (INEC, 2013)

Actualmente, uno de los principales problemas de salud son las enfermedades cardiovasculares con 4.189 casos en el año 2013. La incidencia de estas patologías se está incrementando exponencialmente a causa de estilo de vida actual, convirtiéndose en un problema de salud público. (INEC, 2013)

Para el año 2008, en Ecuador se reportaron 17,3 millones de muertes por enfermedades cardiovasculares, lo cual representa un 30% de todas las muertes registradas en el mundo; 7,3 millones de esas muertes se debieron a la cardiopatía coronaria, y 6,2 millones a los accidentes vasculares cerebrales (AVC). Las muertes por ECV afectan por igual a ambos sexos, y más del 80% se producen en países de ingresos bajos y medios. Se calcula que en 2030 morirán cerca de 23,3 millones de personas por ECV y se prevé que sigan siendo la principal causa de muerte. (OMS)

Con el continuo avance de la ciencia, la población se encuentra inmersa en una gran variedad y cantidad de productos utilizados para curar numerosas dolencias como son la atorvastatina y la lovastatina, pero en muchas ocasiones no es posible adquirirlas debido a su elevado costo. (Tamayo, M. 2014. p. 28-32).

Debido a este inconveniente, es preciso encontrar alternativas para poder reducir el riesgo de adquirir enfermedades cardiovasculares, de una forma que resulte accesible a la población, ya que el Ecuador no cuenta con una empresa nacional que utilice la tecnología de microencapsulación; que es útil para producir formulaciones sólidas de ácidos grasos insaturados; lo cual dota de un vehículo a un alimento funcional y mejora considerablemente propiedades como la estabilidad. (Tamayo, M. 2014. p. 28-32).

El uso del aceite de *Juglans neotropica*, se debe a que cuenta con el 19.17% de omega 3, 69,93% de omega 6, 4,24% de γ omega 6 y 5,05% de ácido palmítico que actúan previniendo el riesgo de adquirir enfermedades cardiovasculares y en el correcto desarrollo del cerebro y la retina en fetos y bebés. (Cusquillo, 2014. p. 123).

De esta forma, brindar una alternativa para la prevención de la patología a un bajo costo, constituye una ventaja con respecto a productos comerciales, además de proporcionar a la industria tanto de alimentos como farmacéutica compuestos como ácidos grasos omega 3, 6 y alfa omega 6 que no pueden ser ingresados en formulaciones sólidas ya que afectarían a la estabilidad de los productos.

Además de corroborar con la investigación nacional ya que dentro de las prioridades del sistema de salud, constan las enfermedades cardiovasculares como una de la principales patologías a tener en cuenta. (INEC, 2013)

En consideración a este marco, existe la necesidad de investigar y desarrollar un producto que sea eficaz en la prevención de esta patología y que además sea accesible para la población.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Enfermedades cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son un conjunto de desórdenes de los vasos sanguíneos y del corazón, entre los que se incluyen:

- La cardiopatía coronaria: patología de los vasos sanguíneos los cuales irrigan al músculo cardíaco;
- Las arteriopatías periféricas: patología de los vasos sanguíneos los cuales irrigan los miembros superiores e inferiores;
- Las enfermedades cerebrovasculares: patología de los vasos sanguíneos los cuales irrigan el cerebro;
- Las cardiopatías congénitas: son malformaciones del corazón concurrencias desde el nacimiento; y
- La cardiopatía reumática: contusiones de las válvulas cardíacas y del músculo cardíaco debidas a la fiebre reumática, que es una enfermedad ocasionada por bacterias llamadas estreptococos;
- Las embolias pulmonares y las trombosis venosas profunda: en las venas de las piernas se presentan con coágulos de sangre (trombos), que posiblemente pueden desprenderse (émbolos) y albergar en los vasos de los pulmones y el corazón.

Los accidentes vasculares cerebrales (AVC) y los ataques al corazón suelen ser fenómenos agudos que se producen sobre todo debido a obstrucciones que no permiten que la sangre fluya hacia el cerebro o el corazón. (OMS, 2015)

La causa más habitual se debe a la formación de depósitos de grasa ubicados en las paredes de los vasos sanguíneos que irrigan el cerebro o el corazón. Los AVC además pueden deberse a coágulos de sangre o hemorragias de los vasos cerebrales. (OMS, 2015)

Los accidentes cerebrovasculares (ACV) ataques cardíacos suelen poseer su causa en la presencia de una mezcla de factores de riesgo, tales como la obesidad, las dietas malsanas, el consumo nocivo de alcohol, la inactividad física, el tabaquismo, la diabetes, la hipertensión arterial y la hiperlipidemia. (OMS, 2015)

1.1.1 Principales factores de riesgo

Las causas principales de AVC y cardiopatía son la inactividad física, dieta malsana, el consumo nocivo de alcohol y el consumo de tabaco. Las consecuencias de los factores de riesgo comportamentales pueden presentarse en las personas en forma de sobrepeso u obesidad, hipertensión arterial, hiperlipidemia e hiperglucemia.

Estos "factores de riesgo intermediarios", pueden ser medidos en los centros de atención primaria y son un indicativo de un aumento del riesgo de sufrir ataques cardíacos, insuficiencia cardíaca, accidentes cerebrovasculares y otras complicaciones. (OMS, 2015)

Está confirmado que la reducción de la sal de la dieta, el cese del consumo de tabaco, la ingesta de frutas y hortalizas, el evitar el consumo nocivo de alcohol y la actividad física habitual reducen el riesgo de padecer ECV. (OMS, 2015)

Por otra parte, puede ser preciso prescribir un tratamiento farmacológico para la hipertensión o la hiperlipidemia, la diabetes, con el fin de prevenir accidentes cerebrovasculares, ataques cardíacos y reducir el riesgo cardiovascular. Son esenciales las políticas sanitarias que crean ambientes propicios para asegurar la disponibilidad y asequibilidad de opciones saludables para motivar a los seres humanos a que adopten y mantengan comportamientos sanos. (OMS, 2015)

También existen un sinnúmero de determinantes subyacentes de las enfermedades crónicas, que son un reflejo de las primordiales fuerzas que rigen los cambios económicos, sociales y culturales: el envejecimiento, la urbanización y la globalización de la población. Otros determinantes de las ECV son el estrés, la pobreza y los factores hereditarios. (OMS, 2015)

1.2 Juglans neotropica

1.2.1 Historia e introducción de Juglans neotropica

Esta planta es procedente de Persia (región del Himalaya), de donde fue transportado a Grecia y de allí a Italia y a los demás países de Europa. Hay evidencias fósiles de la existencia de *Juglans neotropica* también conocido como Nogal o tocte en la Península Ibérica, que se remontan a la época Paleolítica. (Chusquillo, 2014. p. 123).

El hombre ha usado el desde tiempos inmemorables el tocte, muchas supersticiones y leyendas se han asociado con esta especie, que romanos y griegos la consideraron por mucho tiempo como un símbolo de fecundidad (frutos secos, salud y culturas mediterráneas). Los romanos también la consideraron como alimentos de los dioses. (Chusquillo, 2014. p. 123).

El tocte se encuentra verdeando en estado silvestre en Asia menor y la Europa oriental, así como también en Norteamérica, conformando un indiscutible número de especies más o menos cultivadas. (Chusquillo, 2014. p. 123).

El nombre del género deriva del latín *juglans*, nombre romano del nogal y el nombre de *Juglans neotropica*, significaba literalmente: bellota o castaña de Zeus. (Chusquillo, 2014. p. 123).

En la antigua Grecia el tocte estaba protegido por Artemisa, que era la Diosa de la naturaleza, y este fue una creación de su hermano Apolo, el Sol. (Chusquillo, 2014. p. 123).

Por otra parte los frutos del tocte o nogal como el *Juglans neotropica* y la nuez integra las costumbres del casamiento y el amor: es un símbolo del abandono de la época de solteros y de la casa paterna. (Chusquillo, 2014. p. 123).

Desde la antigüedad *Juglans neotropica* fue símbolo de superación de la muerte y renovación de la vida. (Chusquillo, 2014. p. 123).

En el Cercano Oriente se la consideraba como el árbol de los difuntos y es por esto que se lo sembraba en los cementerios, en Europa se lo sembraba cuando nacía un niño ya que era símbolo de una nueva vida. En la zona del Mediterráneo se creía que el tocte o nogal era un árbol embrujado, pero como contrapartida, sus ramas se ponían en las ventanas de las viviendas para protegerse de los hechizos de las brujas. (Chusquillo, 2014. p. 123).

Según el simbolismo asturiano creía que el tocte o Nogal es peligroso, pues cualquiera que se quede dormido a su sombra enfermaría. Además, al contrario que el Fresno o el Laurel, atrae a los rayos. Sus frutos poseen forma de pequeños cerebros y es por esto que se pensaba que afectan a la mente. (Chusquillo, 2014. p. 123).

Los celtas atribuían poderes afrodisíacos a sus frutos y relacionaban el tocte o nogal con la profecía. (Chusquillo, 2014. p. 123).

Existían muchas historias sobre el misterioso árbol llamado tocte o Nogal, pero todas concordaban que era un árbol que da buenos frutos, se lo usaba para curar enfermedades, su madera es muy buena, noble y fácil de tallar. (Chusquillo, 2014, p. 123).

1.2.2 Descripción botánica

En condiciones propicias habitualmente alcanza unos 20m de altura. Es frecuente que la mitad del fuste sea limpio, es de porte recto, tiene una copa irregular, con predisposición a ser proporcionadamente reducida y de ramas gruesas. (Chusquillo, 2014, p. 123).

Las flores masculinas surgen en las ramas del año anterior, en las axilas de las cicatrices foliares. Son dispuestas en espiga y numerosas. (Chusquillo, 2014, p. 123).

Las flores femeninas se sitúan, en grupos de 2 a 4, en el extremo de las ramas. (Chusquillo, 2014, p. 123).

Los frutos de son de drupa redonda, con pedúnculo cortó y de color pardo a negro. Al romperse el mesocarpio del fruto, queda *Juglans neotropica* o semilla con su cubierta característica. (Chusquillo, 2014, p. 123).

1.2.3 Taxonomía

En la tabla 1-1. se presenta la clasificación taxonómica del nogal:

Tabla 1-1: Clasificación taxonómica del Nogal

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| Nombre Científico | <i>Juglans Neotrópica Diels</i> |
| Reino | <i>Plantae</i> |
| Subdivisión | Angiosperma |
| Clase | Dicotiledonea |
| Orden | <i>Juglandales</i> |
| Familia | <i>Juglandaceae</i> |
| Género | <i>Juglans</i> |
| Especie | <i>Neotrópica</i> |

Fuente: Rojas y Torres, 2008.

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

1.2.4 *Juglans neotropica* en el Ecuador

En Ecuador se lo planta hasta los 3000 msnm, cerca de las casas campesinas y en zonas con lluvia anual sobre 600mm. (Chusquillo, 2014. p. 123).

Es frecuente ver este árbol en los valles interandinos junto a las casas campesinas o a la corriente de agua. También se encuentra dentro de las propiedades urbanas como ornamental. (Chusquillo, 2014. p. 123).

En el Ecuador se lo puede encontrar en la provincia de Loja, en San Antonio de Ibarra, en el puyo en el sector de la cascada del manto de la novia, en Quito en el parque La Carolina. En el cantón de Pimampiro en la provincia de Imbabura encontramos la Hacienda del señor Arnolfo Godoy el cual tiene 2 hectáreas de cultivo de tocte y él es el principal proveedor de la ciudad de Ibarra. (Chusquillo, 2014. p. 123).

1.2.5 *Análisis nutricional*

Juglans neotropica es uno de los frutos que posee un mayor contenido en hierro, fácilmente asimilable por la presencia de vitamina C.

Tabla 1-2: Composición nutricional de *Juglans neotropica*

| Valor nutricional del tocte por 100 g de materia seca | |
|---|-----|
| Lípidos (%) | 66 |
| Proteínas (%) | 18 |
| Potasio (mg) | 500 |
| Fósforo (mg) | 350 |
| Calcio (mg) | 100 |
| Sodio (mg) | 3 |
| Hierro (mg) | 3 |
| Calorías (kcal) | 678 |
| Vitaminas: E, A, C, niacina, tiamina y riboflavina | |

Fuente: (Rosales, 2009)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

1.3 Ácidos Grasos

1.3.1 Omega 3

El omega 3 es un tipo de grasa que el cuerpo humano no la puede fabricar, es un ácido graso esencial, y por esta razón lo debemos ingerir cada día a través de la alimentación.

El omega 3 contiene ácidos grasos poliinsaturados, ácido docosahexaenóico (DHA) y ácido eicosapentaenóico (EPA). Se encuentra en algunos tipos de grasa de pescado como en el arenque, las anchoas, la caballa y en el salmón. En 1976, el científico Danés H.O. Bang y J. Dyerberg estudiaron la dieta esquimal y demostraron que la dieta alta en pescado, que se traduce en ácidos grasos omega 3, puede disminuir los niveles de triglicéridos en la sangre y evitar que se obstruyan las arterias. (Gomez, 2013)

1.3.2 Omega 6

El omega 6 es otro ácido graso muy importante. Éste contiene ácido linoléico, y se halla en aceites vegetales, semillas y nueces. El omega 6 contribuye al desarrollo del cerebro y a una buena salud reproductiva. (Gomez, 2013)

Las prostaglandinas que se constituyen a partir de los ácidos grasos Omega 6 se las llaman prostaglandinas de serie 1. Estas conservan la sangre fina, rebajan la presión sanguínea, relajan los vasos sanguíneos, ayudan a mantener el equilibrio de agua en el cuerpo, disminuyen la inflamación y el dolor, ayudan a que la insulina funcione y mejoran la función nerviosa e inmunitaria, que es bueno para el equilibrio de la glucosa en sangre, todo esto es esencial durante el embarazo. Las prostaglandinas no se pueden suplementar debido a que tienen una vida muy corta. Por lo tanto, se debe tener una buena ingesta de grasas Omega 6 a partir de las cuales el cuerpo podrá fabricar las prostaglandinas que necesita. (Holford, 2015. p. 124-127)

La deficiencia de las grasas Omega 6 en el embarazo podrá impactar gravemente en la salud del bebe, adquiriendo dificultades en el crecimiento, poco cabello, problemas en la piel, sufrir de diarrea y utilización deficiente de los alimentos para producir energía. (Holford, 2015 p. 124-127)

1.4 Extracción de lípidos a partir de semillas

Un primer aspecto de gran importancia en la operación de extracción de aceites a partir de semillas oleaginosas, lo constituye el contenido de humedad, admitiéndose para la mayor parte una humedad máxima de 10 %. (Bernardini E., 1981; Arambarri A., 1993).

Un ejemplo lo constituye las semillas de Saw palmetto en las cuales el contenido de humedad debe ser inferior a 12 %. (USP, 31).

Otro aspecto importante es la molinada, el cual tiene por objeto romper las células y provocar la salida del aceite de las vacuolas para permitir su separación. Actualmente se utilizan molinos de martillos y se recomienda un tamaño de partícula entre 0,8 y 1 mm. (Bernardini E., 1981; Arambarri A., 1993).

Tradicionalmente se han empleado para extraer aceites dos métodos, el prensado y la extracción con disolventes, en el cual han sido empleados comúnmente n-hexano, y éter de petróleo (Bernardini E., 1981).

El contenido de aceites en las semilla oleaginosas puede variar por múltiples factores, dependiendo de las características y condiciones del cultivo, la variedad, la altitud, condiciones climáticas etc. Por ejemplo en las aceitunas las cantidades oscilan entre el 15 y el 35 % (Arambarri, 1993. p.386-394), el extraído de frutos de *Roystonea regia* oscila entre 16,4 y 27,9 % (Rodríguez, et al. 2007. p.351-359), y en la *C. pepo* L se ha encontrado entre 22 y 35 % para zonas de baja y elevada altitud respectivamente.

1.5 Nano o Microencapsulación

La micro o Nanoencapsulación es una tecnología en rápida expansión que ofrece numerosas aplicaciones beneficiosas en las industrias alimentarias, ya que este método ayuda a proteger muchos compuestos básicos funcionales, tales como antioxidantes, enzima, polifenol y micronutrientes para entregarlos al sitio de destino en buenas condiciones y para protegerlos de un ambiente adverso (Gouin, 2004; Lee et al, 2013.). El desarrollo de la nanotecnología en la escala nanométrica ha llevado al desarrollo de muchas oportunidades tecnológicas, comerciales y científicas para la industria. (Huang et al, 2010. p. 50-57).

La aplicación de la microtecnología en la industria alimentaria implica muchos cambios característicos en la macroescala, tales como la textura, el sabor y el color, que han conducido al

desarrollo de muchos nuevos productos. Esto también mejora muchas funciones, tales como la biodisponibilidad oral, solubilidad en agua, y la estabilidad térmica de compuestos funcionales (McClements et al, 2009. p. 577-606). Se afirma que los compuestos funcionales proporcionan muchos beneficios para la salud en la prevención y tratamiento de muchas enfermedades, y estos compuestos pueden verse fácilmente en el mercado en diversas formas. Sin embargo, la sostenibilidad de la prestación de los compuestos bioactivos funcionales al sitio de destino es muy escasa, especialmente compuestos lipófilos. (Chau et al, 2007. p. 269-280).

Esta tecnología mejora la disponibilidad y aumenta la absorción de los compuestos funcionales en el tracto gastrointestinal, lo cual es un requisito crítico. El desarrollo de las tecnologías de nano o de microencapsulación ofrece posibles soluciones para mejorar la biodisponibilidad de muchos compuestos funcionales. (Chau et al, 2007. p. 269-280).

1.5.1 Nanopartículas o microencapsulación como una fuente de suministro de componentes funcionales

Las técnicas de nano o microencapsulación son uno de los campos más interesantes ya que pueden actuar como portadores o sistemas de entrega de componentes funcionales, tales como antioxidantes, sabor y agentes antimicrobianos (Wissing et al., 2004; Sanguansri y Augustin, 2006; McClements et al, 2009; Weiss et al, 2008). Los principales compuestos funcionales que a menudo deben ser incorporados en los alimentos se pueden dividir en cuatro categorías: (1) ácidos grasos (por ejemplo, ácidos grasos omega tres); (2) los carotenoides (por ejemplo, β -caroteno); (3) antioxidantes (por ejemplo, tocoferol); y (4) fitosteroles (por ejemplo, estigmasterol).

Durante varias condiciones ambientales, tales como el procesamiento de la refrigeración, la congelación, y térmica, que ocurren comúnmente durante el procesamiento de alimentos, las cápsulas son susceptibles a la inestabilidad. Las propiedades de estabilidad física se encuentran en diferentes niveles durante el proceso de encapsulación, como la estabilidad requerida en los ingredientes alimentarios o en la matriz alimentaria. Además, la estabilidad también varía con el tipo de sistema de alimentos en el que se incorpora (McClements et al, 2009. pp. 577-606).

1.5.2 Técnicas utilizadas para la producción de nanopartículas o microencapsulación de alimentos

Compuestos funcionales y las propiedades del material de la pared, tales como tamaño de partícula, distribución de tamaño, eficiencia de encapsulación, la forma y solubilidad, son

alterados por las técnicas utilizadas para la encapsulación. Por lo tanto, es importante seleccionar la técnica adecuada basada en el requisito de cualquiera de las nanopartículas o microencapsulación. Técnicas de Nanoencapsulación son más complejas que el proceso de microencapsulación. Numerosas técnicas se han utilizado en la preparación del proceso de microencapsulación. Sin embargo, coacervación, nano-precipitación, formación de complejos de inclusión, y las técnicas de extracción con fluidos supercríticos se consideran las técnicas Nanoencapsulación que pueden producir cápsulas en el rango nano. La reducción de tamaño de las cápsulas se consigue principalmente por la evaporación de disolvente de emulsión y la emulsión que no tiene impacto en cualquier otro factor, tales como el pH y la temperatura. La coacervación, la técnica de fluido supercrítico, y la formación de complejos de inclusión también ayudan a la reducción de tamaño; Sin embargo, depende en gran medida de otros factores, tales como el pH y la temperatura. La coacervación y extracción con fluidos supercríticos se usan para la encapsulación de ambos compuestos hidrófilos y lipófilos, mientras que la evaporación-emulsificación disolvente y la formación de complejos de inclusión se utilizan en gran medida para los compuestos lipófilos (Reis et al, 2006; Leong et al., 2009).

Los principales problemas en la micro o nanocápsulas son agregaciones irreversibles y fugas de compuestos funcionales, y que es necesario secar los compuestos para una mejor estabilidad de estos compuestos. Técnicas de liofilización y secado por pulverización son las técnicas más utilizadas para la versión estable de compuestos funcionales (Choi et al, 2004. pp. 335-346). Secado aumenta una mayor estabilidad frente a la suspensión original, y puede mantener los compuestos funcionales para largos períodos de almacenamiento. (Guterres, 2009. pp. 205-209).

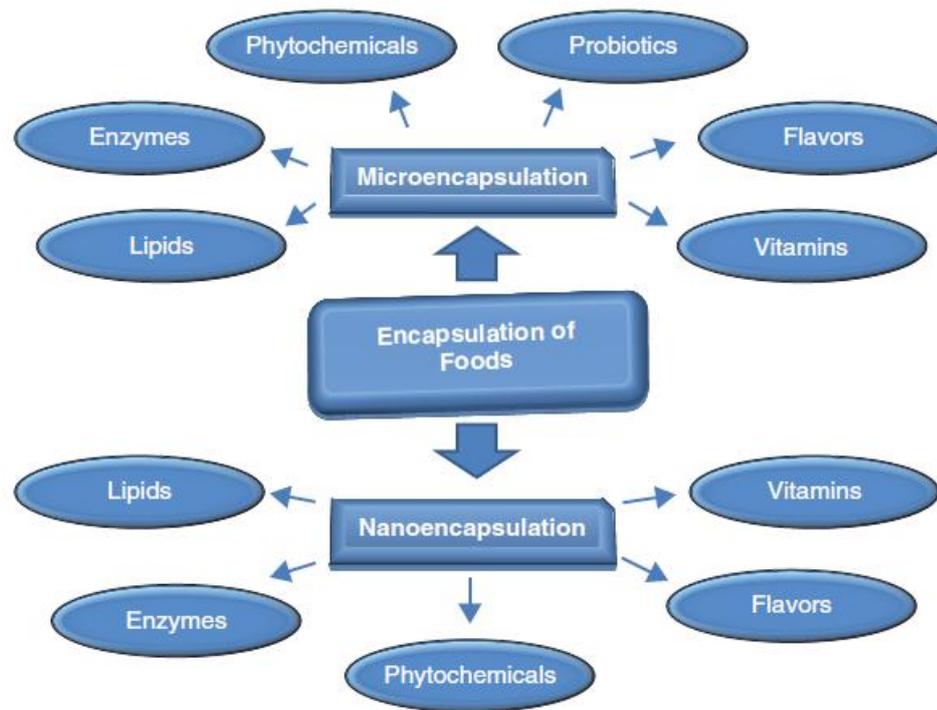


Figura 1-1. Representación esquemática de la encapsulación de los alimentos.

Fuente: (Reis et al, 2006; Leong et al., 2009).

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

1.5.3 Nano o Microencapsulación de lípidos

Los lípidos son uno de los ingredientes alimentarios (por ejemplo, aceite de pescado, ácido linolénico, aceite de salvado de arroz, ácido palmítico, aceite de cacahuete, aceite de girasol, aceite de maíz, grasa de foca, etc.) que tienen un modo preferido de encapsulación tales como secado por pulverización, congelación secado y secado al vacío (Desai et al, 2005. pp.1361-1394). Estas aplicaciones previenen la degradación oxidativa durante el almacenamiento y el procesamiento.

Materiales basados en carbohidratos tales como goma arábiga, almidón modificado, y maltodextrinas se han utilizado para encapsular diversos fitoquímicos (Taylor, 1983. pp. 48-51). Las vitaminas liposolubles (vitaminas A, D, E, y K) por lo general utilizan otros métodos de encapsulación, tales como coacervación, formación de complejos de inclusión, y el atrapamiento de liposomas. Estas aplicaciones son para reducir malos sabores, para controlar el tiempo de liberación de los nutrientes, para mejorar la estabilidad de las temperaturas extremas a la humedad, y para reducir la interacción de cada nutriente con otros ingredientes (Gharsallaoui et al., 2007. pp. 1107-1121).

1.5.4 Técnicas de microencapsulación

1.5.4.1 Spray-Drying

El secado por pulverización es uno de los métodos de encapsulación más comunes utilizados en la industria alimentaria (Desorby et al., 1997; Sansone et al., 2011). En comparación con otras técnicas de encapsulación, el uso de secado por pulverización en la industria alimentaria tiene algunas ventajas, tales como la amplia disponibilidad de equipos, la producción a gran escala, operación de unidad continua simple, fácil manipulación de las condiciones de procesamiento, y bajo costo de proceso (Lee et al, 2008. pp. 320-342). El principio de microencapsulación de secado por pulverización se basa en el atrapamiento físico de materiales de núcleo en la matriz de la pared de polvos secados por pulverización a través de una evaporación espontánea rápida de agua de una niebla de gotitas finas que se atomiza en una cámara de secado por pulverización a partir de una alimentación de solución que consta de materiales de núcleo y de la pared (Jyothi et al., 2010. pp. 187-197). El tamaño de los polvos secados por pulverización está típicamente en el intervalo de 10-100 micras de diámetro (Desobry y Debeaufort, 2012. pp. 1329-1334). Una limitación de la técnica de secado por pulverización puede ser el número limitado de biopolímeros naturales disponibles como materiales de la pared (Desai y Park, 2005. pp. 1361-1394). En general, los materiales de la pared para el secado por pulverización deben ser altamente soluble en agua y de baja viscosidad a alta concentración de sólidos, y también tienen un buen secado y propiedades de formación, así como propiedades emulsionantes película si van a ser encapsulados materiales lipídicos (Reineccius, 1988. pp. 232-237). Materiales de la pared típicos que han sido utilizados para el secado por pulverización son algunas proteínas, tales como proteínas de suero de leche, caseinato de sodio, proteínas de soja, y polisacáridos, tales como goma árabe y maltodextrina (MD) con valores diferentes equivalente de dextrosa (DE). Otros materiales de la pared incluyen almidón modificado, gelatina, goma arábiga, y el quitosano. Estos materiales de pared se utilizan solos o en combinaciones de dos o más en diferentes proporciones. (Reineccius, 1988 pp. 232-237).

Entre estos materiales de la pared de encapsulación, MDs son uno de los agentes de encapsulación más comúnmente utilizados y rentables debido a su baja viscosidad a alta concentración de sólidos y su capacidad para formar matrices densas de pared, por lo tanto la protección de los materiales del núcleo encapsuladas de la oxidación (Desorby et al, 1997. pp. 1158-1162). La formación de matrices densas de pared con MDS como una barrera impermeable al oxígeno se basa en su capacidad para formar una especie de red de matriz vítrea amorfa con la rápida eliminación de agua a través de la evaporación de su medio de dispersión (Laine et al, 2008. pp. 11251-11261). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que aunque el uso de MD con mayor DE (es

decir, peso molecular más pequeño) se puede utilizar para formar una matriz de pared compacta densa que es más impermeable al oxígeno, los polvos secados por pulverización resultantes pueden convertirse en altamente higroscópico y tener una temperatura de transición vítrea inferior, que conduce a problemas de pegajosidad y apelmazamiento durante el almacenamiento (Desorby et al, 1997. pp. 1158-1162).

Como consecuencia de ello, la integridad estructural de los polvos secados por pulverización como un sistema de encapsulación es interrumpido debido a la cristalización de los hidratos de carbono (Drusch et al, 2006. pp. 501-512b). Por esta razón, el uso de MD con mayor DE como materiales de la pared y la incorporación de pequeños pesos moleculares de los hidratos de carbono (por ejemplo, glucosa, sacarosa, oligosacáridos), en las matrices de pared debe controlarse adecuadamente la absorción de la humedad de los polvos secados por aspersión ya que estos pueden provocar un ligero aumento en el contenido de humedad durante el almacenamiento lo que disminuiría sus temperaturas de transición vítrea por debajo de la temperatura ambiente pudiendo causar el colapso estructural y la desestabilización de los polvos resultantes. (Tonon et al, 2010. pp. 907-914).

1.5.4.2 Coacervación

La coacervación es un proceso de formación de los complejos entre los biopolímeros en solución que se conoce como la separación de fases. De Kruif et al. (2004) han descrito los complejos formados en solución como nuevas entidades coloidales. La coacervación se puede utilizar para encapsular compuestos en agua o solubles en lípidos mediante el uso de dos métodos diferentes, llamada simple y compleja, dependiendo del número de polímeros utilizados. En la coacerva- simple, sólo se utiliza un único polímero, mientras que más de un polímero se utiliza en el complejo de coacervación. Este complejo polimérico es inducido por el cambio de algunas variables (por ejemplo, pH, temperatura, y la adición de electrolitos de sales inorgánicas). Uno de los sistemas más ampliamente utilizados por coacervación simple es perlas de alginato (esferas) que atrapan compuestos activos mediante el uso de sus propiedades de gelificación para formar un hidrogel en la presencia de cationes bivalentes, tales como el calcio. La superficie de perlas de alginato húmedas puede ser recubierto por una deposición electrostática con un polímero (por ejemplo, quitosano) de cargas opuestas. Técnicamente el alginato es un polisacárido aniónico que consiste en ácidos manurónico y glucurónico y es extraído de algas pardas. Perlas de alginato de calcio se forman mediante el uso de dos métodos sencillos, ya sea de extrusión o emulsión. En el método de extrusión, una solución de alginato que contiene un compuesto activo es gota a gota extruido como pequeñas gotitas, usando una aguja de jeringa o de un pequeño orificio, en una solución de cloruro de calcio mientras se agita

(Figura 1-3.). En el método de emulsión, la solución de alginato que contienen materiales de núcleo se dispersa en el aceite mientras se agita, seguido por la adición de una solución de cloruro de calcio. Alternativamente, se pueden añadir las perlas de alginato de calcio pre-hechos con exclusión de un compuesto activo y se dispersan en una solución de compuesto activo para inducir la absorción de compuestos activos. Las propiedades (tamaño y la firmeza) y la eficiencia de encapsulación de perlas de alginato se ven afectados por varios factores, incluyendo el tipo de alginato (por ejemplo, baja, media, y alta viscosidad, la relación de ácidos manurónico y glucurónico), la concentración de alginato y calcio cloruro, tiempo de reacción, y la velocidad de agitación. En la coacervación compleja, el pH normalmente cambia por debajo del punto de uno de los dos polímeros en el mismo medio de reacción isoeléctrico ya que los dos polímeros poseen cargas opuestas, por lo tanto, conduce a su asociación a través de la atracción electrostática (Subirade y Chen, 2008; De Vos et al., 2010). La coacervación se considera que es adecuado para la encapsulación de compuestos sensibles al calor ya que este método es simple y suave. Los tipos de polímeros comunes usados incluyen: (1) para la coacervación simple: gelatina, alginato, quitosano, glucano, y derivados de celulosa; y (2) para la coacervación compleja: gelatina / goma Arábica, gelatina / carboximetil celulosa, alginato / polilisina, alginato / quitosano, albúmina / goma árabe, y glucano derivados / celulosa. Entre los coacervados complejos, gelatina / goma árabe es uno de los sistemas más ampliamente utilizados en el que la gelatina se usa como un polielectrolito positivo y goma árabe se utiliza como un polielectrolito negativo. El tamaño de partícula de coacervados complejos es normalmente en el rango entre 20 nm y 300 micrómetros (Subirade y Chen, 2008; Dubey et al., 2009). Dependiendo del grado de interacción polímero y la agregación, los complejos pueden permanecer solubles o agregarse para formar una fase densa en solución (es decir, la separación de fases) o precipitar (Livney, 2008. pp. 153-158). En la encapsulación de compuestos activos hidrófobos por coacervación compleja, el compuesto activo se homogeniza con una solución acuosa de polímero / tensioactivo utilizando un homogeneizador de alta presión o de ultrasonidos para formar una emulsión de aceite en agua. Una solución de polímero secundaria se añade a la emulsión o viceversa, que es seguido posteriormente por el ajuste del pH a por debajo de un punto de un polímero isoeléctrico. La capa de coacervados complejos puede ser reticulado mediante el uso de agentes de reticulación para darles la integridad estructural rígida y firme. (Livney, 2008. pp. 153-158).

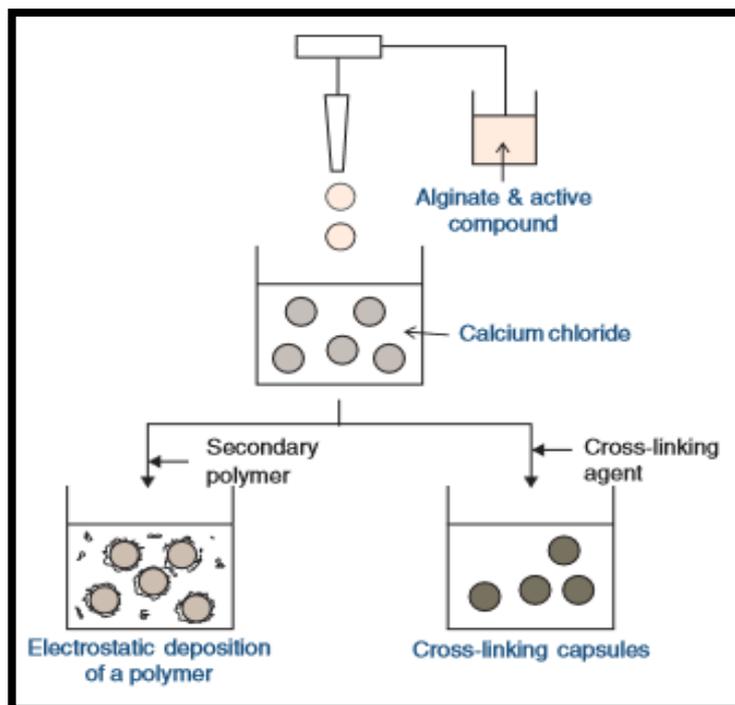


Figura 1-2. Representación esquemática de los procesos de coacervación simple y compleja.

Fuente: (Subirade y Chen, 2008; Dubey et al., 2009).

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

1.5.5 Consideraciones tecnológicas a tener en cuenta en el proceso de Nanoencapsulación o microencapsulación

Cuando se usan polisacáridos como agentes encapsulantes, deben revisarse detalladamente sus propiedades funcionales. Por ejemplo, las maltodextrinas se usan en combinación con goma arábica para contribuir en la continuidad estructural durante la formación de la película encapsulante, al combinar dos compuestos de muy diferente masa molecular (aproximadamente $9\ 000$ y $1,6 \times 10^6\ \text{g mol}^{-1}$ respectivamente) mejorando con ello la eficiencia de encapsulación de aceites, aún de bajo peso molecular. Sin embargo, el grado de hidrólisis de las maltodextrinas también es un factor a considerar, ya que equivalentes de dextrosa muy bajos no tienen el efecto positivo mencionado. (Pedroza R., 2002 b.; Emy L et al, 2009).

Recientemente se ha demostrado, que por la interacción existente entre la goma arábica y los lípidos se previene su oxidación. El mecanismo propuesto está relacionado con las propiedades de la goma arábica de adsorberse en la interface aceite/agua formando una película visco elástica, donde los lípidos contribuyen con la coherencia de la estructura a través de la formación de empalmes o uniones por medio de gólicas de aceite en los anclajes de las cadenas

de la goma arábica. Se ha reconocido el efecto benéfico de protección de los ácidos grasos poliinsaturados contra la oxidación usando polisacáridos (Pedroza R., 2002 b.; Emy L et al., 2009). Se ha estudiado la influencia de la concentración de sólidos en la alimentación y la temperatura del aire de entrada, en la microencapsulación de materiales volátiles (aromas) usando como modelo goma arábica, dando como resultado que la retención del material volátil se favorece con el empleo de la mayor concentración de sólidos y temperatura de entrada (Rosenberg et al., 1990.; Pérez et al., 2008.; Murúa y co., 2009).

Algunos autores han evaluado la sustitución de la goma arábica por otros agentes encapsulantes, para ello se prepararon emulsiones de concentraciones de sólidos entre 14,3 y 44,7 %. Las mismas se secaron a temperaturas de entrada de 180 °C y de salida entre 100 y 120 °C. Se concluyó que el uso de almidón de maíz como reemplazante total de la goma arábica produce un polvo con una eficiencia de encapsulación deficiente (30 %). Sin embargo, cuando se combinan 50 % de glucosa y 50 % de goma arábica se alcanza una eficiencia de encapsulación elevada (92 %). Además, se demostró que la goma arábica puede ser reemplazada parcialmente por maltodextrina o almidones con equivalente de dextrosa (DE) entre 5,5 y 38, para encapsular materiales lipídicos y que la elevación de la concentración de sólidos en la emulsión incrementa significativamente la eficiencia de encapsulación. Se han empleado otras condiciones de secado para emulsiones de maltodextrina y goma arábica con temperaturas de entrada de 180 y 200 °C y temperaturas de salida de 110 ± 10 °C y 95 °C. (Hogan et al, 2001. pp.1934-1938). A continuación en la tabla 1-3. se describen los agentes encapsulantes empleados así como las temperaturas de secado por aspersión para diferentes productos.

Tabla 1-3. Encapsulantes y parámetros de secado para diferentes productos

| Productos / Te/Ts (°C) | Encapsulantes | Observaciones | Bibliografía |
|--|---|--|--|
| Aceite de palma 180/113 | Maltodextrina y goma arábica | – | Habi Mat Dian L y col. 1996. |
| Aceite de soya 150/90 | Maltodextrina y gelatina | 30 % sólidos | Hoegger R. 2002. |
| Aceite de aguacate 180/80 | Aislado de proteínas de suero lácteo, maltodextrina DE 5 | Eficiencia de encapsulación 45 – 66 % | Bae E y col. 2008. |
| Aceite de girasol 155/90 | Dextrina DE 8 – 12, aislado de proteínas lácteas y lecitina de soya | Eficiencia de encapsulación de 96,6 % | Kim H–S y col. 2008. Ahn, J–H. y col. 2008. |
| Aceite de hígado de bacalao 170 ± 5/ – | Goma arábica, goma de mezquite y maltodextrina, solas y en mezclas | La goma arábica fue la que más retuvo el aceite | Pedroza R y col. 2002 a. |
| Aceite de hígado de tiburón 180/75 | Maltodextrina, goma arábica, gelatina | Eficiencia de encapsulación de 82 % | García E y col. 2007. |

| | | | |
|--|---|--|----------------------------|
| Aceite de pescado rico en ω -3 200/105 | Gelatina | 30 – 35 % sólidos | Hermida L y col. 2002. |
| Aceite de pescado 160/65 | Celulosa, leche descremada, gelatina y almidón de maíz | Eficiencia de encapsulación 92 % | Kolanowski W y col. 2007. |
| Aceite de pescado 170/70 | <i>n</i> -octenilsuccinato de almidón | 45 % sólidos y 18 % aceite | Drusch S y col. 2006 a. |
| Aceite de pescado 170/70 | Pectina de remolacha | 20 y 50 % aceite | Drusch S. 2007 a. |
| Aceite de pescado 160/60 210/90 | <i>n</i> -octenilsuccinato de almidón y sirope de glucosa | 20 y 50 % aceite | Drusch S y col. 2006 b. |
| Aceite de pescado 180/70 | <i>n</i> -octenilsuccinato de almidón, goma arábica, pectina de remolacha, caseinato de sodio y/o sirope de glucosa | – | Drusch S y col. 2007 b. |
| Aceite de pescado 170/70 | <i>n</i> -octenilsuccinato de almidón, y sirope de glucosa o trehalosa | – | Drusch S y col. 2006 c. |
| Ácido linoleico – | Concentrado de proteínas de suero lácteo al 30 % | Eficiencia de encapsulación 89,60 % Acido libre de 1,77 % | Jimenez M y col. 2004. |
| Ácido linoleico con linoleato – | Goma arábica | – | Aili W y col. 2002. |
| Ácido linoleico 200/100 | Maltodextrina, goma arábica | – | Watanabe Y col. 2002. |
| Vitamina A – | Maltodextrina, goma arábica | – | Yan–li X y col. 2007. |
| Productos / Te/Ts (°C) | Encapsulantes | Observaciones | Bibliografía |
| Carotenoides 170 ± 5/ 80 ± 3 | Maltodextrina, goma arábica, goma de mezquite | Eficiencia de encapsulación 87,50 % | Rodríguez, M. y col. 2004. |
| β -caroteno 170 ± 5/ 95 ± 5 | Almidón de tapioca nativo y modificado, maltodextrina | Eficiencia de encapsulación 82,18 % | Loksuwan, J. 2007. |
| Licopeno 190/ – | Gelatina y sacarosa | – | Shu, B y col. 2006. |
| 5–fenil–1,2–ditiol–3–tiona 110/75–85 | Maltodextrina DE 12,6; 10 – 30 % Sodio caseinato 4 % | Máximo rendimiento 74 % | Dollo G y col. 2003. |
| Aceite esencial de naranja 220/110 | Maltodextrina 64 % goma arábica 18 % | Se empleó 18 % de aceite para esta relación | Ascheri, D. y col. 2003. |
| Aceite de piel de naranja 200 ± 5/110 ± 5 | – | – | Beristain, C. y col. 2003. |
| Aceite de canela 170/100 | Maltodextrina, goma arábica | 20 % sólidos 10 % – 30 % – 60 % (A:M:GA) | Hoegger, R. 2002. |
| Aceite de limón 130/90 | Maltodextrina, goma arábica | 20 % sólidos | Hoegger, R. 2002. |

| | | | |
|--|--|---|-----------------------------------|
| Aroma de naranja 150/90 | Maltodextrina, goma arábica | 17 % sólidos 25 % – 25 % – 50 % (A:M:GA) | Hoegger, R. 2002. |
| Aroma de fresa 150/90 | Maltodextrina, goma arábica | 35 % sólidos 25 % – 25 % – 50 % (A:M:GA) | Hoegger, R. 2002. |
| D-Limoneno 200/110 ± 10 | Goma arábica 20 % Maltodextrina DE 20 10 % | – | Soottitantawat, A. y col. 2005 a. |
| D-Limoneno, butirato de etilo y propionato de etilo | Maltodextrina, goma arábica | – | Soottitantawat, A. y col. 2003. |
| Butirato de etilo 150/74–104 | Goma arábica 10 % Maltodextrina 10 % y 30 % | – | Yoshii, H. y col. 2001. |
| Monoterpenos (β-pineno, limoneno, citral, linalol y β-mirceno) 153/93 | Goma arábica | Orden de retención: β-pineno, citral, limoneno, β-mirceno y linalol | Bertolini, A. y col. 2001. |
| L-mentol 180/ 100 ± 5 | Goma arábica, CAPSUL y HI-CAP 100 | – | Soottitantawat, A. y col. 2005 b. |
| Aceite de perfume 130/70 | Maltodextrina, goma arábica | 25 % – 50 % – 25 % (A:M:GA) | Hoegger, R. 2002. |
| Leyenda: Te/Ts: Temperatura de entrada/Temperatura de salida (A: M: GA): Aceite o aroma, maltodextrina, goma arábica | | | |

Fuente: (López, 2010)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

1.5.6 La goma arábica y la maltodextrina como encapsulantes

La goma arábica, conocida también como acacia, es un coloide vegetal obtenido de la planta leguminosa *Acacia senegal* L de la familia Acacia. Está compuesta principalmente por el ácido D-glucurónico, la L-ramnosa, la D-galactosa y la L-arabinosa, con cerca de 5 % de proteína responsable de sus propiedades emulsificantes. (Hogan et al, 2001. pp.1934-1938).

Tiene una propiedad interesante y única, que es su baja viscosidad en soluciones acuosas en comparación con otras gomas que producen soluciones de alta viscosidad a concentraciones tan bajas como 1 %. Este polímero ha sido históricamente preferido como material de pared, por sus ventajas como la alta solubilidad en agua, (superior a 50 %) y sus características como tensoactivo. (Hogan et al, 2001. pp.1934-1938).

La maltodextrina es un polímero sacárido nutritivo, de fórmula $(C_6H_{12}O_5)_n \cdot H_2O$ que consiste en unidades de D-glucosa unidas por la cadena α 1–4, con un equivalente de dextrosa (DE) menor que 20, obtenido por la hidrólisis parcial del almidón con ácidos o enzimas. Se utiliza como estabilizante de emulsiones. (Hogan et al, 2001. pp.1934-1938).

1.6 Indicadores para evaluar la calidad de las nano o microcápsulas

Para la evaluación y caracterización de las microcápsulas, se han usado distintas técnicas de análisis que se describen a continuación. (López, 2010. pp. 381-389)

1.6.1 Contenido de aceite superficial

Es un procedimiento que permite medir la cantidad de aceite no encapsulado presente en la superficie de los polvos. Para realizar esta determinación se utiliza el método Soxhlet. (López, 2010. pp. 381-389)

1.6.2 Eficiencia de encapsulación

Muestra la cantidad de aceite encapsulado, proporcionando una medida de la eficiencia del procedimiento de microencapsulación utilizado. (López, 2010. pp. 381-389).

1.6.3 Distribución de tamaño de partículas

Indica la caracterización del diámetro de las microcapsulas. (López, 2010. pp. 381-389).

1.6.4 Morfología

Muestra la forma geométrica de las microcapsulas, lo cual es un indicador de importancia que precisa aspectos tecnológicos en las etapas posteriores de producción de la forma terminada. (López, 2010. pp. 381-389).

1.6.5 Aspecto de la superficie

Permite determinar el aspecto de la capa polimérica por la presencia o ausencia de grietas y poros, los cuales pueden provocar una inestabilidad de las microcápsulas. (López, 2010. pp. 381-389).

1.6.6 Carga de principio activo

Enseña el contenido de la sustancia activa microencapsulada, con la cual se puede formular el producto final con la dosis requerida. (López, 2010. pp. 381-389).

1.6.7 Humedad

Todos los alimentos, sin importar el método de industrialización al que se les haya sometido, poseen agua en menor o mayor proporción. La cantidad de contenido de agua oscila entre 60 y 95% en los alimentos naturales. En los tejidos animales y vegetales, se puede decir que está en dos formas: “agua ligada” y “agua libre”. El agua ligada se encuentra absorbida o combinada. En los alimentos se halla como agua de cristalización (en los hidratos) o ligada a las moléculas de sacáridos y a las proteínas y es absorbida sobre la superficie de las partículas coloidales. El agua libre o absorbida, que es la forma predominante, se libera con gran facilidad. (Hart, 1991. pp. 19-23).

1.6.8 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

SEM fue desarrollado por Manfred von Ardenne, en 1937. En este método, las imágenes de una muestra se generan mediante el escaneo con una alta energía (por lo general 20 a 30 keV) haz de electrones primarios (McMullan, 1995). La imagen se forma sobre la pantalla, que es similar a un microscopio óptico, pero con muchas más grandes posibilidades de ampliación y mucha mayor profundidad de campo y resolución. (Méndez y Díaz, 2010. pp. 2182-2189).

En la investigación nanotransportador, SEM se utiliza generalmente para proporcionar información general sobre el tamaño de partícula, forma de las partículas e incluso el grosor de la cáscara de la nano y microcápsulas (Wang et al, 2008; Liu y Park, 2009). La ampliación máxima eficaz es de aproximadamente 100.000 veces y que puede ser utilizado para medir el tamaño de partícula en el intervalo de 10 nm a 500 micrómetros con una resolución muy alta (alrededor de 5 nm) (Hafner, 2007; Merkus, 2009e). Este método también requiere la calibración y el tiempo para una medición cualitativa es de aproximadamente 5 minutos y el tiempo para una medición cuantitativa se trata de al menos 1 hora. Este método también es muy caro y necesita un tiempo largo para la preparación de la muestra, tiene un bajo rendimiento, y requiere superficies de las partículas a ser conductor durante el análisis, y el sesgo puede resultar de tomar la superposición de partículas como partículas individuales (en los procedimientos automatizados). (Merkus, 2009. Pp. 195-217).

1.6.9 Cromatografía de gases

La técnica de cromatografía de gases (GC) o cromatografía gas-líquido (GLC) es una forma de cromatografía de partición en el que la fase móvil es un gas y la fase estacionaria es un líquido. Una muestra se inyecta en la fase de gas en el que se volatiliza y se pasa a la fase líquida, que se mantiene en una cierta forma en una columna; componentes pasan diferentes veces en la fase móvil y la fase estacionaria, dependiendo de sus afinidades relativas para este último, y emergen desde el extremo de la columna que exhibe picos de concentración, idealmente con una distribución gaussiana. Estos picos son detectados por algunos medios que convierte la concentración del componente en la fase de gas en una señal eléctrica, que se amplifica y se pasa a un grabador continuo, y quizás a un integrador, por lo que el progreso de la separación se puede supervisar y cuantificado. (López, 2010. pp. 381-389).

1.6.10 Espectroscopia infrarroja

Espectroscopia de infrarrojos IR es una de las técnicas analíticas más importantes disponibles para los científicos. Una de las grandes ventajas de la espectroscopia IR es que prácticamente cualquier muestra puede ser estudiado en cualquier estado. Los líquidos, soluciones, pastas, polvos, películas, fibras, gases, y todas las superficies pueden ser examinados con una elección juiciosa de técnica de muestreo. La teoría básica de la espectroscopia de IR se describe, incluyendo las vibraciones de las moléculas que son cruciales para la interpretación de los espectros de IR. El procedimiento de muestreo utilizado en la espectroscopia IR depende en gran medida del tipo de muestra que se examinará. La espectroscopia infrarroja se utiliza actualmente en una amplia variedad de campos científicos y algunas de las aplicaciones de la técnica se ha resumido: moléculas orgánicas e inorgánicas, polímeros, aplicaciones biológicas e industriales se revisan. (López, 2010. pp. 381-389).

Para los polvos se utiliza la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier, en donde la radiación IR es transmitida (o reflejada) a través de una muestra. Una parte de la radiación IR es absorbida (o reflejada) por la muestra y otra es transmitida (o reflejada). El espectro resultante representa la absorción molecular y la transmisión, creando una impresión digital molecular de la muestra. Igual que con una impresión digital, no existen dos estructuras moleculares que generen el mismo espectro infrarrojo, lo que hace a este método muy útil para varios tipos de análisis. (Jacobsohn, 201°. Pp. 7-11).

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Lugar de investigación

La presente investigación se la llevara a cabo en el Laboratorio de Productos Naturales de la Facultad de Ciencias de la Escuela de Bioquímica y Farmacia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), en la Industria Alimenticia New Harmony y en la Escuela Superior Politécnica del Ejercito (ESPE).

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 *Materia prima*

La materia prima utilizada en esta investigación fue el aceite de *Juglans neotropica* conocido como aceite de tocte o nogal, con la debida recolección de sus semillas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo a una temperatura promedio de 27⁰C, a 2.750 msnm y con una humedad de 58%.

2.2.2 *Materiales y equipos*

Tabla 2-1: Lista de materiales y equipos utilizados

| MATERIALES | EQUIPOS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Vasos de precipitación• Espátula• Varilla de agitación• Embudo• Kitasato• Papel filtro• Mangueras• Equipo soxhlet• Papel aluminio• Pipeta Pasteur | <ul style="list-style-type: none">• Prensa de aceite PITEBA• Bomba de vacío• Reverbero• Balanza de humedad MOC 120H• Licuadora• Agitador• Secador por aspersion• Balanza analítica• Sputter coating Hummer 6.2• Quorum Q 105R• Analizador de partículas submicrónicas Horiba LB-550• SEM• Espectrofotómetro IR JASCO FT/IR4100 |

Fuente: (Gabriela Elizabeth Albán Gordillo, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

2.2.3 Reactivos

Tabla 2-2. Lista de reactivos utilizados en la investigación

| REACTIVOS GENERALES | REACTIVOS PARA LA MICROENCAPSULACIÓN |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Aceite de tocte• Éter de petróleo | <ul style="list-style-type: none">• Agua desionizada• Goma arábica• Maltodextrina |

Fuente: (Gabriela Elizabeth Albán Gordillo, 2015).

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

2.3 TÉCNICAS Y MÉTODOS

2.3.1 Control de calidad de *Juglans neotropica*

Se realizó visualmente seleccionando las semillas que no presentaban oxidación ni daño mecánico.

2.3.2 Extracción de lípidos

La extracción de lípidos se realizó en una prensa de aceite marca PITEBA, para lo cual se utilizó 1000g de muestra. Se colocó la muestra en el equipo previo calentamiento con un mechero y se procedió a moler.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{g de aceite extraído}}{\text{g de nuez utilizada}} \times 100$$

2.3.3 Estudio del proceso de microencapsulación

2.3.3.1 Descripción del procedimiento experimental

La metodología seguida se ilustra de forma esquemática a continuación en la figura 2-1.

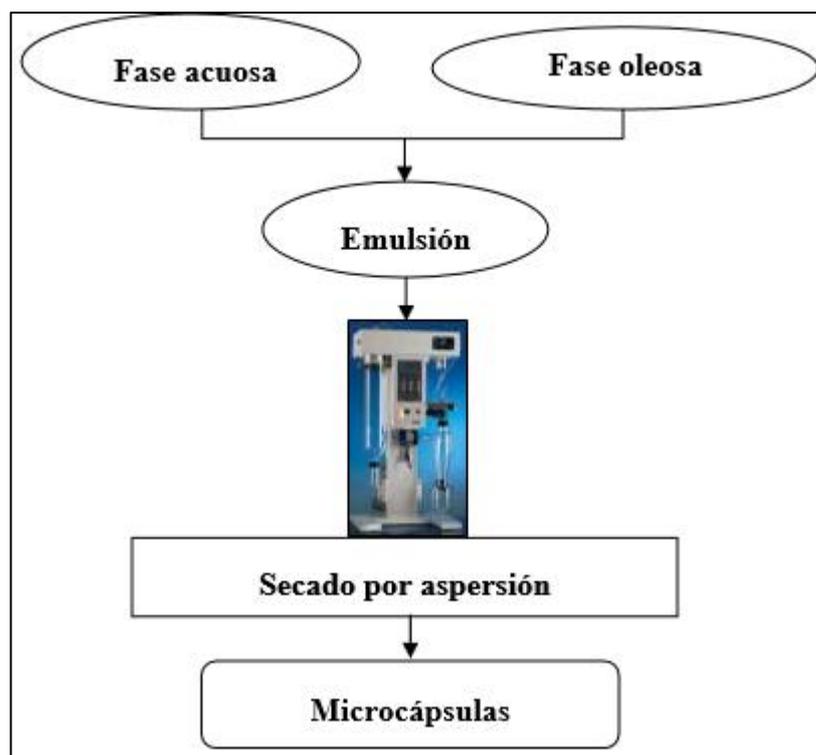


Figura 2-1. Metodología para la Nanoencapsulación

Fuente: (López, 2010).

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

Se adicionó en un recipiente agua des ionizada previamente pesada en una balanza técnica Mettler y calentada hasta 45 ± 2 °C para facilitar la dispersión de los polímeros, se comenzó a agitar empleando un electroagitador Heidolph. Seguidamente se comenzó a adicionar la goma arábica y la maltodextrina DE 16, ambas previamente pesadas.

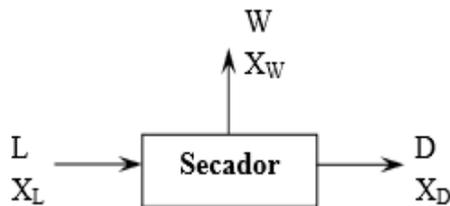
Después de pasados 15 minutos se tomó una muestra y se dejó en reposo para observar la presencia o no de grumos, lo cual demostró que el tiempo de agitación fue adecuado, se comenzó la adición del extracto lipídico y se mantuvo la agitación durante 15 minutos más para mantener la emulsión homogénea. La pre formulación definida por López, en el 2010 está en una proporción de (4:1,5:1:1,5) de agua, goma arábica, maltodextrina y extracto lipídico.

Posteriormente se alimentó al secador por aspersión previamente precalentado, empleando una temperatura de entrada de 150 ± 2 °C y una temperatura de salida de 95 ± 5 °C, seleccionada de la literatura para sistemas similares al estudiado en este trabajo.

Las experiencias de laboratorio se realizaron a escala piloto en un secador LPG-5 High Speed (China) de 15 kg/h de capacidad.

2.3.3.2 Cálculo del rendimiento de encapsulación

El rendimiento se determinó a partir del balance de materiales donde se considera que la entrada de producto debe ser igual a la salida, siempre que no haya acumulación de producto en el interior del equipo ni pérdidas al exterior.



De esta forma el balance de materiales total se expresa como $L = W + D$ y el balance de materiales por componentes sólidos sería: $LX_L = DX_D$.

Donde:

L: Masa de líquido que se alimenta al equipo

X_L : Composición del líquido de alimentación

W: Masa de agua evaporada

X_W : Composición del producto en el agua evaporada

D: Masa de polvo obtenido

X_D : Composición del polvo obtenido

Para el cálculo del rendimiento se tiene en cuenta todos los puntos de descarga del secador empleado y se calcula por la relación de sólidos entre la salida y la entrada por la expresión:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{DX_D}{LX_L} \times 100$$

2.3.3.3 Contenido de aceite superficial

Para este análisis se utilizó el microencapsulado de *Juglans neotropica* y tres productos comerciales debido a que por ser una nueva tecnología no se han encontrado referencias bibliográficas referentes al porcentaje de aceite superficial permitido.

La determinación del contenido de aceite libre se realizó por el método Soxhlet, por la diferencia de peso entre la muestra original y la tratada con el disolvente, empleándose éter de petróleo de calidad para análisis (p.a.) (Merck 266K34923686), con un intervalo de ebullición de 60 a 80 °C. El procedimiento seguido fue el siguiente: Se pesó el balón esmerilado vacío y la muestra en el dedal de celulosa en una balanza analítica Boeco Germany BBL31. Se realizó el proceso de extracción, posteriormente se secó la muestra durante 30 min a 96 °C en una estufa

memmert. Se enfrió hasta temperatura ambiente en una desecadora que contiene sílica gel con indicador de humedad y se pesó en la balanza analítica. El fundamento de este método es determinar la masa extraída y relacionarla con la masa inicial de la misma. (López, 2010. pp. 381-389).

El cálculo se realiza según la expresión siguiente:

$$\text{Aceite libre (\%)} = \left[\frac{A-B}{C} \times 100 \right]$$

Donde:

A - Masa de la cápsula con el aceite superficial después del proceso de extracción, g

B - Masa de la cápsula vacía, g

C - Masa de la muestra pesada en el dedal antes del proceso de extracción, g

100- Coeficiente para expresar el resultado en porcentaje

2.3.3.4 Cálculo de la eficacia de encapsulación

La eficiencia de encapsulación se calculó a partir del contenido de aceite total teórico y de los datos de la determinación del aceite superficial según la expresión siguiente: (López, 2010. pp. 381-389).

$$\text{Eficacia de encapsulación (\%)} = \frac{\% \text{ Total} - \% \text{ Libre}}{\% \text{ Total}} \times 100$$

2.3.3.5 Humedad

El porcentaje de humedad contenida en el nanoencapsulado se determinó pesando 5g de muestra en una balanza de humedad MOC-120H a una temperatura de 105°C por 20 minutos.

2.3.4 Técnicas analíticas empleadas en la caracterización del producto

2.3.4.1 Determinación de la distribución de tamaño de las partículas

La distribución del tamaño de las partículas se realizó mediante difracción de luz láser utilizando un analizador de partículas Horiba LB 550. Para ello se empleó etanol absoluto p.a. (Merck 645K36720486 y Panreac 0000098777) como dispersante, en un intervalo de 0,375 µm a 2000 µm. Los datos fueron ajustados a un modelo teniendo en cuenta el índice de refracción

del etanol, con ayuda del software Beckman Coulter Versión 3.29 1989 – 2003. De los resultados se extrajo el diámetro volumétrico, el reporte incluye la media, la desviación estándar, la mediana, la varianza y la moda. Para el caso de la emulsión se empleó agua destilada como dispersante.

2.3.4.2 Observación de la forma y la superficie de las partículas

La forma de las partículas y su superficie fue observada mediante microscopía de barrido electrónica. La muestra se colocó en porta muestras estándares de microscopía electrónica de barrido sobre una película de carbono. Posteriormente, se recubrió con oro bajo las siguientes condiciones: 15mA y 80mTorr durante 3 min para producir una capa de aproximadamente de 20nm.y se observaron en un microscopio electrónico con alto vacío JSM – 6060, con una aceleración de 10 kV.



Figura 2-2. Recubrimiento de oro a la muestra de aceite de *Juglans neotropica* sobre película de carbono previo a su observación en el SEM.

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Ejercito, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

2.3.4.3 *Determinación del contenido de ácidos grasos*

El contenido de ácidos grasos se determinó por cromatografía gaseosa capilar empleando patrones de linoleato de metilo, oleato de metilo, palmitato de metilo y estearato de metilo proporcionados por Merck de pureza ($\geq 99,5$ %). Las muestras fueron metiladas previamente mediante una reacción de esterificación con metanol Chromasolv (Riedel de Haën 2364M), empleando ácido sulfúrico p.a. (Merck 246K32468931) como catalizador. Las muestras metiladas se inyectaron en un cromatógrafo de gases Chrompack CP 9002 con detector de ionización por llama y procesador de datos Shimadzu CR 9A. Se empleó una columna capilar de sílica fundida CP-Wax de 25 m de largo, 0,32 mm de diámetro interno y 0,1 μm de espesor de la película de la fase estacionaria. La temperatura del inyector y el detector se mantuvo en 200 °C y la de la columna en 190 °C. La técnica fue validada según (Bernal et al, 2008, pp.228-235).

2.3.4.4 *Espectroscopia infrarroja*

Para realizar este análisis se debe primeramente encender el equipo y el computador al cual está conectado, entrar al programa y esperar que esté listo para empezar el análisis, limpiar el cristal del seleniuro de zinc con un algodón empapado de alcohol, tomar una pequeña cantidad de muestra la cual no sobrepase el rango de pH de 5 a 9 y colocarla en el cristal del seleniuro de zinc, oprimir la tecla start y esperar que en la pantalla se muestren los espectros. Proceder a copiar los espectros resultantes.

CAPITULO III

3. MARCO DE ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Rendimiento de la extracción de lípidos

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{770g}{1000g} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 77\%$$

Según Martínez (2010) el porcentaje de rendimiento de la nuez es del 90%, al comparar con el porcentaje de aceite obtenido en la extracción fue del 77%, podemos ver que este porcentaje de rendimiento es menor al valor de referencia, esto se pudo deber a que el equipo utilizado es de extracción mecánica manual por lo que un porcentaje del aceite (13%) se queda adherido a la torta.

3.2 Rendimiento de la microencapsulación del aceite de *Juglans neotropica*

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{593,9g}{750g} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 79,19\%$$

Según los datos obtenidos por López (2010) el rendimiento para el extracto lipídico de *Cucurbita pepo L.* es del 68,2%, el cual se utiliza como referencia por su similares condiciones de extracción mecánica, proceso de encapsulado y sobre todo por los polímeros que intervienen en la microencapsulación, que al comparar con el rendimiento de extracción del aceite de *Juglans neotropica*, este tuvo un rendimiento más eficaz llegando a un 79,19%, esto se debe a que se logró una mayor aspersión por ende mejor fijación de los polímeros en las paredes de las partículas del extracto lipídico así llegando a dar un mayor rendimiento con menor costo de producción y una mayor rentabilidad del proceso.

3.3 Contenido de aceite superficial y eficacia de encapsulación

Microencapsulado de *Juglans neotropica* primera determinación

$$\text{Aceite libre (\%)} = \frac{58,2954g - 57,6968g}{5g} \times 100$$

$$\text{Aceite libre (\%)} = 11,972$$

$$\text{Eficacia de encapsulación (\%)} = \frac{33,33\% - 11,972\%}{33,33\%} \times 100$$

$$\text{Eficacia de encapsulación (\%)} = 64,08$$

Microencapsulado de *Juglans neotropica* segunda determinación

$$\text{Aceite libre (\%)} = \frac{117,0290g - 116,4180g}{5g} \times 100$$

$$\text{Aceite libre (\%)} = 12,22$$

$$\text{Eficacia de encapsulación (\%)} = \frac{33,33\% - 11,22\%}{33,33\%} \times 100$$

$$\text{Eficacia de encapsulación (\%)} = 66,34$$

Promedio del contenido de aceite libre de la microencapsulación de *Juglans neotropica*

$$\text{Promedio} = \frac{11,972\% + 12,22\%}{2}$$

$$\text{Promedio} = 12,096\%$$

Promedio de la eficacia de microencapsulación de *Juglans neotropica*

$$\text{Promedio} = \frac{64,08\% + 66,34\%}{2}$$

$$\text{Promedio} = 65,21\%$$

Microencapsulado de Sacha inchi

$$\text{Aceite libre (\%)} = \frac{117,4578g - 116,4165g}{5g} \times 100$$

$$\text{Aceite libre (\%)} = 20,826$$

Microencapsulado de Linaza

$$\text{Aceite libre (\%)} = \frac{116,5723g - 115,1773g}{5g} \times 100$$

$$\text{Aceite libre (\%)} = 27,9$$

Microencapsulado de Omega 3

$$\text{Aceite libre (\%)} = \frac{116,4300g - 115,1763g}{5g} \times 100$$

$$\text{Aceite libre (\%)} = 25,074$$

Tabla 3-1: Determinación del contenido de aceite libre

| Microencapsulado | Contenido de aceite libre |
|---------------------------|----------------------------------|
| <i>Juglans neotropica</i> | 12,096% |
| Sacha inchi | 20,826% |
| Linaza | 27,9% |
| Omega 3 | 25,074% |

Fuente: (Laboratorio de productos naturales Escuela Superior Politécnica Chimborazo, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

Según los datos obtenidos del contenido de aceite libre de los aceites comerciales microencapsulados de Sacha inchi 20,826%, linaza 27,9% y omega 3 25,074% se puede corroborar a que el aceite de *Juglans neotropica* microencapsulado con un porcentaje de aceite libre del 12,096% tiene una menor acumulación de aceite en la superficie de las microcapsulas y por ende la formulación empleada en este proceso experimental tiene una mayor eficacia de encapsulación que los productos comerciales alcanzando un 65,21%.

3.4 Humedad de las microcapsulas

Tabla 3-2: Contenido de humedad de las nanocápsulas

| | <i>Juglans neotropica</i> | | | Muestras de referencia | | |
|----------------------------|---------------------------|------------|-------------|------------------------|--------|---------|
| | 2 días (%) | 8 días (%) | 15 días (%) | Sacha inchi | Linaza | Omega 3 |
| | 1,46 | 1,99 | 2,56 | 5,18 | 3,73 | 4,56 |
| | 1,42 | 1,95 | 2,49 | 5,15 | 3,63 | 4,49 |
| | 1,5 | 2,03 | 2,63 | 5,24 | 3,8 | 4,51 |
| Promedio | 1,46 | 1,99 | 2,56 | 5,19 | 3,72 | 4,52 |
| Desviación estándar | 0,04 | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,09 | 0,04 |

Fuente: (Laboratorio de Aguas Escuela Superior politécnica de Chimborazo, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

Según la USP 35 para polvos solidos de origen vegetal el límite permisible de humedad es hasta 10%, el cual al comparar con los datos promedios obtenidos en nuestro análisis a los 2 días 1,46%, a los 8 días 1,99% y a los 15 días 2,56% podemos afirmar que los datos se encuentran dentro de los parámetros de referencia. En consecuencia, existe conformidad con los datos arrojados en este análisis, esta determinación expresa el porcentaje de humedad, en relación a las condiciones ambientales de conservación en donde se encuentra el producto almacenado. También al realizar una comparación con los datos promedios de polvos comerciales con similares condiciones, utilizados como referencia: Sacha inchi 5,19%, linaza 3,72% y omega 3 4,52% podemos demostrar que el extracto lipídico de *Juglans neotropica* nanoencapsulado presenta menor porcentaje de humedad y lo que podría dar mayor estabilidad al producto final.

3.5 Tamaño de las partículas

| | |
|-----------------------|--|
| S.P. Area | : 29306(cm ² /cm ³) |
| Median | : 2.3415(µm) |
| Mean | : 2.3839(µm) |
| Variance | : 7.1267E-1(µm ²) |
| S.D. | : 0.8442(µm) |
| CV | : 35.4128 |
| Mode | : 2.4486(µm) |
| Span | : 0.9503 |
| Geo. Mean | : 2.2233(µm) |
| Geo. Variance | : 2.8616E-2(µm ²) |
| Geo. S.D. | : 0.1692(µm) |
| Diffusion Coefficient | : 1.4838E-14 (m ² /s) |
| R Parameter | : 1.3981E-2 |
| Validation | : |

| | |
|-----------------------|--|
| S.P. Area | : 40727(cm ² /cm ³) |
| Median | : 2.5218(µm) |
| Mean | : 2.4164(µm) |
| Variance | : 1.6371(µm ²) |
| S.D. | : 1.2795(µm) |
| CV | : 52.9505 |
| Mode | : 3.2005(µm) |
| Span | : 1.3708 |
| Geo. Mean | : 1.9760(µm) |
| Geo. Variance | : 9.4901E-2(µm ²) |
| Geo. S.D. | : 0.3081(µm) |
| Diffusion Coefficient | : 1.4838E-14 (m ² /s) |
| R Parameter | : 1.7730E-2 |
| Validation | : |

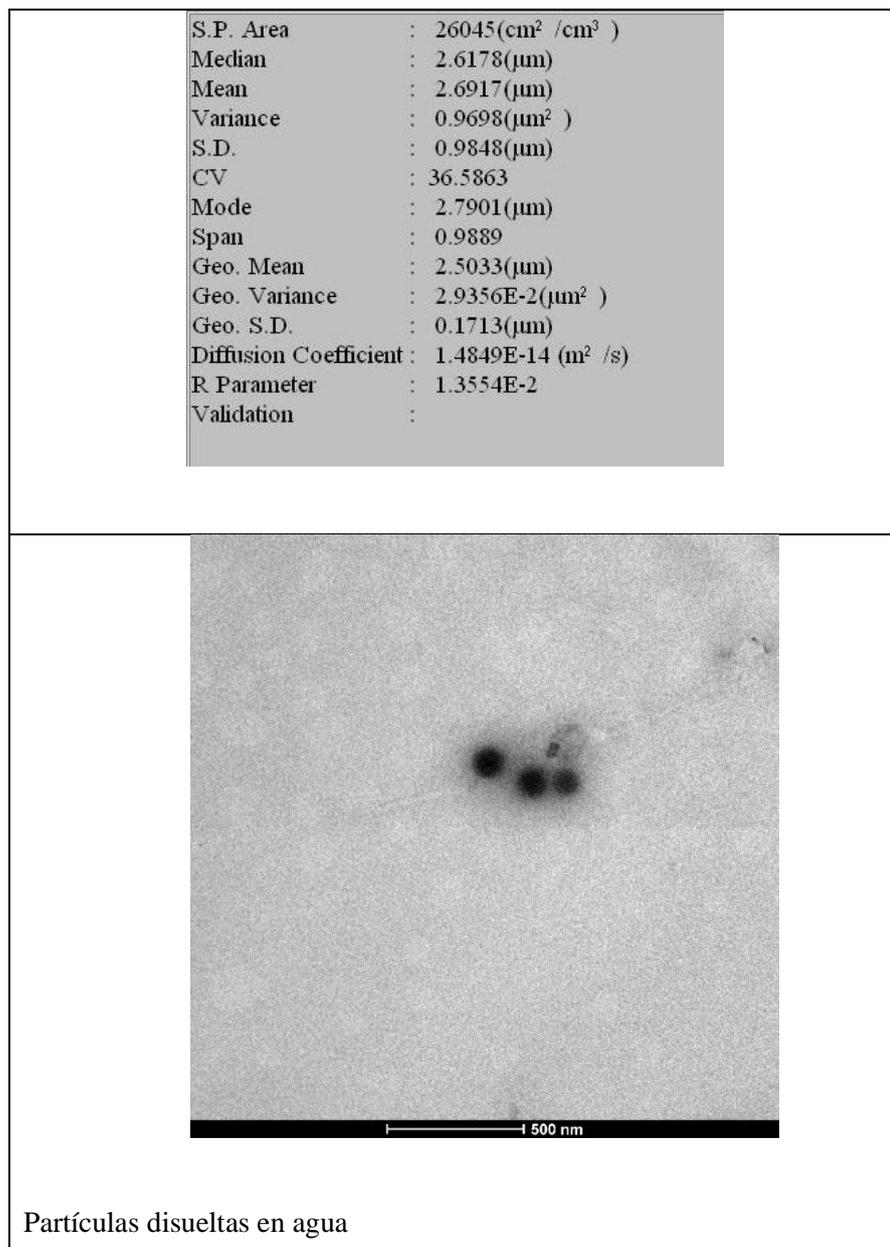


Figura 3-1. Fotos del tamaño de partículas

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Ejercito, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

Ahn, 2010 puntualiza que el término micropartículas se utiliza para definir partículas coloidales sólidas que tienen tamaños (diámetros) que van desde 3 hasta 800 μm .

Los resultados promedio del análisis de microscopia electrónica por triplicado de las microcapsulas de *Juglans neotropica* fueron: 2,38 μm , 2,41 μm y 2,69 μm que al comparar con el concepto de Ahn sobre micropartículas se puede corroborar que estas son microcapsulas y por tanto no se cumplió la hipótesis de las partículas de aceite nanoencapsuladas tendrán un tamaño menor a 1,000 nm. Al analizarlas estas disueltas en agua podemos demostrar que las

gotículas alcanzan un tamaño aproximado de 500nm. Para la variación del tamaño de partícula de evaluaron de igual forma tres muestras de las cuales dos muestras poseen un coeficiente de variación similar de 35,4128 y 36,5863 y uno es diferente 52,9505 lo que indica que en esta muestra existe una mayor dispersión del tamaño de las partículas.

3.6 Forma y superficie de las partículas

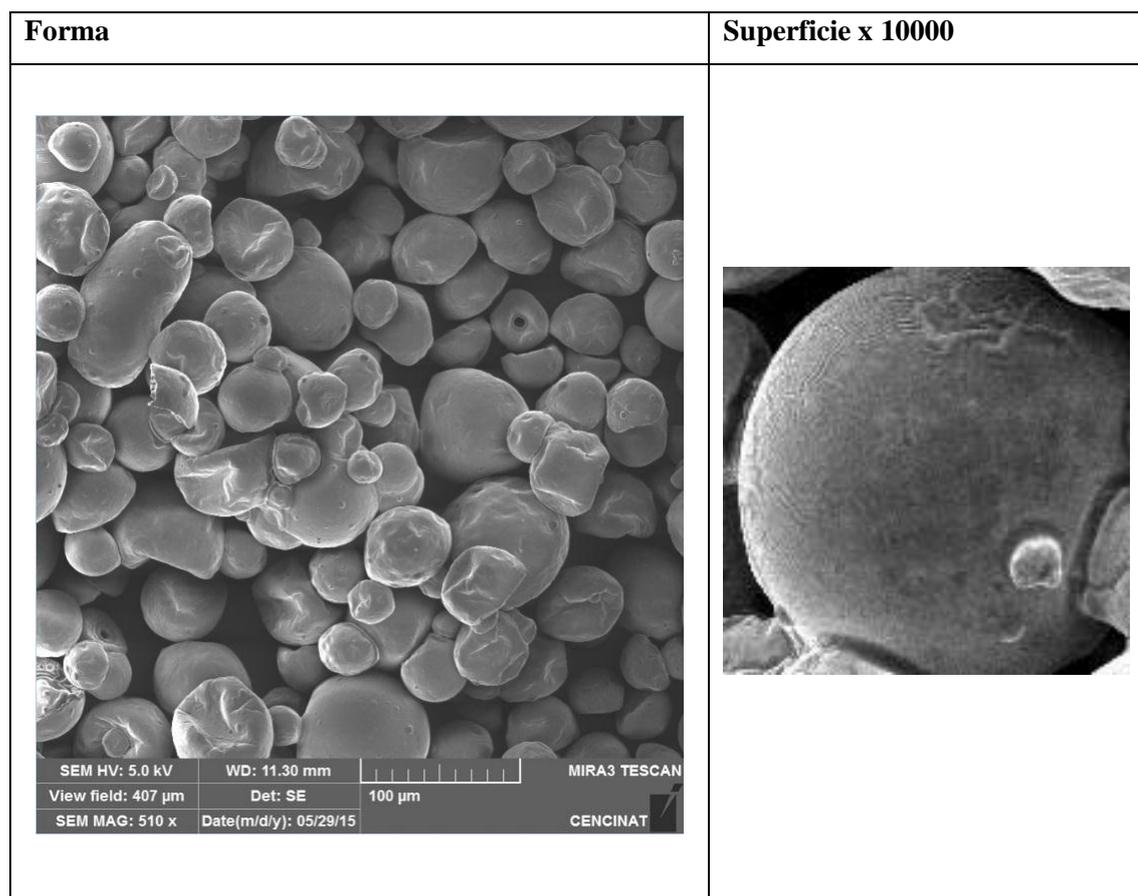


Figura 3-2. Fotos de microscopía de barrido electrónico

Fuente: (Escuela Superior Politécnica del Ejercito, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

Como se observa en la figura 3-2. se mantiene la forma esferoidal, aspecto que desde el punto de vista tecnológico influye positivamente sobre la fluidez del polvo debido a la aproximación a la forma aerodinámica ideal, “la esférica”.

La importancia de la superficie no porosa radica en la integridad de la pared de las microcápsulas, la cual es fundamental para la estabilidad de una microcápsula, ya que los poros facilitan la entrada de oxígeno, provocando la oxidación de los ácidos grasos y por otra parte la salida del material encapsulado al exterior, lo que conlleva a la disminución de la eficiencia de encapsulación en el tiempo.

3.7 Determinación del contenido de ácidos grasos

Tabla 3-3: Contenido de ácidos grasos en el aceite de *Juglans neotropica*

| ÁCIDOS GRASOS | | % |
|-------------------------------------|----------------|-------|
| Ácido Palmítico | C16:0 | 5,05 |
| Ácido cis 10-Heptadecanoico | C17:1 | 0,1 |
| Ácido Elaídico | C18:1n9 trans | 1,51 |
| Ácido Oléico | C18:1n9 cis ω9 | 19,17 |
| Ácido Linoléico | C18:2n6 cis ω6 | 69,93 |
| Ácido γ-Linolénico | C18:3n ω 6 | 4,24 |
| Total ácidos grasos saturados | | 5,05 |
| Total ácidos grasos insaturados | | 93,44 |
| Total ácidos grasos monoinsaturados | | 19,27 |
| Total ácidos grasos poliinsaturados | | 74,17 |
| Total ácidos grasos TRANS | | 1,51 |
| Total ácidos grasos omega 3 y 6 | | 74,17 |
| Total ácidos grasos | | 100 |

Fuente: (Laboratorio de alimentos de la Universidad Central del Ecuador, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

En la Tabla 3-3. Se puede observar que el ácido linoléico se presenta en el aceite de *Juglans neotropica* en un mayor porcentaje 69,93%, seguido del ácido oleico 19,17% y del γ linoléico 4,24. Estos ácidos grasos son considerados altamente funcionales ya que podrían disminuir el riesgo de adquirir enfermedades cardiovasculares reduciendo la acumulación de lípidos en las paredes arteriales.

3.8 Espectroscopia infrarroja

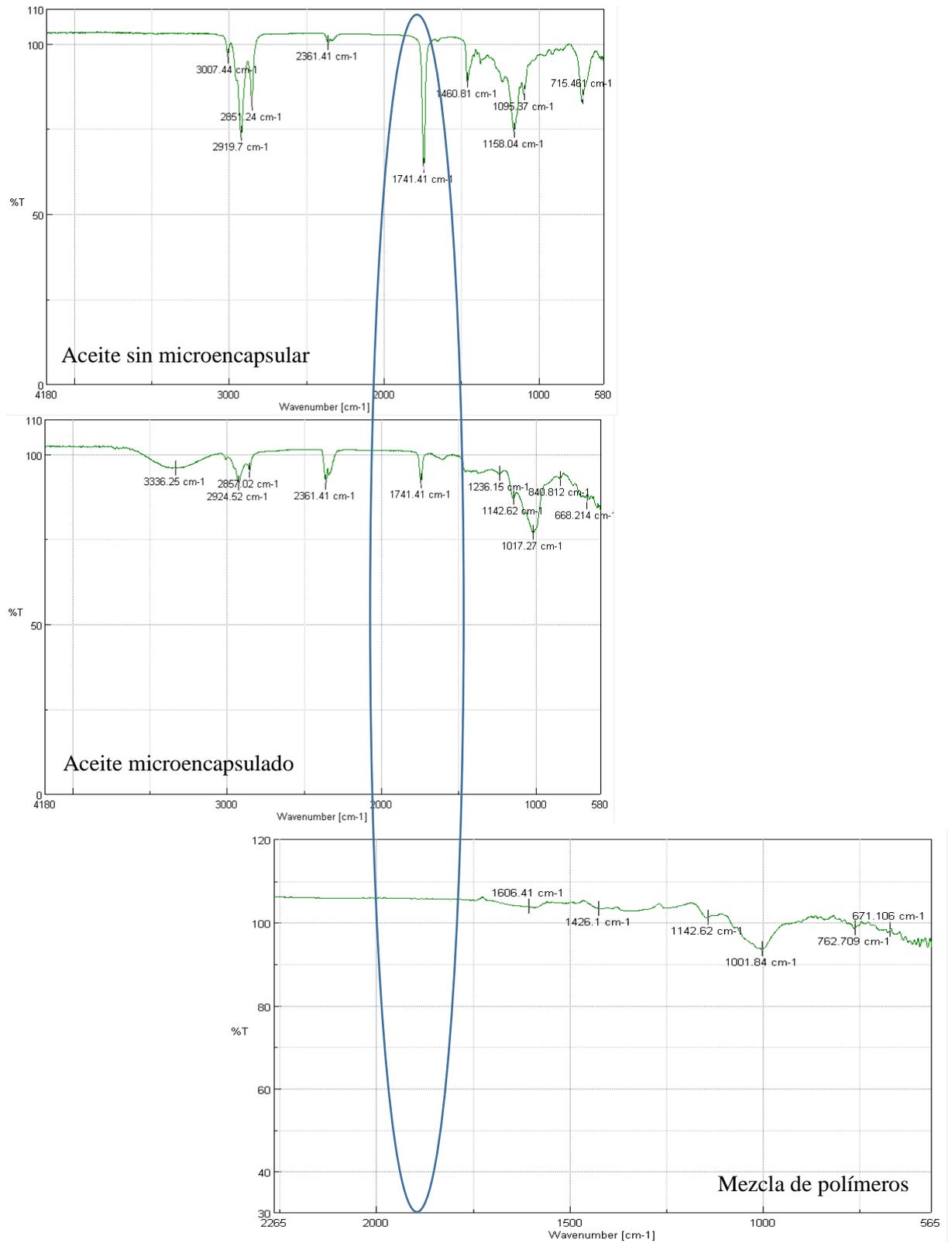


Figura 3-3. Espectros infrarrojos de las microcápsulas y sus componentes

Fuente: (Laboratorio de Análisis Instrumental Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015)

Realizado por: Gabriela Elizabeth Albán Gordillo

La figura 3-3. muestra de forma descendente, los espectros infrarrojos del extracto lipídico, de las microcápsulas y de la mezcla de polímeros. Aquí se observa que la mayoría de los ácidos

grasos de interés se encuentran protegidos en su interior, lo que corrobora de forma cualitativa la elevada eficiencia de encapsulación. En la elipse que abarca la frecuencia correspondiente al grupo funcional carbonilo de los ácidos grasos se puede observar que existe una banda a los 1741.41 cm^{-1} en el extracto lipídico con mayor intensidad que lo que se observa en las microcapsulas lo que demuestra que el extracto lípido se encuentra enmascarado en el interior de las microcapsulas y al no observar esta banda en la mezcla de polímeros se corrobora a que el aceite no es proveniente de estos.

CONCLUSIONES

1. La tecnología para la microencapsulación del extracto lipídico de semillas de *Juglans neotropica* desarrollada, permite obtener un producto con una eficiencia de encapsulación de 65,21 % y un rendimiento del 79,19%.
2. El extracto lipídico de *Juglans neotropica* tiene una composición lipídica de 19,17% de omega 3 y 69,93% de omega 6.
3. Mediante la caracterización de las microcápsulas se pudo conocer la distribución del tamaño de partículas de 2,38µm, 2,41µm y 2,69µm así como la forma esférica y la ausencia de poros en la superficie.
4. El microencapsulado de *Juglans neotropica* tiene un porcentaje de humedad de 1,46% a los dos días, 1,99 a los 8 días y de 3,56 a los 15 días, lo que potencialmente dotaría al producto una buena estabilidad relativa.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar estudios más completos del fruto de *Juglans neotropica* utilizado en esta investigación, para de este modo determinar el aporte nutricional del aceite.
2. Gracias a este estudio pudimos determinar que el aceite de *Juglans neotropica* presenta 19,17% de omega 3 y 69,93% de omega 6, por lo que se sugiere comprobar su actividad en la prevención de enfermedades cardiovasculares.
3. Introducir a nivel industrial los resultados de este trabajo, dada la sustitución de importaciones de productos similares y el beneficio social que implica.
4. Determinar la estabilidad del nanoencapsulado de *Juglans neotropica*.

BIBLIOGRAFÍA

AHN, J-H. et al. *Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil.* J. Food Eng. n° 84 (2008), pp. 327–34.

AILI, W. et al *Conjugate linoleic acid or conjugate linoleate microcapsule.* Ch Patent. CN1357407. n° 93 (2002), pp. 124-129

ARAMBARRI, A. *Primer estudio sobre soleras y rulos, en el proceso de la molienda de la aceituna.* Agricultura, n° 730 (1993), pp. 386–394.

ASCHERI, D. et al. *Microencapsulation of orange essential oil: wall material selection.* Ciênc. Tecnol. Aliment n° 23 (2003), pp. 1-6.

BAE, E. LEE, S. *Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin.* J. Microencapsul. n° 25 (2008), pp. 1–12.

BERISTAIN, C. et al. *Effect of caking and stickiness on the retention of spray – dried encapsulated orange peel oil.* J. Sci. Food. Agric. n° 83 (2003), pp. 1613–1616.

BERNAL, N. et al. *Estudios de estabilidad del aceite obtenido de la Cucurbita moschata Duch.* Congreso de la Sociedad cubana de Ciencias farmacéuticas “Cubafarmacia 2008”, (2008). La Habana, Cuba. pp. 228-235

BERNARDINI, E. *Tecnología de aceites y grasas.* Madrid: Editorial Alambra (1981), pp. 183-190

BERTOLINI, A. et al. *Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray-drying.* J. Agric. Food Chem. n° 49 (2001), pp. 780–785.

CHAU, C.F., YEN, G.C. *The development of regulations for food nanotechnology.* Trends in Food Science and Technology n° 18 (2007), pp. 269–280.

CHOI, M.J., BRIANCON, S., ANDRIEU, J., MIN, S.G., FESSI, H. Effect of freeze-drying process conditions on the stability of nanoparticles. *Drying Technology* n° 22 (2004), pp. 335–346.

CHRISTIE, W. W. *Gas chromatography and lipids* (Vol. 39), (1989). pp. 164. Ayr: Oily Press.

CHUSQUILLO, L., *Diseño de un proceso para la obtención de compuestos fenólicos del pericarpio de la semilla del nogal (Juglans neutróptica)* (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2014. pp. 123

DE KRUIF, C; et al. *Complex coacervation of proteins and anionic polysaccharides.* *Current Opinion in Colloid & Interface Science* n° 9 (2004), pp. 340–349.

DESAI, K., JIN PARK, H. *Recent developments in microencapsulation of food ingredients.* *Drying Technology*, n° 23 (2005), pp. 1361–1394.

DESORBY, S.A; et al. *Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for b-carotene encapsulation and preservation.* *Journal of Food Science*, n° 62 (1997), pp. 1158–1162.

DESOBRY, S., DEBEAUFORT, F. *Encapsulation of flavors, nutraceuticals, and antibacterials.* In: Baldwin, E. A., Hagenmaier, R. and Jinhe, B. (eds.) *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality.* 2nd edition. Boca Raton, FL: CRC Press. 2012 pp 1329-1334.

DOLLO, G; et al. *Spray – dried redispersible oil – in – water emulsion to improve oral bioavailability of poorly soluble drugs.* *Eur. J. Pharm. Sci.*; n° 19 (2003), pp. 273–80.

DRUSCH, S, et al. *Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose.* *Food Research International* n° 39 (2006), pp. 807–815.

DRUSCH, S. SCHWARZ, K. *Microencapsulation properties of two different types of n-octenylsuccinate-derivatised starch.* *Eur. Food Res. Technol.* n° 222 (2006), pp. 155–164 a.

DRUSCH, S; et al. *Impact of Physicochemical Characteristics on the Oxidative Stability of Fish Oil Microencapsulated by Spray-Drying.* J. Agric. Food Chem. n° 55 (2007), pp. 11044–11051 a.

DRUSCH, S; et al. *Microencapsulation of fish oil with noctenylsuccinate-derivatised starch: Flow properties and oxidative stability.* Eur. J. Lipid Sci. Technol; n° 108 (2006), pp. 501–512 b.

DRUSCH, S; et al. *Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in an amorphous matrix containing trehalose.* Food Res. Int. n° 39 (2006), pp. 807–815 c.

DRUSCH, S. *Sugar beet pectin: A novel emulsifying wall component for microencapsulation of lipophilic food ingredients by spray-drying.* Food Hydrocolloids. 2007; n° 21: 1223–1228 b.

García, E. Gutiérrez, S. Nolasco, H. *Desarrollo de bebidas lácteas enriquecidas con ácidos grasos.* Tecnología Láctea Latinoamericana. [en línea] 2007 [Consulta: 17 marzo 2007]; Disponible en: <http://www.publitech.com>

GHARSALLAOUI, A; et al. *Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview.* Food Research International n° 40 (2007), pp. 1107–1121.

GOMEZ, M. *Salud.* [blog]. [Consulta: 18 febrero 2015].

Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/cuales-son-beneficios-del-omega-3-6-9-sobre_39481/

GOUIN, S. *Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends.* Trends in Food Science and Technology n° 15 (2004), pp. 330–347.

GUTERRES, S.S. *Spray drying technique to prepare innovative nanoparticulated formulations for drug administration: A brief overview.* Brazilian Journal of Physics n° 39 (2009), pp. 205–209.

HABI MAT DIAN, L., SUDIN, N., YUSOFF, M. *Characteristics of Microencapsulated Palm-Based Oil as Affected by Type of Wall Material.* J. Sci. Food. Agric. n° 70 (1996), pp. 422–26.

HAFNER, B. *Scanning Electron Microscopy Primer*. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press (2007), pp. 1–29.

HART F. L; *Análisis moderno de los alimentos*; Acribia. Zaragoza, España. 1991 pp. 19-23.

HERMIDA, L. et al. *Encapsulación de aceite de pescado con alto contenido de omega-3. Industrialización de alimentos*. 4º Jornadas de Desarrollo e Innovación. Noviembre. 2002.

HOEGGER, R. *Büchi training papers spray drying*. Büchi labortechnik AG. n° 13 (2002), pp. 16.

HOGAN, S; et al. *Microencapsulating properties of sodium caseinate*. *J. Agric. Food Chem*, n° 49 (2001), pp. 1934–1938.

HOLFORD, P. *Nutrición óptima antes, durante y después del embarazo*. Barcelona: Amat S. L. (2015). pp. 124-227.

HUANG, Q., YU, H., RU, Q. Bioavailability and delivery of nutraceuticals using nanotechnology. *Journal of Food Science* n° 75 (2010), pp. 50–57.

INEC (2013). *Enfermedades cardiovasculares* [en línea]. Quito 2007 [Consulta: 17 marzo 2007]; Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>

JACOBSON, H. *Introducción a la espectroscopia infrarroja transformada de Fourier*. Thermo Scientific n° 19 (2010), pp. 7-11.

JIMENEZ, M. et al. *Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid*. *European Food Research and Technology*.; n° 219(6) (2004), pp. 588–92.

JYOTHI, N; et al. *Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency*. *Journal of Microencapsulation* n° 27 (2010), pp. 187–197.

KIM, H-S; et al. *Optimization of microencapsulation of seed oil by response surface methodology*. *Food Chem*. n° 107 (2008), pp. 98–105.

KOLANOWSKI, W; et al. *Sensory Assessment of Microencapsulated Fish Oil Powder*. J. Amer. Oil. Chem. Soc.; n° 84 (2007), pp. 37–45.

LAINE, P; et al. *Storage stability of microencapsulated cloudberry (Rubus chamaemorus) Phenolics*. Journal of Agricultural and Food Chemistry n° 56 (2008), pp. 11251–11261.

LEE, Y.K; et al. *The physicochemical properties of yoghurt supplemented with a possible functional ingredient microencapsulated peanut sprout extract*. International Journal of Dairy Technology n° 66 (2013), pp417–423.

LEE, S.J., YING, D.Y. *Encapsulation of fish oils*. In Garti, N. (ed.) *Delivery and Controlled Release of Bioactives in Foods and Nutraceuticals*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. (2008). pp. 320-342.

LEONG, W.F; et al. *Preparation and characterisation of water-soluble phytosterol nanodispersions*. Food Chemistry n° 129 (2011), pp. 77–83.

Leong, T.S.H., Wooster, T.J., Kentish, S.E., Ashokkumar, M. (2009)

LIU, N., PARK, H.J. *Chitosan-coated nanoliposome as vitamin E carrier*. *Journal of Microencapsulation* n° 26 (2009), pp. 235–242.

LIVNEY, Y.D. *Complexes and conjugates of biopolymers for delivery of bioactive ingredients via food*. In Garti, N. (ed.) *Delivery and Controlled Release of Bioactives in Foods and Nutraceuticals*. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd. (2008). pp. 153-158.

LOKSUWAN, J. *Characteristics of microencapsulated β -carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrina*. Food Hydrocolloids. n° 21 (2007), pp. 928–35.

LÓPEZ, O. (2010). *Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersion*. Revista Cubana de Farmacia n° 44. Pp. 381-389.

McCLEMENTS, D.J; et al. (2009). *Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods*. *Critical Review in Food Science and Nutrition* n° 49, pp. 577–606.

McMULLAN, D. (1995). Scanning electron microscopy 1928–1965. *Scanning*, n° 17, pp.175–185.

MENDEZ-VILAS, A., DIAZ, J. (2010). Microscopy: Science, technology, application and education. In Chinga-Carrasco, G. (ed.) *Microscopy and Computerized Image Analysis of Wood Pulp Fibres: Multiscale Structures*, Badajoz: Formatex Research Center, pp. 2182–2189.

MERKUS, H.G. (2009). Microscopy and image analysis. *Particle Size Measurement: Fundamental, Practice, Quality*. New York: Springer Science Business Media, pp. 195–217.

MURÚA, B; et al. *Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying*. *J. Food Eng.*; n° 91(2009), pp. 380–386.

OMS. (2013). *Enfermedades cardiovasculares*. Quito 2007 [Consulta: 16 marzo 2007]; Disponible en: <http://www.who.int/es/>

OMS. (2015). *Enfermedades cardiovasculares*. Quito 2007 [Consulta: 16 marzo 2007]; Disponible en: <http://www.who.int/es/>

PEDROZA, R; et al. *Oil thermo-oxidative stability and surface oil determination of biopolymer microcapsules*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.; n° 1 (2002), pp 37–44.

PÉREZ, C; et al. *DSC thermooxidative stability of red chili oleoresin microencapsulated in blended biopolymers matrices*. *J. Food Eng.*; n° 85 (2008), pp. 613–24.

REINECCIUS, G.A. (1988). *Spray drying of food flavors*. In Risch, S.J., and Reineccius, G.A. (eds.) *Flavour Encapsulation*. Washington, DC: American Chemical Society. pp. 232-237

REIS, C.P; et al. *Nanoencapsulation I: Methods for preparation of drug-loaded polymeric nanoparticles*. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine* n° 2 (2006), pp. 8–21.

ROJAS, F., TORRES, G. *Árboles del Valle Central de Costa Rica: reproducción*. *Revista forestal KURÚ*, n° 5 (2008), pp. 1-3.

RODRÍGUEZ, M; et al. *Microencapsulation by spray drying of multiple emulsions containing carotenoids.* J. Food Sci; n° 69(7) (2004). pp. 351–359.

ROSALES, A. (2009). *Estudio del tocte y propuesta gastronómica en la repostería* (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador. 2009, pp. 4-8.

ROSENBERG, M; et al. *Factors Affecting Retention in SprayDrying Microencapsulation of Volatile Materials.* J. Agric. Food Chem.; n° 38 (1990), pp. 1288–94.

SANGUANSRI, P., AUGUSTIN, M.A. *Nanoscale materials development: A food industry perspective.* Trends in Food Science and Technology n° 17 (2006), pp. 547–556.

SANSONE, F; et al. *Flavonoid microparticles by spray-drying: Influence of enhancers of the dissolution rate on properties and stability.* Journal of Food Engineering n° 103 (2011), pp. 188–196.

SOOTTITANTAWAT, A. et al. *Microencapsulation by Spray Drying: Influence of emulsion size on the retention of volatile compounds.* *Journal of Food Science.* n° 68(7) (2003), pp. 2256–62.

SOOTTITANTAWAT, A. et al. *Microencapsulation of L-Menthol by spray drying and its release characteristics.* Innov. Food Sci. Emerg. Technol. n° 6 (2005), pp. 163–170.

SHU, B. YU; et al. *Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying.* J. Food Eng.; n° 76 (2006), pp. 664–9.

SUBIRADE, M., CHEN, L. (2008). *Food-protein-derived materials and their use as carriers and delivery systems for active food components.* InGarti, N. (ed.) *Delivery and Controlled Release of Bioactives in Foods and Nutraceuticals.* Cambridge: Woodhead Publishing Limited. pp. 1235-1246.

TAMAYO, M. *Influencia de un tratamiento integral en el control de las enfermedades cardiovasculares* (tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato. 2014. pp. 28-32.

TAYLOR, A.H. *Encapsulation systems and their applications in the flavor industry.* Food Flavor Ingredients Packaging and Processing n° 5 (1983), pp. 48–51.

TONON, R.V; et al. *Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried acai (Euterpe oleracea Mart) juice produced with different carrier agents.* Food Research International n° 43 (2010), pp. 907–914.

USP 31. *Pharmacopeial Forum*

YAN-LI, X; et al. *Effect of relative humidity on retention and stability of vitamin A microencapsulated by spray drying.* J. Food Biochem. n° 31(1) (2007), pp. 68–80.

YOSHII, H; et al. *Flavor release from spray-dried maltodextrin - gum arabic or soy matrices as a function of storage relative humidity.* Innov. Food Sci. & Emer. Technol. n° 2 (2001), pp. 55–61.

WANG, Y; et al. *Templated synthesis of single-component polymer capsules and their application in drug delivery.* Nano Letters n° 8 (2008), pp. 1741–1745.

WATANABE, Y; et al. *Supresive effect of saturated acyl L-ascorbate on the oxidation of linoleic acid encapsulated with maltodextrin or gum Arabic by spray drying.* J. Agric. Food. Chem.; n° 50 (2002), pp. 3984–87.

WEISS, J; et al. *Solid lipid nanoparticles as delivery systems for bioactive food components.* Food Biophysics n° 3(2008), pp. 146–154.

WISSING, S.A; et al. *Solid lipid nanoparticles for parenteral drug delivery.* Advanced Drug Delivery Reviews n° 56 (2004), pp. 1257–1272.

ANEXOS

Anexo A. Tocte (*Juglans neotropica*)



Anexo B. Aceite de *Juglans neotropica*



Anexo C. Goma arábica y maltodextrina



Anexo D. Goma arábica y maltodextrina pesada



Anexo E. Mezcla de agua, goma arábica y maltodextrina



Anexo F. Adición del aceite a la mezcla



Anexo G. Emulsión



Anexo H. Spray drying



Anexo I. Alimentación al spray drying



Anexo J. Nanoencapsulado dentro del equipo de spray drying



Anexo K. Nanoencapsulado de *Juglans neotropica*



Anexo L. Determinación de humedad



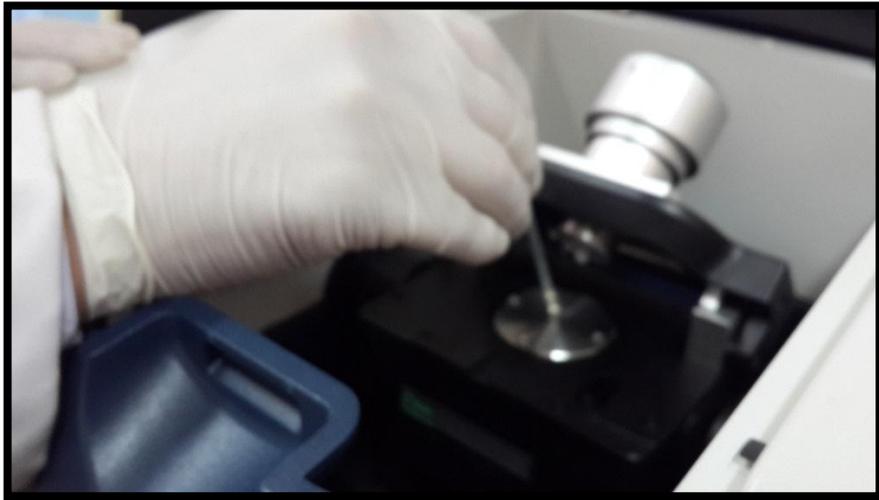
Anexo M. Determinación de humedad



Anexo N. Equipo IR



Anexo Ñ. Colocada de la muestra en el cristal del seleniuro de Zinc



Anexo O. Perfil lipídico del aceite de *Juglans neotropica*



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS

LABORATORIO DE ALIMENTOS
INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB-AL-21900
ORDEN DE TRABAJO No 43769

| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA | |
|---|----------------------------|
| COLOR: | Característico |
| OLOR: | Característico |
| ESTADO: | LIQUIDO |
| Contenido declarado : 120g | Contenido encontrado: 120g |
| OBSERVACIONES: | |
| Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra entregada por el cliente al OSP. | |
| MUESTREADO POR: | Cliente |

PERFIL LIPIDICO

| PARAMETROS | UNIDAD | RESULTADO | METODO | |
|--|----------------|-----------|---------------------|------------------------|
| Grasa | % | 100 | MAL-03/ AOAC 991.36 | |
| *ACIDOS GRASOS | | | | |
| Acido Palmítico | C16:0 | % | 5.05 | Cromatografía de Gases |
| Acido cis 10-Heptadecanoico | C17:1 | % | 0.10 | Cromatografía de Gases |
| Acido Eláidico | C18:1n9 trans | % | 1.51 | Cromatografía de Gases |
| Acido Oléico | C18:1n9 cis ω9 | % | 19.17 | Cromatografía de Gases |
| Acido Linoléico | C18:2n6 cis ω6 | % | 69.93 | Cromatografía de Gases |
| Acido γ- Linolenico | C18:3n ω6 | % | 4.24 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos Saturados | | % | 5.05 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos Insaturados | | % | 93.44 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos Monoinsaturados | | % | 19.27 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos Poliinsaturados | | % | 74.17 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos TRANS | | % | 1.51 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos omega 3 y 6 | | % | 74.17 | Cromatografía de Gases |
| Total ácidos grasos | | % | 100.00 | Cromatografía de Gases |

"Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación N° OAE LE 1C 04-002"

"Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"



B.F. Ana María Hidalgo
JEFE ÁREA DE AMBIENTAL

1 / 1

RAL-41-04



Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gatto Sobral - Teléfonos: 2502-262 / 2502-456, ext. 15, 18, 21, 31, 33
Telefax: 3216-740 - Web: www.facquimuce.edu.ec - E-mail: laboratoriososp@hotmail.com

