



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE ALIMENTOS

Evaluación de la estabilidad oxidativa de una mezcla de aceites de sachá inchi
(*P.volubilis*) y chíá (*S.hispanica*) en polvo

Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto de Investigación, previa a la obtención de Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

AUTOR: Gregory André Pardo Jara

TUTOR: Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

AMBATO - ECUADOR

SEPTIEMBRE - 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación del Trabajo de Titulación bajo la modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grado de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 25 de julio del 2023.

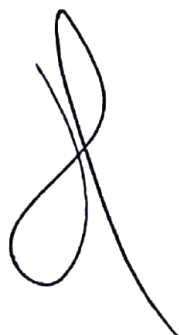
Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

C.I. 0501873954

TUTORA

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Gregory André Pardo Jara, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Gregory André Pardo Jara

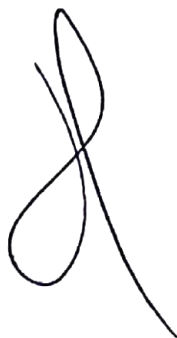
C.I. 1803673779

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Gregory André Pardo Jara

C.I. 1803673779

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencias e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para consistencia firman:

Presidente del tribunal

Dra. Mirari Yosune Arancibia Soria

C.I: 1802142461

Ing. Diego Manolo Salazar Garcés Ph. D

C.I: 1803124294

Ambato, 23 de agosto de 2023

DEDICATORIA

Faber est suae quisque fortunae

AGRADECIMIENTO

A mi madre, por ser mi ejemplo de superación y enseñarme que no existen metas imposibles de alcanzar. Te agradezco por brindarme tu apoyo incondicional y demostrarme que siempre debo luchar por mis ideales y convicciones. De lo único que estoy seguro es que, si existe un Dios, eres tú.

A mi hermana, por ser mi compañera de aventuras y desvelos. De ti aprendí que los mejores momentos no son los que se planean. Me enseñaste que lo más importante no es el lugar, sino la gente que te acompaña.

A mi prometida, por ser la luz de esperanza en mi vida. Gracias a ti soy un mejor hombre, hijo y hermano. Tú me demuestras que a veces las palabras sobran y que el tiempo es lo más valioso que tenemos. Te amo.

A la Dra. Mayra Paredes, por guiarme y compartir sus conocimientos. Por enseñarme que debo disfrutar cada etapa de mi vida y no decaer nunca.

Al Dr. Orestes López por brindarme su tiempo, y más importante aún, su amistad. No existe pena ni dolor que aguante un buen ron.

A la Dra. Dayana Morales y al Dr. Freddy del Pozo por haberme impulsado y motivado a ser un mejor estudiante. Gracias a ustedes me enamoré de la Ingeniería.

A mis familiares y amigos que siempre confiaron en mí. Este es apenas el comienzo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1. Antecedentes investigativos	1
1.1. Sacha Inchi.....	2
1.1.1. Taxonomía.....	2
1.1.2. Composición química.....	3
1.2. Chía.....	3
1.2.1. Taxonomía.....	4
1.2.2. Composición química.....	4
1.3. Ácidos grasos.....	5
1.3.1. Ácidos grasos saturados	5
1.3.2. Ácidos grasos insaturados	6
1.4. Oxidación de los lípidos	7
1.4.1. Lipólisis	7
1.4.2. Autooxidación	8
1.4.3. Antioxidantes.....	10

1.4.3.1. Antioxidantes naturales	10
1.4.3.2. Antioxidantes sintéticos.....	11
1.5. Proceso de secado por aspersión.....	13
1.5.1. Funcionamiento	14
1.5.2. Alimentación del equipo.....	15
1.6. Proceso de revestimiento por adsorción	17
1.6.1. N-ZORBIT 2144	17
1.7. Objetivos.....	18
1.7.1. Objetivo General	18
1.7.2. Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO II	19
METODOLOGÍA	19
2.1. Materiales.....	19
2.2. Equipos.....	19
2.3. Metodología	20
2.3.1. Diseño factorial A x B	20
2.3.2. Microencapsulación mediante secado por aspersión	21
2.3.2.1. Obtención del microencapsulado con MD-GA	21
2.3.2.2. Preparación de las suspensiones	21
2.3.2.3. Preparación de las emulsiones	22
2.3.2.4. Secado por aspersión	22
2.3.3. Revestimiento por adsorción	22
2.3.4. Secado por aspersión – Revestimiento por adsorción	22
2.3.5. Cuantificación del aceite libre	23
2.3.6. Cálculo de la eficiencia.....	23
2.3.7. Evaluación de la estabilidad oxidativa.....	24
2.3.8. Análisis de espectroscopía infrarroja FTIR	24

CAPÍTULO III.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
3.1. Fase experimental.....	25
3.2. Aceite libre y eficiencia del proceso de secado por aspersión y revestimiento por adsorción	26
3.3. Estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil	28
3.4. Análisis estadístico	30
3.5. Caracterización por espectroscopía infrarroja	31
CAPÍTULO IV	34
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
4.1. Conclusiones.....	34
4.2. Recomendaciones	35
BIBLIOGRAFÍA.....	36
ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del Sacha Inchi	2
Tabla 2. Taxonomía de la Chía	4
Tabla 3. Ácidos grasos saturados	6
Tabla 4. Ácidos grasos insaturados	7
Tabla 5. Factores que promueven la oxidación.....	9
Tabla 6. Porcentaje de aceite libre de la mezcla de aceites recubiertos	27
Tabla 7. Eficiencia del proceso de M. Secado por aspersión, R. Adsorción y su combinación	28
Tabla 8. Análisis de varianza del T. vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chía en polvo	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El Sacha Inchi en diferentes etapas: A) Estado natural; B) Fruto estrellado; C) Semillas; D) Cascara seca; E) Semillas sin cáscara; F) Productos de consumo.	3
Figura 2. A) Semillas de chía; B) Semillas de chía hidratadas.	5
Figura 3. Hidrólisis de aceites vegetales	8
Figura 4. Oxidación de los aceites	9
Figura 5. Estructura del Alfa-tocoferol	11
Figura 6. Estructura del Butilhidroxitolueno	13
Figura 7. Tipos de microcápsulas en el secado por aspersion.	14
Figura 8. Secador por aspersion de una sola etapa	15
Figura 9. Microscopía electrónica de barrido de N-ZORBIT 2144.....	18
Figura 10. Representación del diseño factorial 3 x 2.....	20
Figura 11. Planteamiento de las hipótesis	21
Figura 12. Ecuaciones para calcular el tiempo de vida útil.	24
Figura 13. Tiempo de vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chía en polvo	30
Figura 14. Espectro infrarrojo comparativo de las muestras de aceite de sachá inchi y chía en polvo	32
Figura 15. Espectro comparativo ampliado de las muestras de aceite de sachá inchi y chía en polvo	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA AT	44
Anexo 2. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA BHT.....	45
Anexo 3. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para RV AT.....	46
Anexo 4. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para RV BHT	47
Anexo 5. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA-RV AT	48
Anexo 6. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA-RV BHT.....	49
Anexo 7. Gráfica de efectos principales para el tiempo de vida útil	50
Anexo 8. Gráfica de interacción para el tiempo de vida útil	51
Anexo 9. Espectro infrarrojo para el SA AT	52
Anexo 10. Espectro infrarrojo para el SA BHT.....	53
Anexo 11. Espectro infrarrojo para el RV AT.....	54
Anexo 12. Espectro infrarrojo para el RV BHT	55
Anexo 13. Espectro infrarrojo para el SA-RV AT	56
Anexo 14. Espectro infrarrojo para el SA-RV BHT.....	57

RESUMEN EJECUTIVO

El aceite de sacha inchi (*P.volubilis*) y chía (*S.hispanica*) son la fuente natural con mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados que se conoce. Están compuestos principalmente de ácido alfa-linolénico y ácido linoleico y se consumen por su gran aporte nutricional. A pesar de esto, la gran cantidad de insaturaciones en su estructura los vuelve propensos a oxidarse con facilidad.

El objetivo de esta investigación fue incrementar la estabilidad oxidativa de los aceites en una proporción 50:50. Para esto, se evaluó el uso de alfa-tocoferol (AT) y butilhidroxitolueno (BHT) en el proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión (SA), el revestimiento por adsorción (RV) y la combinación del secado por aspersión con revestimiento por adsorción (SA-RV). Se realizó una prueba de oxidación acelerada y se determinó que las muestras de RV con N-ZORBIT 2144 presentaron un incremento en su tiempo de vida útil de 232 y 209 por ciento para el AT y BHT respectivamente.

Los resultados del diseño experimental sugieren que el uso del revestimiento por adsorción ofrece un mayor nivel de protección comparado con el secado por aspersión. De este modo, el tipo de proceso, antioxidante y su interacción afectan en la estabilidad oxidativa de los aceites.

Palabras clave: secado por aspersión; revestimiento por adsorción; tiempo de vida útil; diseño factorial; alfa-tocoferol y BHT; maltodextrina; goma arábica; N-ZORBIT 2144

ABSTRACT

Sacha inchi (*P.volubilis*) and chia (*S.hispanica*) oil are the natural source with the highest percentage of unsaturated fatty acids known. They are mainly composed of alpha-linolenic acid and linoleic acid and are consumed for their high nutritional value. In contrast, the large amount of unsaturation in their structure makes them susceptible to oxidation.

The objective of this research was to increase the oxidative stability of oils in a 50:50 (w/w) ratio. For this purpose, the use of alpha-tocopherol and butylated hydroxytoluene in the microencapsulation process by spray drying (SA), adsorption coating (RV) and spray drying with adsorption coating (SA-RV) was evaluated. An accelerated oxidation test was performed and determined that the RV samples with N-ZORBIT 2144 had an increase in shelf life of 232 and 209 percent for TA and BHT, respectively.

The results of the experimental design suggest that the use of adsorption coating gives a higher level of protection than spray drying. Thus, the type of process, antioxidant and their interaction affect the oxidative stability of the oils.

Keywords: spray drying; adsorption coating; shelf life; factorial design; alpha-tocopherol and BHT; maltodextrin; arabic gum; N-ZORBIT 2144

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes investigativos

El aceite de chía (*S. hispanica*) y sachá inchi (*P. volubilis*) destacan por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (α -linolénico y linoleico), sin embargo, es esta misma característica la que los vuelve susceptibles a la oxidación lipídica (**Goyal et al., 2022; Zettel & Hitzmann, 2018**). Un estudio reciente realizado por **Basantez (2022)**, demostró que el tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio con microcápsulas de chía y sachá inchi, se redujo considerablemente en comparación con el suplemento que no lo contenía. Por otra parte, la microencapsulación del aceite de sachá inchi ha demostrado aumentar su tiempo de vida útil hasta en un 213.48% cuando se utilizan productos especializados (**Iparraguirre, 2019**). Así mismo, para proteger el aceite de chía, **Guayta (2021)** comprobó que, el uso de 0.05% de alfa-tocoferol incrementa la conservación del aceite de hasta 264.395 días, mientras que, **Curti (2014)** y **Santos (2018)** validaron el uso de antioxidantes sintéticos como el TBHQ y BHT en una concentración de 200 ppm, como el mejor tratamiento para evitar la oxidación del aceite de chía y sachá inchi respectivamente. Por lo tanto, existen metodologías adecuadas para proteger el aceite de chía y sachá inchi por separado, pero no para una mezcla de ambos aceites.

De acuerdo con **Martínez et al. (2015)** y **Bordón et al. (2019)**, los materiales de pared como la maltodextrina (MD) y goma arábiga (GA) que se utilizan en la microencapsulación mediante secado por aspersion junto con antioxidantes, pueden proteger la estabilidad de los aceites del daño químico causado por la temperatura del proceso, mismos que, debido a su grado de insaturación, los hace propensos a oxidarse fácilmente. Contrario a esto, se ha reportado que el uso del proceso de recubrimiento a través de la mezcla física de una sustancia líquida junto con un agente sólido es la manera más fácil y económica de convertir aceites y líquidos en polvos secos manejables. Otra ventaja de utilizar esta técnica es la carga de aceite que soporta el compuesto, ya que, en la microencapsulación mediante secado por aspersion, el

máximo porcentaje de adición (con relación al peso total del material de pared) es del 25%, mientras que con el almidón modificado N-ZORBIT 2144 es del 70% (**Jin et al., 2018**).

Por lo tanto, considerando las diferencias entre ambas metodologías de recubrimiento y el efecto probado de los antioxidantes, la presente investigación tiene como objetivo establecer las mejores condiciones para ambos casos, lo cual, permitirá explorar nuevas formas para evitar la oxidación de los aceites poliinsaturados de alto aporte nutricional.

1.1. Sacha Inchi

Él sachá inchi, también llamado maní del inca, maní de monte, Daaó Inca, entre otros, es un cultivo oleaginoso que se adapta fácilmente al clima. Él sachá inchi pertenece a la familia Euphorbiaceae y ha sido conocido desde la época prehispánica; algunos estudios sugieren que fue descubierto por los preincas hace más de 3000 a 5000 años (**Goyal et al., 2022**). Él sachá inchi es característico por su fruto en forma de estrella que mide entre 3 y 5 cm. A medida que este fruto madura, su color cambia de verde a un marrón oscuro. En el interior de la cápsula se encuentran semillas comestibles de forma oval y color marrón oscuro, que miden entre 1.5 y 2 cm. Estas semillas germinan mejor en una temperatura entre los 25 y 30 °C (**Wang et al., 2018**).

1.1.1. Taxonomía

Tabla 1.

Taxonomía del Sacha Inchi

Descripción	Detalle
Reino	Plantae
Orden	Malpighiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	<i>Plukenetia</i>
Especie	<i>volubilis</i> Linneo

Nota. Adaptado de “Efecto de la adición de microencapsulado de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y Chía (*Salvia hispánica*) en el tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio” por A. Basantez, 2022, *Universidad Técnica de Ambato*.

1.1.2. Composición química

La composición química depende de la parte de la planta, las semillas, por ejemplo, son ricas en lípidos (representando entre un 35 y un 60% de su contenido), proteínas (entre un 25 y un 30%), vitamina E, polifenoles y minerales. En su mayoría, la semilla está compuesta por ácidos grasos: α -linolénico (12.8 - 47.04 %), linoleico (12.4 – 34.98 %), palmítico (1.6 – 2.1 %), oleico (3.5 – 4.7 %) y esteárico (1.1 – 1.3 %). Por otro lado, la cáscara contiene niveles más altos de alfa-tocoferol y cantidades similares de ácidos grasos ω -6 y ω -3 comparado con las semillas mismas (Fanali et al., 2011; Cai, 2011; Souza et al., 2013; Goyal et al., 2022).



Figura 1. El Sacha Inchi en diferentes etapas: A) Estado natural; B) Fruto estrellado; C) Semillas; D) Cáscara seca; E) Semillas sin cáscara; F) Productos de consumo.

Adaptado de “Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.): recent insight on phytochemistry, pharmacology, organoleptic, safety and toxicity perspectives”, por N. A. Rodzi & K. L. Lee, 2022, *Heliyon*, 8(9).

1.2. Chía

Hace casi 4500 años en Mesoamérica, la chía se usaba como alimento y medicina. Sin embargo, solo en tres siglos, la chía se convirtió en un cultivo olvidado y permaneció como un cultivo desconocido durante muchos años. Hoy en día su valor como cultivo y alimento es muy alto y su cultivo y consumo se lleva a cabo actualmente en 30 países. La demanda de chía ha aumentado hasta un 239 % para el año 2020. Su composición

contiene principalmente ácidos, como alfa-linolénico, linoleico, oleico, palmítico y esteárico, con una cantidad predominante de alfa- ácido linolénico (62,8%) (**Baldivia et al., 2018; Oteri et al., 2022**).

1.2.1. Taxonomía

Tabla 2.

Taxonomía de la Chía

Descripción	Detalle
Reino	Plantae
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae
Género	<i>Salvia</i>
Especie	<i>volubilis</i> Linneo

Nota. Adaptado de “Efecto de la adición de microencapsulado de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y Chía (*Salvia hispánica*) en el tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio” por A. Basantez, 2022, *Universidad Técnica de Ambato*.

1.2.2. Composición química

La semilla de chía es considerada una buena fuente de aceites, proteínas, fibra dietética, minerales y compuestos polifenólicos. La semilla en sí contiene una buena cantidad de proteína (25.32 g/100 g), grasas (30.22 g/100 g), y fibra dietética (37.50 g/100 g), siendo la fibra insoluble la más predominante (35.07 g/100 g). Los ácidos grasos más abundantes encontrados en la semilla de chía fueron el ácido α -linolénico (62.80 %), seguido por el ácido linoleico (18.23 %), ácido palmítico (7.07 %), ácido oleico (7.04%) y ácido esteárico (3.36 %). El aceite extraído de la semilla de chía es único en cuanto a que su proporción de ácido omega-3-linolénico es la más alta que se ha encontrado en cualquier fuente natural conocida (**Marineli et al., 2014; Álvarez-Chávez et al., 2008**).



Figura 2. A) Semillas de chía; B) Semillas de chía hidratadas.

Adaptado de “Nutritional, phytochemical and therapeutic potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.). A mini-review”, por Z. Din et al., 2021, *Food Hydrocolloids for Health*, 1.

1.3. Ácidos grasos

Los ácidos grasos son compuestos orgánicos que se forman a partir de una cadena alifática y un grupo carboxilo; los cuales pueden contener enlaces de tres tipos, sean estos: simples, dobles o triples, lo que determina si son ácidos grasos saturados, monoinsaturados o poliinsaturados. Además, se lo conoce por ser aquellos componentes más abundantes de los lípidos, de los cuales, la mayoría se forman a partir de una cadena lineal con número par de átomos de carbono (**Sabikhi & Sathish, 2012**).

1.3.1. Ácidos grasos saturados

Su estructura base tiene la forma $CH_3 - (CH_2)_n - COOH$ y varía de entre 4 a 26 átomos de carbono, su punto de fusión aumenta directamente con relación al tamaño de la molécula (**Dergal, 2006; Bhagavan, 2002**).

Tabla 3.*Ácidos grasos saturados*

Nombre Común	Nombre científico	Fórmula	Punto de fusión (°C)
Butírico	Butanoico	$CH_3 - (CH_2)_2 - COOH$	-5.9
Caproico	Hexanoico	$CH_3 - (CH_2)_4 - COOH$	-3.4
Caprílico	Octanoico	$CH_3 - (CH_2)_6 - COOH$	16.7
Cáprico	Decanoico	$CH_3 - (CH_2)_8 - COOH$	31.6
Láurico*	Dodecanoico	$CH_3 - (CH_2)_{10} - COOH$	44.2
Mirístico*	Tetradecanoico	$CH_3 - (CH_2)_{12} - COOH$	54.4
Palmítico*	Hexadecanoico	$CH_3 - (CH_2)_{14} - COOH$	63.0
Esteárico*	Octadecanoico	$CH_3 - (CH_2)_{16} - COOH$	69.4
Araquídico	Eicosanoico	$CH_3 - (CH_2)_{18} - COOH$	76.0
Behénico	Docosanoico	$CH_3 - (CH_2)_{20} - COOH$	79.9
Lignocérico	Tetracosanoico	$CH_3 - (CH_2)_{22} - COOH$	84.2
Cerótico	Hexacosanoico	$CH_3 - (CH_2)_{24} - COOH$	87.7

Nota. *Ácidos grasos saturados comunes en alimentos. Recuperado de *Química de los alimentos* (4th ed., p 249) por S. B. Dergal, 2006, Pearson Educación.

1.3.2. Ácidos grasos insaturados

Estos ácidos presentan en su estructura una o más insaturaciones que los vuelven propensos a la oxidación o a procesos de isomerización. Su punto de fusión disminuye a medida que aumentan las insaturaciones y siempre es menor que un ácido graso saturado. Las insaturaciones se nombran a partir del grupo metilo final, se representa con el símbolo omega (ω) seguido del número de carbón de la insaturación. Las insaturaciones más importantes en alimentos son: $\omega 3$, $\omega 6$, $\omega 9$, y que naturalmente se encuentran en forma *cis* (Liu et al., 2023).

Tabla 4.*Ácidos grasos insaturados*

Nombre Común	Nombre científico	Fórmula	Punto de fusión (°C)
Palmitoleico	Hexadeca-9-enoico	$C_{15}H_{29} - COOH$	-0.5
Oleico*	Octadeca-9-enoico	$C_{17}H_{33} - COOH$	13
Linoleico*	Octadeca-9:12-dienoico	$C_{17}H_{31} - COOH$	-5.0
Linolénico*	Octadeca-9:12:15-trienoico	$C_{17}H_{29} - COOH$	-11.0
Araquidónico	Eicosa-5:8:11:14-tetraenoico	$C_{19}H_{31} - COOH$	-49.5
Vaccénico	<i>trans</i> -Octadeca-11-enoico	$C_{17}H_{33} - COOH$	40
Gadoleico	Eicosa-11-enoico	$C_{19}H_{37} - COOH$	23.5
Erúcico	Docosa-13-enoico	$C_{21}H_{39} - COOH$	38.0

Nota. *Ácidos grasos insaturados comunes en alimentos. Recuperado de *Química de los alimentos* (4th ed., p 250) por S. B. Dergal, 2006, Pearson Educación.

1.4. Oxidación de los lípidos

Los aceites experimentan cambios químicos, llamados rancidez, que no solo disminuyen su valor nutricional, sino que también producen compuestos volátiles que causan olores y sabores indeseables. Hay dos tipos principales de rancidez: la hidrolítica (o lipólisis) y la oxidativa (o autooxidación) (Klooster, 2015; Dergal, 2006).

1.4.1. Lipólisis

En este tipo de oxidación, los enlaces éster de los triacilglicéridos y fosfolípidos se rompen dando lugar a la formación de ácidos grasos libres, los cuales pueden ser precursores de la rancidez. Esta reacción se produce debido a la actividad de las enzimas lipasas o a las altas temperaturas de procesamiento, almacenamiento o cocción. También se conoce que la miscibilidad del agua en los lípidos aumenta a altas temperaturas y presiones, lo cual puede mejorar la velocidad de la reacción de hidrólisis (Dergal, 2006; Satyarthi et al., 2011).

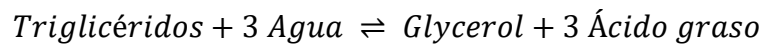
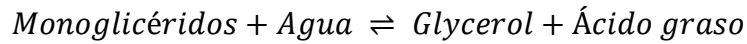
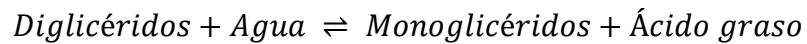
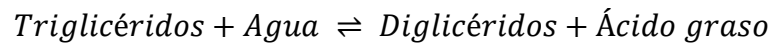


Figura 3. Hidrólisis de aceites vegetales

Adaptado de “Hydrolysis of vegetable oils and fats to fatty acids over solid acid catalysts” por Satyarthi et al., 2011, *Applied Catalysis A: General*, 391.

1.4.2. Autooxidación

Es el mecanismo de oxidación más común en las grasas, este proceso inicia cuando una molécula de un ácido graso insaturado es atacada por un agente iniciador (Tabla 5) que le obliga a ceder un electrón a otra molécula (reducción), lo cual provoca la generación de radicales libres. Luego, estos nuevos compuestos también son iniciadores y comienza la fase de propagación, lo cual genera radicales y compuestos secundarios responsables de los cambios organolépticos (Figura 4). Finalmente, cuando la concentración de radicales libres es demasiado grande, comienzan a interactuar entre ellos hasta formar compuestos estables (Hill et al., 2012).

Tabla 5.

Factores que promueven la oxidación

Promotores	Inhibidores
Temperatura	Refrigeración
Metales	Secuestrante
Peróxidos de grasas oxidadas	Antioxidante
Lipoxidasa	Escaldado
Presión de oxígeno	Gases inertes o vacío
Luz UV, azul	Empaque con protección UV
Insaturaciones	Hidrogenación

Nota. Adaptado de *Química de los alimentos* (4th ed., p 284) por S. B. Dergal, 2006, Pearson Educación.

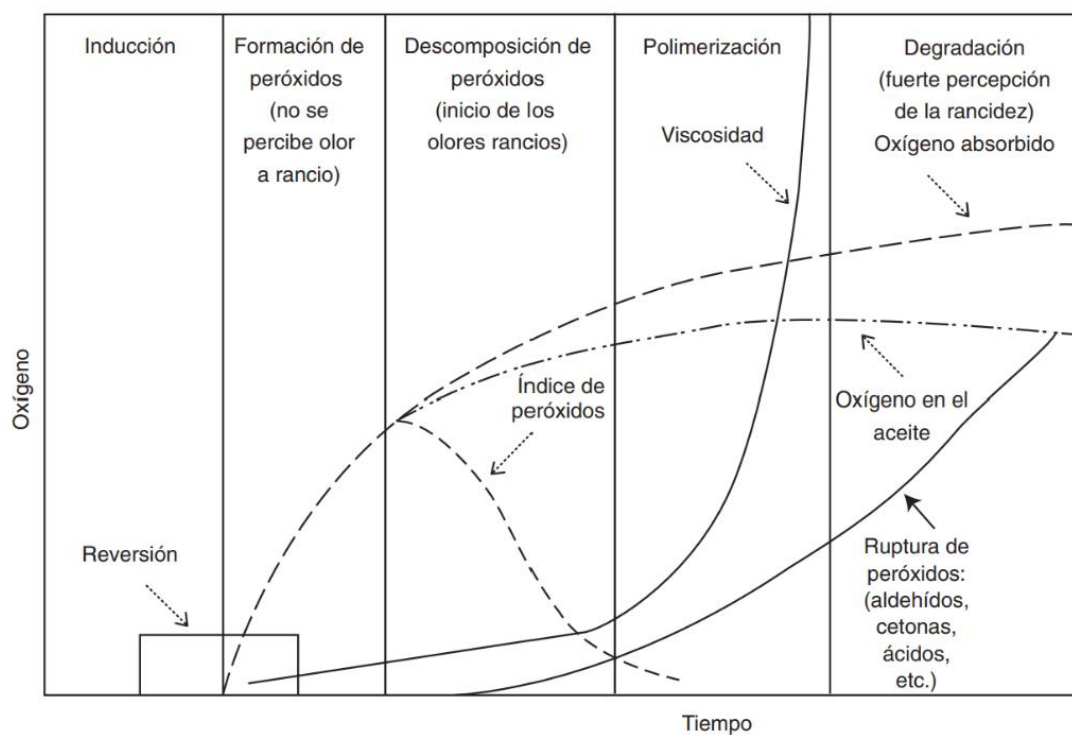


Figura 4. Oxidación de los aceites

Adaptado de *Química de los alimentos* (4th ed., p 287) por S. B. Dergal, 2006, Pearson Educación.

1.4.3. Antioxidantes

Los antioxidantes se pueden clasificar según su tipo: antioxidantes sintéticos y antioxidantes naturales o según su mecanismo de acción: transferencia de átomo de hidrógeno (TAH) y transferencia de electrones (TE). La eficacia de un eliminador de radicales libres (ERL) depende de su capacidad para donar hidrógeno a radicales libres de alta energía. Esta capacidad está influenciada por la energía de disociación del enlace oxígeno-hidrógeno (BED, por sus siglas en inglés) del eliminador. Valores de BED más bajos resultan en reacciones de transferencia de hidrógeno más favorables y rápidas desde el punto de vista energético. Otro parámetro, el potencial de reducción de un electrón (E°), indica la capacidad de los antioxidantes para transferir electrones. Los antioxidantes con valores de E° más bajos tienen una mayor facilidad para transferir electrones. Por lo general, los antioxidantes naturales involucran tanto mecanismos de TAH como de TE (**Chen & Xu, 2019; Yehye et al., 2015; Berdahl et al., 2010**).

1.4.3.1. Antioxidantes naturales

Los antioxidantes naturales se utilizan en los alimentos como una medida de protección para evitar la oxidación, y también se les emplea como suplementos dietéticos para contrarrestar los efectos negativos del estrés oxidativo. Estos antioxidantes tienen una actividad y un mecanismo de acción determinados por su estructura molecular, el sistema en el que se encuentran y las condiciones ambientales. Aunque se han estudiado extensamente las fuentes naturales de antioxidantes, su uso generalizado se ve limitado por las regulaciones que solo permiten aquellos que tienen una ingesta diaria recomendada, como las vitaminas. A pesar de esto, algunos antioxidantes naturales como el té verde, el romero y otras especias, extractos y los tocoferoles mixtos se utilizan a menudo en los alimentos, como agentes aromatizantes o bajo otras formas encubiertas para evitar estos problemas normativos (**Shahidi, 2015; Berdahl et al., 2010; Bodoira et al., 2017**).

1.4.3.1.1. Alfa-tocoferol

Los compuestos fenólicos, que son compuestos con un grupo hidroxilo asociado con una estructura de anillo aromático, eliminan los radicales libres donando hidrógeno y producen radicales de baja energía que no promueven la oxidación. Los antioxidantes

fenólicos, incluyendo el alfa-tocoferol, también pueden someterse a reacciones de transferencia de electrones con otros radicales antioxidantes o radicales de lípidos, lo que lleva a la formación de especies no radicales. Los tocoferoles y tocotrienoles, que son ERL monofenólicos lipofílicos, forman parte del grupo de la vitamina E y se derivan de las plantas. Interactúan con radicales peroxilo de ácidos grasos, formando hidroperóxidos de ácidos grasos y varios radicales de tocoferoxilo. Los tipos y cantidades de estos productos dependen de factores como las tasas de oxidación, las especies de radicales, el estado de los lípidos y las concentraciones de tocoferol. El tocoferol está presente en alimentos de origen vegetal ricos en aceite, como aceite de soja, maíz, cártamo y semillas de algodón, así como en granos enteros y nueces. Entre los isómeros de tocoferol, el alfa-tocoferol tiene mayor actividad vitamínica, y se utiliza comúnmente en concentraciones de entre 0.01% a 0.5% (Chen & Xu, 2019).

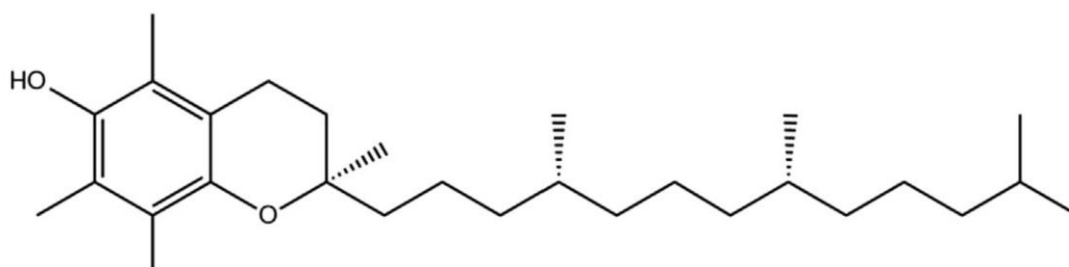


Figura 5. Estructura del Alfa-tocoferol

Adaptado de “Natural Antioxidants in Foods. In Encyclopedia of Food Chemistry”, por B. Chen & M. Xu, 2021, *Elsevier*, p. 3.

1.4.3.2. Antioxidantes sintéticos

Los antioxidantes sintéticos más comunes son BHA, BHT, TBHQ, ácido ascórbico y ésteres de ácido gálico. Los antioxidantes sintéticos son baratos, estables y efectivos, y se han sometido a diversas pruebas toxicológicas. Sin embargo, los antioxidantes sintéticos son tóxicos, cancerígenos, no biodegradables y plantean problemas ambientales. Además, las nuevas regulaciones sobre la aplicación de antioxidantes sintéticos restringen su uso. Los antioxidantes naturales se consideran más seguros y saludables en comparación con sus homólogos sintéticos. Hace dos décadas se

identificaron más de 980 antioxidantes naturales, de los cuales la mayoría son compuestos fenólicos, como una alternativa más saludable a los sintéticos. Los antioxidantes que tienen grupos fenólicos son los más utilizados. Los antioxidantes naturales se pueden producir a partir de fuentes de origen vegetal, como frutas, verduras, especias, hierbas, nueces, semillas, así como fuentes animales y microbianas (Yehye et al., 2015; Berdahl et al., 2010).

1.4.3.2.1. Butilhidroxitolueno (BHT)

El BHT funciona como antioxidante a través de la transferencia de electrones para neutralizar los radicales libres altamente reactivos. Cuando el BHT se encuentra en presencia de estos radicales, su estructura química le permite donar un electrón, convirtiéndose en un radical estable y evitando la oxidación y el deterioro de los productos. Actuando como agente reductor, el BHT sacrifica su propia estructura al oxidarse con el fin de proteger las moléculas y productos a los que se ha agregado. Este proceso de inactivación evita que los radicales libres dañen otras moléculas en una reacción de oxidación en cadena. Aunque el BHT también puede donar átomos de hidrógeno (TAH) en ciertos contextos y reacciones, su función principal como antioxidante radica en la transferencia de electrones (TE). Al estabilizar los radicales libres a través de esta transferencia, el BHT cumple su papel vital en la prevención del deterioro oxidativo y la protección de la calidad de los productos en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Es importante destacar que la regulación y los límites de uso del BHT como aditivo alimentario están establecidos por las autoridades sanitarias, sin embargo, lo más común es utilizar concentraciones de entre 0.0002% a 0.2% (Yehye et al., 2015).

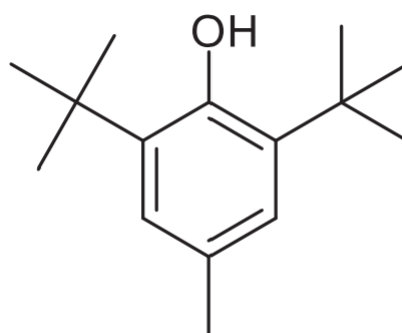


Figura 6. Estructura del Butilhidroxitolueno

Adaptado de “Understanding the chemistry behind the antioxidant activities of butylated hydroxytoluene (BHT): A review”, por Yehye et al., 2015, *European Journal of Medicinal Chemistry*, 101.

1.5. Proceso de secado por aspersión

El secado por aspersión es ampliamente reconocido como el método de microencapsulación más comúnmente utilizado para el secado de líquidos alimentarios y algunas suspensiones (Figura 7). Este proceso se basa en la conversión de un líquido en una fina neblina, la cual se mezcla posteriormente con aire caliente. Esta combinación da lugar a un secado extremadamente rápido, transformando las gotas líquidas en partículas de polvo. Además, durante el proceso de secado por aspersión se produce un efecto significativo de enfriamiento por evaporación. Esto implica que la temperatura superficial de las gotas no se eleva considerablemente por encima de la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado hasta que el proceso de secado está cerca de completarse. Esta condición resulta beneficiosa para evitar daños causados por el calor en el producto (**López et al., 2011; Brennan, 2003; Jacobs, 2014**).

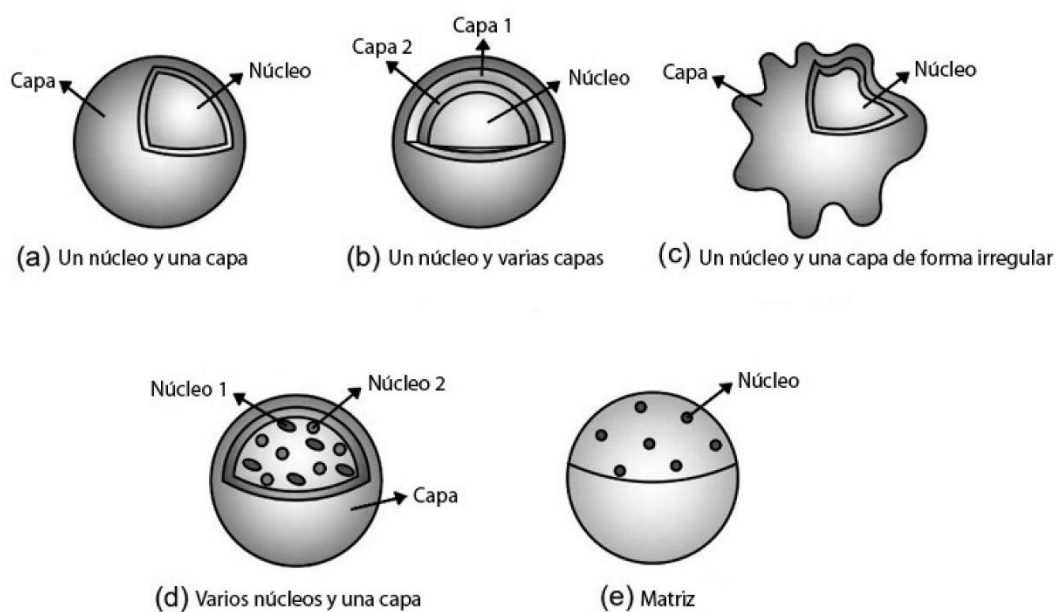


Figura 7. Tipos de microcápsulas en el secado por aspersión.

Adaptado de “Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión”, por D. Cardona et al., 2021, *Ciencia. Tecnología. Agropecuaria*, 22(1).

1.5.1. Funcionamiento

El funcionamiento del secado por aspersión se describe como un proceso de una sola etapa, sus componentes principales se muestran en la Figura 8. La entrada de aire (A) se encuentra equipada con un ventilador que succiona el aire a través de un filtro (B) y lo impulsa hacia el calentador de aire (C), para luego dirigirlo a la cámara de secado (D). Por medio de una bomba (E), el material de alimentación se bombea desde el tanque de alimentación (F) hacia el dispositivo de pulverización (G). En este punto, la alimentación líquida se convierte en un polvo fino que se mezcla con el aire de secado en la cámara (D) (**Brennan, 2003; Jacobs, 2014**).

Una vez concluido el proceso de secado, la mayor parte del polvo seco resultante se elimina de la cámara de secado a través de la válvula (H), transportándolo neumáticamente hacia un depósito de almacenamiento mediante el conducto (I). El aire, a su vez, es extraído de la cámara de secado a través de los conductos (J) y pasa a través de uno o más separadores de aire/polvo (K), antes de ser expulsado hacia la atmósfera mediante el ventilador de salida (L). El polvo fino recuperado por los

separadores (K) puede ser añadido a la corriente principal del producto mediante la válvula (M) o recircularse hacia la zona húmeda de la cámara de secado mediante el conducto (N) (Brennan, 2003; Jacobs, 2014).

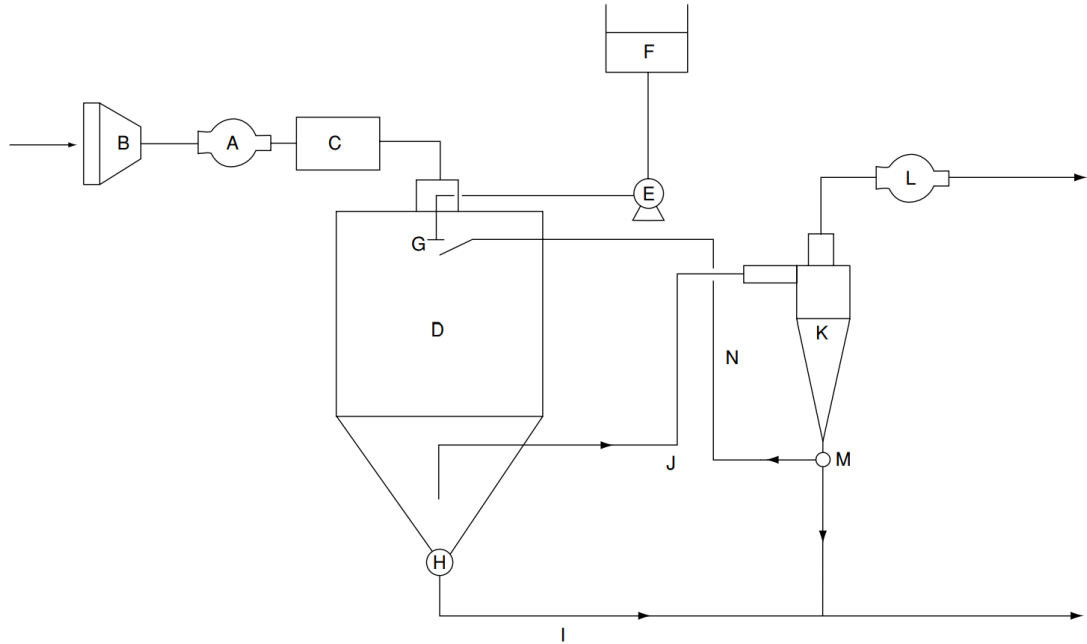


Figura 8. Secador por aspersión de una sola etapa

Recuperado de “DRYING | Spray Drying”, por J. Brennan, 2003, *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, p. 2.

1.5.2. Alimentación del equipo

El fluido, suspensión o emulsión que se requiera encapsular necesita cumplir con varios parámetros de control para que el proceso sea seguro y óptimo (Dyvelkov et al., 2023). Los componentes principales del líquido de alimentación son:

- Material de pared (fase dispersa)
- Fluido de transporte (fase continua)
- Compuesto activo

Adicionalmente, a esta solución también se le pueden añadir emulsionantes, estabilizantes o diluyentes con el fin de mejorar la protección del compuesto activo o de aumentar el rendimiento. La elección del tipo de material de pared y el fluido de

transporte va ligada a la naturaleza del compuesto activo que se requiere microencapsular (**López et al., 2011**).

La maltodextrina, se utiliza como material de pared para la encapsulación de aceites en el proceso de secado por aspersión. La maltodextrina, al tener un mayor peso molecular y un valor de equivalente de dextrosa (DE) bajo, posee un mayor punto de transición vítrea, lo que confiere una mayor estabilidad física a la matriz de pared. Esto ayuda a evitar la formación de cristales y la aglomeración de los polvos encapsulados, lo que podría afectar la liberación de aceite encapsulado y provocar la oxidación lipídica (**Bae & Lee, 2008**).

La incorporación de un material de pared de alto peso molecular, como la goma arábiga (GA), puede mejorar la estabilidad de una emulsión en el proceso de secado por aspersión, evitando problemas operativos y reduciendo los cambios estructurales, como la cristalización, durante el almacenamiento (**Mohd Roby et al., 2020**). La goma arábiga destaca como el agente encapsulante más empleado en el secado por aspersión debido a sus propiedades beneficiosas, incluyendo su contenido de fibra soluble, efecto prebiótico, alta tolerancia digestiva y bajo aporte calórico. Además, debido a su naturaleza, se utiliza en alimentos o formulaciones orgánicas debido a su característica no cariogénica (**Mohsin et al., 2022**).

Para **López et al. (2011)** y **Vasisht (2014)**, las condiciones que debe cumplir el material de pared son:

- Ser soluble en la fase continua
- Mantener una baja viscosidad
- No reaccionar con el compuesto activo
- Ser inodoro e insípido
- Proteger al compuesto activo de la luz y oxígeno
- Baja higroscopicidad

1.6. Proceso de revestimiento por adsorción

El proceso de revestimiento, también conocido como *plating*, se refiere a la combinación física de sustancias líquidas sobre portadores sólidos para crear polvos fluidos. En términos simples, es la forma más sencilla y económica de convertir sabores, líquidos o aceites en polvos secos de fácil manejo. En aplicaciones alimenticias, el proceso de revestimiento se puede utilizar para transformar materiales altamente viscosos en polvo fino, como oleorresinas, miel/sirope, lecitina y compuestos volátiles. Se han utilizado varios ingredientes como maltodextrina, azúcar, sal y harina a modo de agentes de revestimiento, sin embargo, el problema principal con estos ingredientes es su baja capacidad de absorción, falta de fluidez y aglomeración durante el almacenamiento. En la mayoría de los casos, se necesita agregar dióxido de silicio al polvo revestido para mejorar la fluidez y la estabilidad durante su almacenamiento. Además de los ingredientes de revestimiento tradicionales, también se disponen de otros productos basados en almidón que pueden proporcionar un mejor rendimiento (**Jin et al., 2018**).

1.6.1. N-ZORBIT 2144

De acuerdo con **Jin et al. (2018)**, el producto N-ZORBIT 2144, es un agente de revestimiento basado en almidón que se obtiene mediante la hidrólisis enzimática de almidón de maíz con la enzima glucoamilasa. Durante este proceso, la enzima se introduce en los poros naturales del almidón y aumenta el tamaño de los canales dentro de los gránulos de almidón, pero manteniendo su integridad estructural. Los gránulos de almidón se transforman en partículas porosas con una capacidad de absorción mejorada, lo que aumenta significativamente el área superficial de las partículas y la capacidad de revestimiento, llegando a tener un 40% (p/p) de capacidad de revestimiento, en comparación con los gránulos de almidón naturales y no tratados que tienen alrededor del 15% (p/p). La estructura porosa de este almidón permite una mejora considerable en la absorción de aceites, sabores y extractos de condimentos, ya que estos materiales pueden ser absorbidos en los poros capilares dentro de los gránulos y no solo en la superficie de los agentes de revestimiento tradicionales, como la maltodextrina, sales o azúcares. Además, N-ZORBIT 2144 es insoluble en agua fría, lo que lo hace apto para revestir materiales solubles en agua y aceites. Su estructura también proporciona una mayor estabilidad durante el almacenamiento a lo largo del

tiempo en comparación con los agentes de revestimiento convencionales que pueden aglomerarse bajo condiciones de alta humedad.

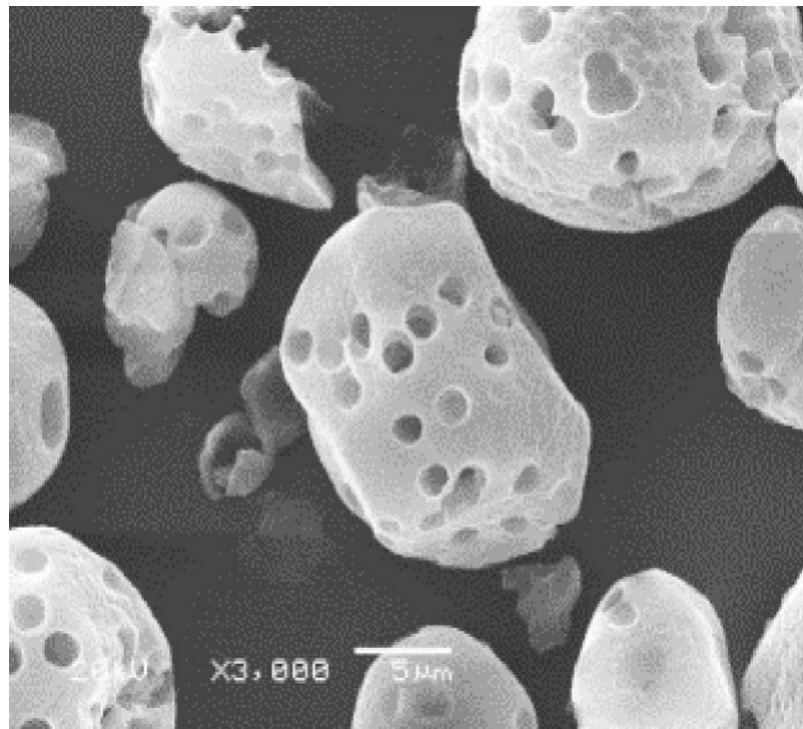


Figura 9. Microscopía electrónica de barrido de N-ZORBIT 2144

Recuperado de “Starch-Based Microencapsulation”, por Y. Jin et al., 2018, *Starch in Food*, 22(1), p. 685.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

- Evaluar la estabilidad oxidativa de una mezcla de aceites de sachá inchi (*P.volubilis*) y chía (*S.hispanica*) en polvo.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la aplicación de las técnicas de adsorción y microencapsulación en la disposición final de una mezcla de aceite de sachá inchi y chía en polvo.
- Evaluar la estabilidad oxidativa de las mezclas de aceites de sachá inchi y chía en polvo.
- Realizar una caracterización por espectroscopía infrarroja de las mezclas en polvo obtenidas.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

- Aceite de Chía, Novachem
- Aceite de Sacha Inchi, Inpalca
- Goma arábica (GA), Nexira
- Maltodextrina (MD), Norbright
- Alfa-tocoferol, Foodchem Inc
- BHT, Shanghai Yancui Corp
- Lecitina de soya, Foodchem Inc
- N-ZORBIT 2144, Ingredion Inc
- Éter de petróleo, Fisher Chemical

2.2. Equipos

- Spray Dryer Buchi B290, Buchi
- Espectrómetro FTIR Spectrum Two
- Extractor semiautomático SER 148, Velp Scientifica
- OXITEST Reactor de Estabilidad Oxidativa, Velp Scientifica
- Software OXISoft 3.0.0, Velp Scientifica
- Balanza Analítica, RADWAG
- Homogenizador Ultra turrax, IKA
- Material de laboratorio
- Minitab Statistical Software, Minitab

2.3. Metodología

2.3.1. Diseño factorial A x B

Para determinar el efecto del tipo de protección y tipo de antioxidante sobre el tiempo de vida útil de una mezcla de aceites de Sacha Inchi y Chía, se utilizó un diseño factorial 3 x 2.

A x B

Factor A: Tipo de proceso

Niveles del factor A:

- Microencapsulación mediante secado por aspersion (SA)
- Revestimiento por adsorción (RV)
- M. Secado por aspersion – R. Adsorción (SA-RV)

Factor B: Tipo de antioxidante

Niveles del factor B:

- Alfa-tocoferol (AT)
- Butilhidroxitolueno (BHT)

Respuesta experimental: Tiempo de vida útil.

Número total de corridas: $\text{réplicas} * (AxB) = 2 * (3x2) = 12$

	Antioxidante	
Proceso	AT	BHT
SA	(R1) (R2)	(R1) (R2)
RV	(R1) (R2)	(R1) (R2)
SA-RV	(R1) (R2)	(R1) (R2)

Figura 10. Representación del diseño factorial 3 x 2.

H_0 : Efecto del proceso (A) = 0 = El tipo de proceso no afecta al T. vida útil

H_1 : Efecto del proceso (A) \neq 0 = El tipo de proceso afecta al T. vida útil

H_0 : Efecto del antioxidante (B) = 0 = El tipo de antioxidante no afecta al T. vida útil

H_1 : Efecto del antioxidante (B) \neq 0 = El tipo de antioxidante afecta al T. vida útil

H_0 : Proceso x Antioxidante (AB) = 0 = La interacción del Proceso x Antioxidante no afecta al T. vida útil

H_1 : Proceso x Antioxidante (AB) \neq 0 = La interacción del Proceso x Antioxidante afecta al T. vida útil

Figura 11. Planteamiento de las hipótesis

Para comprobar si los factores individuales o su interacción tienen efecto sobre el tiempo de vida útil, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) a partir del diseño experimental planteado con un nivel de significancia de 0.05%.

2.3.2. Microencapsulación mediante secado por aspersión

2.3.2.1. Obtención del microencapsulado con MD-GA

Para la obtención de las microcápsulas de aceite, se utilizó aceite extra virgen de sacha Inchi y refinado de chía, de la marca Inpalca y Novachem respectivamente. Así mismo, se empleó el método descrito por **Basantez (2022)**. Para esto se utilizará una mezcla de Maltodextrina (MD) y Goma arábiga (GA) como materiales de pared (**Bordón et al., 2021**).

2.3.2.2. Preparación de las suspensiones

Para obtener la dispersión de polímeros, se mezcló 17.20 g de MD y 17.20 g de GA en 98.40 ml de agua destilada, agitando durante 5 minutos a una velocidad de 11000 rpm hasta su homogenización. Posteriormente, la dispersión final (132.80 mL) se conservó a temperatura ambiente durante 24 horas para que pueda estabilizarse (**Basantez (2022)**).

2.3.2.3. Preparación de las emulsiones

Se preparó una emulsión del tipo: Material de pared: Agua destilada / Mezcla de aceites: Lecitina de soya: Antioxidante, lo que corresponde a la fase acuosa / fase oleosa respectivamente, así mismo, la relación entre el material de pared (MP) y la mezcla de aceites (MA) fue de 2:1. Para esto, primero se obtuvo la suspensión oleosa, se mezcló 8.60 g de aceite de sacha inchi (50%) junto con 8.60 g de aceite de chía (50%) para obtener un total de 17.20 g de aceite. Luego de esto, a la cantidad de aceite de la fase oleosa se le añadió 0.15% de lecitina de soya (en relación con el volumen de agua destilada) y 200 ppm de BHT o 500 ppm de Alfa-tocoferol como agente antioxidante (en relación con el volumen total de la fase oleosa). Posteriormente, la solución de aceite se añadió gota a gota a la fase acuosa con una agitación constante por 10 minutos a 11000 rpm (**García-Moreno et al., 2015; Villanueva et al., 2017; Basantez, 2022**).

2.3.2.4. Secado por aspersión

Para obtener las microcápsulas se utilizó el equipo Mini Spray Dryer Büchi B-290 con una temperatura de entrada de 150 °C y 90 °C de salida (**Solís, 2018; Pastuña, 2016**).

2.3.3. Revestimiento por adsorción

Para obtener la mezcla recubierta se utilizó una mezcla de aceites (50% sacha inchi y 50% chía), 200 ppm de BHT o 500 ppm de Alfa-tocoferol como antioxidante y 0.15% de lecitina de soya, junto con el producto N-ZORBIT 2144 en una proporción de 1:5 (p/p) respectivamente. Para homogenizar las muestras, se utilizó las condiciones propuestas por **Carvalho et al. (2021)**, incorporar el almidón modificado a la fase oleosa durante 4 minutos a 3500 rpm.

2.3.4. Secado por aspersión – Revestimiento por adsorción

Para la preparación de las muestras de secado por aspersión-revestimiento por adsorción, primero se obtuvo el producto de la microencapsulación para después mezclarlo con un 20 % de N-ZORBIT 2144. Se utilizó un homogenizador mecánico a 4500 rpm durante 10 minutos para obtener un polvo fino homogéneo.

2.3.5. Cuantificación del aceite libre

La cuantificación de aceite se realizó mediante el método estandarizado de la **AOAC 2003.06 (2003)**, junto con un extractor semiautomático SER 148. Para esto, primero se pesó los vasos de extracción, luego se colocó 3 g de la muestra en papel filtro y se colocó en el dedal de extracción. Según **Basantez (2022)** y **(Solís, 2018)**, las condiciones de trabajo para la extracción son:

- Muestra: 3 g
- Disolvente: 60 ml de éter de petróleo
- Temperatura de extracción: 110°C
- Tiempo de inmersión: 15 min
- Tiempo de lavado: 30 min
- Tiempo de recolección del disolvente: 1 hora

Finalmente, se pesó el vaso de extracción luego de terminado el proceso y se calculó el porcentaje de aceite libre de cada muestra con la siguiente fórmula:

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

Donde:

A: Peso del vaso luego de la extracción.

B: Peso del vaso vacío.

C: Peso inicial de la muestra.

2.3.6. Cálculo de la eficiencia

Una vez que se obtuvo el porcentaje de aceite libre de cada muestra, se calculó la eficiencia de la microencapsulación mediante secado por aspersión o el recubrimiento por adsorción a partir de la siguiente ecuación:

$$EP (\%) = \left[\frac{\% \text{ Aceite Total} - \% \text{ Aceite Libre}}{\% \text{ Aceite Total}} * 100 \right]$$

2.3.7. Evaluación de la estabilidad oxidativa

Para determinar la estabilidad oxidativa de las muestras y calcular su tiempo de vida útil, se sometió a cada muestra a un proceso de oxidación acelerada a distintas temperaturas y presión constante mediante el uso del equipo Oxitest (AOCS, 2017). Para esto, se trabajó con las condiciones sugeridas en el manual de operación:

- Presión: 6 bar
- Temperatura: 90, 100, 110 °C
- Muestra: 5 g por plato

El resultado de este análisis es el periodo de inducción (IP), el cual representa el tiempo que tarda cada muestra en comenzar con su oxidación. Para calcular el tiempo de vida útil estimado, primero se obtuvo una recta de regresión a partir del periodo de inducción de cada muestra en las diferentes temperaturas. Luego de esto, la ecuación ajustada (A) se modificó para establecer el tiempo de vida útil (B) a la temperatura de 15 y 20 °C.

$$\ln IP = pendiente * (temperatura) + ordenada en el origen (A)$$

$$T. vida \text{ útil (horas)} = e^{\ln IP = pendiente * (temperatura) + ordenada en el origen} (B)$$

Figura 12. Ecuaciones para calcular el tiempo de vida útil.

2.3.8. Análisis de espectroscopía infrarroja FTIR

Para analizar las bandas o picos de la mezcla de la fase dispersa y continua, se utilizó el método sugerido por López et al. (2011) junto con el equipo Spectrum Two FTIR. El rango del espectro que se utilizó fue de 550 a 4000 cm^{-1} , y se analizó los componentes individuales, en conjunto y luego del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión, el recubrimiento por adsorción o su combinación.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Fase experimental

Se realizaron varias pruebas preliminares para ajustar los parámetros del diseño experimental planteado. Se escogió un diseño factorial con tres factores y dos niveles cada uno (AxBxC) junto con 2 réplicas por muestra, los niveles que se evaluaron fueron: Tipo de protección; La relación de la cantidad de recubrimiento con respecto a la cantidad de aceite y el Tipo de antioxidante. Así mismo, la mezcla polimérica para la técnica de secado por aspersión era de Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) junto con Maltodextrina (MD).

Debido a que la microencapsulación mediante secado por aspersión requiere de una homogenización previa, primero se comprobó la viscosidad producida por la suspensión de polímeros (HPMC-MD) y se obtuvo una viscosidad aparente de 368 centipoise (cP). Según **López et al. (2011)**, la viscosidad de la muestra homogenizada que soporta el equipo de secado por aspersión Buchi B-290 es 168 cP, es así que, el límite de viscosidad fue alcanzado únicamente con los polímeros y sin la adición de la fase oleosa, la cual hubiese aumentado todavía más la viscosidad.

A partir de estos resultados, se tomó la decisión de probar con una mezcla polimérica que sea estable y produzca una menor viscosidad. Los materiales de pared seleccionados fueron la combinación de maltodextrina (MD) y goma arábiga (GA), la cual fue analizada por **Basantez (2022)**. Así mismo, se ajustó el diseño factorial para trabajar con valores predeterminados de la relación de recubrimiento y cantidad de aceite y no con una escala variable. Como resultado, se planteó un diseño factorial de 2 factores, con 3 niveles para el primer factor y 2 niveles para el segundo.

3.2. Aceite libre y eficiencia del proceso de secado por aspersión y revestimiento por adsorción

Según **Granelli et al. (1996)** y **Keogh et al. (2001)** la presencia de aceite libre (AL) en las muestras recubiertas afecta negativamente en sus propiedades físicas, esto debido a que las gotas de aceite que no han sido introducidas en el polímero se comportan como precursores de la oxidación lipídica. De igual manera, un mayor contenido de aceite libre provoca el apelmazamiento de la muestra durante su almacenamiento (**Domian et al., 2018**).

En la Tabla 6 se observa que el promedio de aceite libre para el secado por aspersión (SA) y el secado por aspersión – adsorción (SA-RV), tanto como para el alfa-tocoferol (AT) como para el butilhidroxitolueno (BHT) sobrepasa el 10%. Por otro lado, la metodología de revestimiento por adsorción (RV) presenta un valor promedio por debajo de las otras 2 técnicas. Al comparar estos valores con los obtenidos por **Bae & Lee (2008)**, se observa que el contenido de AL esperado es aceptable, pero con un ligero incremento para el SA con relación al rango de 11 a 16 % de AL del aceite de aguacate. A pesar de esto, **Copado et al. (2021)** menciona que no existe un valor o un rango de porcentajes de AL estandarizado que permita determinar contundentemente la efectividad del proceso. Esto se debe principalmente a la naturaleza del disolvente utilizado, ya que estos tienen la capacidad de inducir la extracción del aceite recubierto, lo cual genera un contenido de AL más alto que el contenido real (**Vega & Roos, 2006**).

Para **Kouamé et al., (2021)** y **Hadad & Goli (2019)** la forma más efectiva de comprobar la calidad del revestimiento es comparando la eficiencia del proceso junto con el contenido o carga de aceite de la muestra. Los datos obtenidos en la Tabla 7 muestran que la eficiencia promedio del SA y SA-RV se encuentra en un rango de 60 a 70%, según lo mencionado por **Fioramonti et al., (2019)** y **Jiménez-Martín et al., (2016)** la eficiencia del proceso fue buena, pero debido a las características del material de pared, existió una pérdida de estabilidad y por consiguiente una disminución en el grado de protección de la cápsula. Contrario a esto, la metodología de RV presentó una eficiencia superior al 80%, que acorde a **Copado et al. (2021)**, indica que el polímero utilizado es capaz de retener y contener al aceite. Este alto porcentaje de eficiencia también puede deberse a las condiciones de operación del proceso, ya que,

en la mezcla del polímero junto con la fase oleosa, únicamente se utiliza una mezcla mecánica y no un proceso de evaporación (Jin et al., 2018).

Tabla 6.

Porcentaje de aceite libre de la mezcla de aceites recubiertos

Metodología	Antioxidante	
	AT	BHT
M. Secado por aspersión (SA)	18.32	18.20
	18.42	18.39
Promedio	18.37	18.30
R. Adsorción (RV)	8.46	8.33
	8.37	8.21
Promedio	8.42	8.27
M. Secado por aspersión – R. Adsorción (SA-RV)	13.24	13.11
	13.12	13.05
Promedio	13.18	13.08

Nota. Los valores están expresados en porcentaje (%)

Tabla 7.*Eficiencia del proceso de M. Secado por aspersion, R. Adsorción y su combinación*

Metodología	Antioxidante	
	AT	BHT
M. Secado por aspersion (SA)	61.53	61.66
	61.96	62.05
Promedio	61.75	61.86
R. Adsorción (RV)	84.40	84.87
	84.38	84.94
Promedio	84.39	84.91
M. Secado por aspersion – R. Adsorción (SA-RV)	67.92	66.11
	68.03	67.85
Promedio	67.98	66.98

Nota. Los valores están expresados en porcentaje (%)

3.3. Estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil

En una investigación previa desarrollada por **Basantez (2022)** se demostró que la adición de microcápsulas de aceite de chía y sachá inchi tiene un efecto negativo en la estabilidad oxidativa y tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio. La proporción de aceite utilizada fue de 67% sachá inchi y 33% chía, y su tiempo de vida útil a 20 °C fue de 7.60 días. Debido a la baja estabilidad de esta mezcla, se tomó en cuenta la investigación realizada por **Bordón et al. (2019)** y **Martínez et al., (2017)** y se modificó la proporción a una relación de 50% sachá inchi y 50% chía. Esta modificación responde a la necesidad de disminuir la cantidad de ácidos grasos insaturados en la mezcla, y así, incrementar su estabilidad y tiempo de vida.

De igual manera, también se consideró la investigación realizada por **Guayta (2021)**, quien validó el uso de alfa-tocoferol a una concentración de 0.05% como el mejor tratamiento para aumentar la estabilidad oxidativa del aceite de sachá inchi. Simultáneamente, **Curti (2014)** y **Santos (2018)** validaron el uso de

butilhidroxitolueno a una concentración de 0.02% en aceite de chía y sachá inchi, respectivamente, como la manera más eficiente de incrementar la estabilidad de los aceites.

En un estudio reciente realizado por **Wangkulangkool et al. (2023)** se comprobó que el secado por aspersion del aceite de chía utilizando proteína de soya y goma arábica a una concentración de 20%, incrementa el tiempo de vida útil del aceite hasta los 6 meses. Además, **Iparraguirre (2019)** demostró que el uso de una mezcla polimérica de MD y GA como materiales de pared en el secado por aspersion, mantuvo el tiempo de vida útil de la muestra hasta los 2.5 meses. Por el contrario, el tiempo de vida útil obtenido para el proceso de SA con AT y BHT en la Figura 13 es demasiado bajo al compararlo con los estudios mencionados. La posible explicación para esta diferencia recae en el efecto de la temperatura en la preparación y el procesamiento de las muestras, esto debido a que se utilizó revoluciones de mezclado muy altas (11000 rpm), lo cual provocó el aumento de la temperatura hasta los 100°C (**Brennan, 2003**). Por esta razón, luego de cada proceso de homogenización en altas revoluciones, se dejó reposar la muestra hasta su enfriamiento y posterior uso. Naturalmente, este incremento en la temperatura de la muestra previo a su uso no se evidenció en el proceso de RV, ya que solo se utilizó una velocidad de 4500 rpm durante un corto periodo de tiempo. Por otro lado, la muestra que primero fue sometida a la técnica de SA y luego mezclada con el polímero N-ZORBIT 2144, mostró una mejoría respecto de la metodología inicial. Este incremento en la estabilidad oxidativa se debe a la capacidad de adsorción que tiene el almidón modificado sobre el aceite superficial restante del proceso de SA (**Jin et al., 2018**). Finalmente, se puede establecer un porcentaje de mejora para el tiempo de vida útil entre el tipo de proceso y tipo de antioxidante, tomando como base la técnica de SA. Entonces para el RV con AT el porcentaje de mejora es del 232.22%; RV con BHT es 209.20%; SA-RV con AT es 220.81%; SA-RV con BHT es 109.65%. Consecuentemente, ordenando de mejor a peor las metodologías de protección de la mezcla de aceites en polvo tenemos: RV/BHT; RV/AT; SA-RV/AT; SA-RV/BHT; SA/BHT; SA/AT.

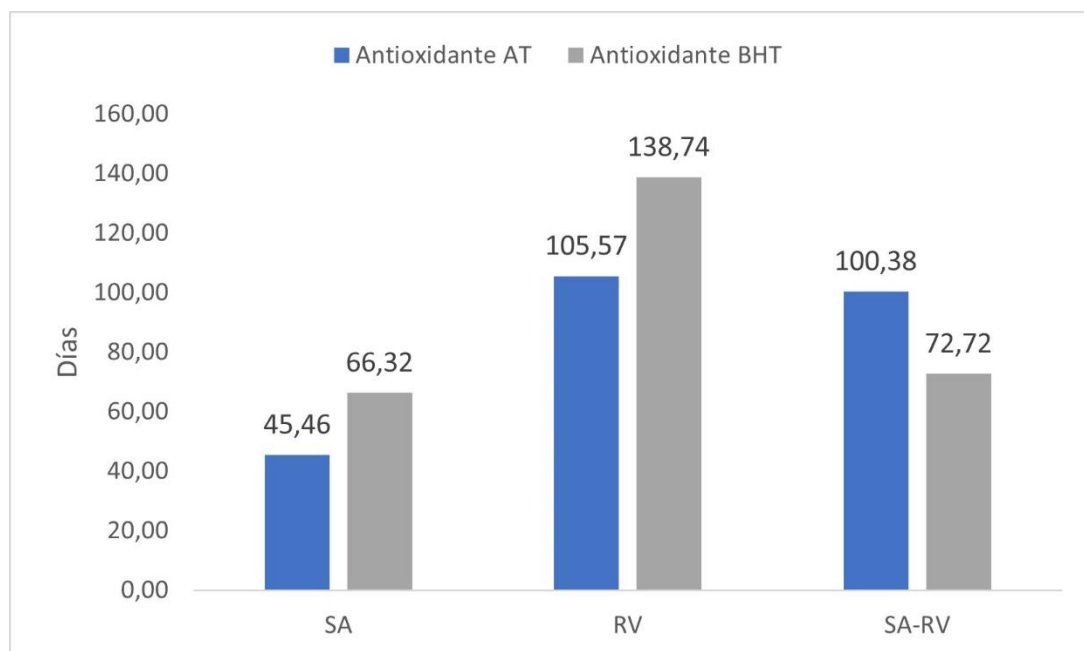


Figura 13. Tiempo de vida útil (días) de la mezcla de aceites de sachá inchi y chíá en polvo

3.4. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en la Figura 13 muestran una marcada diferencia en el tiempo de vida útil según el tipo de metodología y tipo de antioxidante. Para determinar el efecto de los factores individuales y su interacción sobre el tiempo de vida útil, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). A partir de los valores de probabilidad (Valor p) calculados en la Tabla 8, con un nivel de significancia del 0.05%, se concluye que:

- Para el factor A (Efecto del proceso) el valor $p < .05\%$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que: El tipo de proceso afecta al T. de vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chíá en polvo.
- Para el factor B (Efecto del antioxidante) el valor $p < .05\%$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que: El tipo de antioxidante afecta al T. de vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chíá en polvo.
- Para la interacción del factor AxB (Proceso x Antioxidante) el valor $p < .05\%$, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0), lo que indica que: La interacción del proceso x antioxidante afecta al T. de vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chíá en polvo.

Tabla 8.

Análisis de varianza del T. vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chíá en polvo

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	11098,5	2219,7	10197,33	0
Lineal	3	9029,6	3009,87	13827,35	0
Proceso	2	8797,7	4398,86	20208,39	0
Antioxidante	1	231,9	231,88	1065,26	0
Interacciones de 2 términos	2	2068,9	1034,46	4752,3	0
Proceso*Antioxidante	2	2068,9	1034,46	4752,3	0
Error	6	1,3	0,22		
Total	11	11099,8			

3.5. Caracterización por espectroscopía infrarroja

La caracterización de las muestras se realizó con el equipo Spectrum Two FTIR, el rango del espectro que se utilizó fue de 550 a 4000 cm^{-1} . Primero se comparó los componentes individuales de cada muestra (fase dispersa, continua y compuesto activo) junto con el producto del M. Secado por aspersión (SA), R. Adsorción (RV) y M. Secado por aspersión - R. Adsorción (SA-RV). Los gráficos obtenidos (ver Anexo 9-14) mostraron que para todas las combinaciones de procesos y tipo de antioxidante se alcanzó un nivel de protección adecuado, esto debido a que únicamente se observó una variación en el porcentaje de transmitancia (%T) entre las longitudes de onda de 2800 a 3000 cm^{-1} y 1735 a 1750 cm^{-1} , correspondientes a la absorción del grupo carboxilo y esteres, presentes en los aceites de sachá inchi y chíá debido a su alto grado de insaturación (**García-Moreno et al., 2017; da Silva et al., 2019**). Estos resultados concuerdan con los presentados por **Hadad & Goli (2019)**, quienes determinaron que la falta de interacción química entre el compuesto activo y el material de pared es beneficioso, esto debido a que el aceite recubierto se mantuvo aislado y protegido de factores externos.

Dada la efectividad de las técnicas de recubrimiento para los distintos antioxidantes, se comparó los espectros de cada combinación con el propósito de observar diferencias entre sí. Los resultados mostrados en la Figura 14, exponen que hay un cierto nivel de semejanza entre las combinaciones, pero no se logra apreciar cuál de estas tiene un mayor nivel de protección. Para **López et al. (2011)**, la manera de comparar los distintos espectros es analizando la región de absorción que va de 1735 a 1750 cm^{-1} , esto debido a que específicamente en la longitud de onda de 1743 cm^{-1} se aprecia el efecto del recubrimiento sobre las insaturaciones de los aceites de sachá inchi y chía.

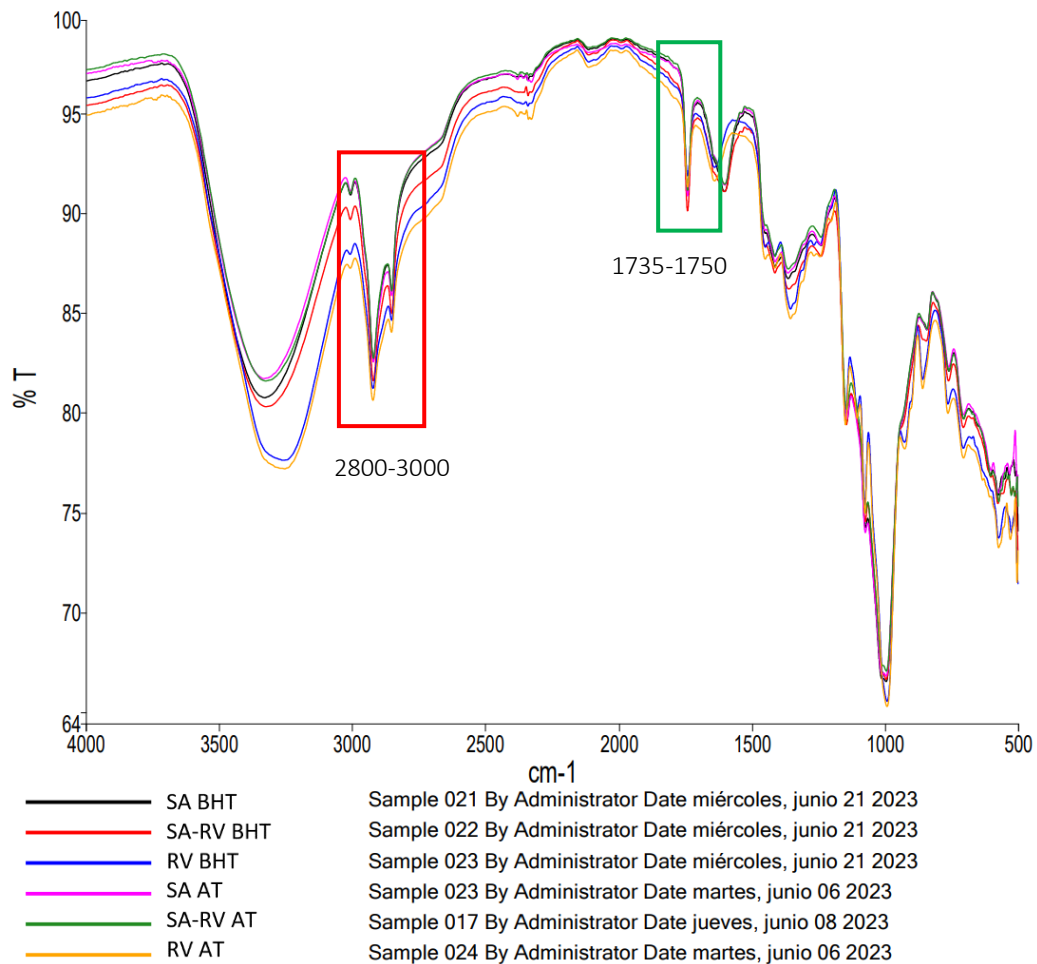


Figura 14. Espectro infrarrojo comparativo de las muestras de aceite de sachá inchi y chía en polvo

La Figura 15 es una ampliación de la Figura 14 en el número de onda de 1720 a 1768 cm^{-1} , en este gráfico se puede apreciar que todas las combinaciones se encuentran en la zona de absorción de los ésteres de los ácidos grasos (1743 cm^{-1}) y con un porcentaje de transmitancia (%T) similar. Esto indica que en todos los casos el nivel de protección es el mismo ya que únicamente la variación es decimal. Además, dados estos resultados, se observa que hay una correlación con el tiempo de vida útil, sin embargo, la única manera de determinar cuál de estas técnicas fue la mejor, es mediante la comparación previa del tiempo de vida útil de cada una (**da Silva et al., 2019; Hadad & Goli 2019**). Esto quiere decir que, aparentemente, todas las muestras ofrecen el mismo nivel de protección, pero la única manera de comprobarlo es analizando su tiempo de vida útil.

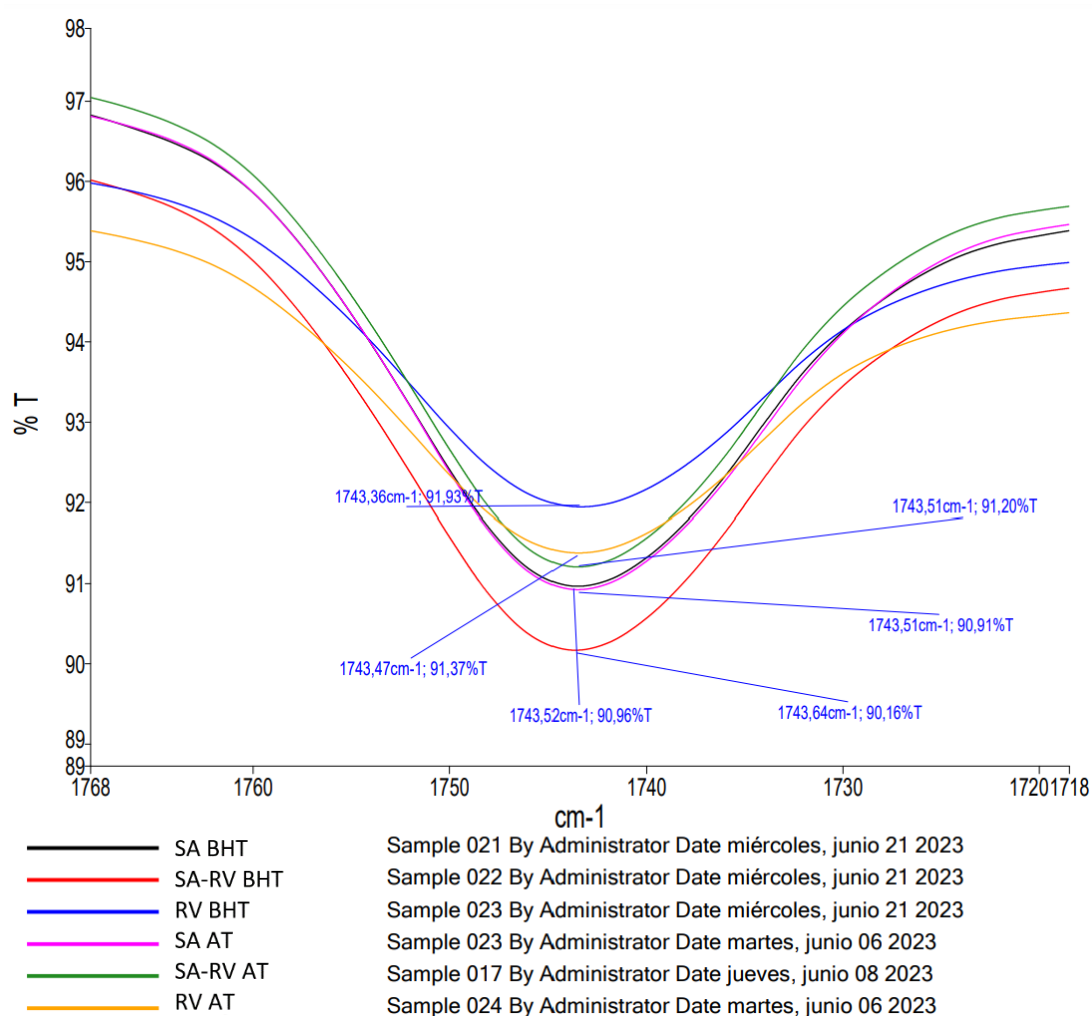


Figura 15. Espectro comparativo ampliado de las muestras de aceite de sachá inchi y chía en polvo

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El incremento de la estabilidad oxidativa de una mezcla de aceites de sachá inchi y chía en polvo es posible cuando se utilizan antioxidantes naturales y sintéticos. Además, el tipo de metodología utilizada y su interacción con el porcentaje de antioxidante añadido también son factores significativos que afectan directamente en la estabilidad, nivel de protección y tiempo de vida útil.
- El análisis de oxidación acelerada confirmó que es posible incrementar la estabilidad y tiempo de vida útil de la mezcla de aceites de sachá inchi y chía en polvo cuando se utiliza la microencapsulación mediante secado por aspersión (SA), revestimiento por adsorción (RV) y la combinación del secado por aspersión junto con el revestimiento (SA-RV). Sin embargo, se obtuvo una mezcla más estable y duradera cuando se utilizó el RV, seguido de SA-RV y por último el SA.
- El porcentaje de mejora (T. vida útil) según la técnica y tipo de antioxidante con respecto al secado por aspersión es: RV/AT:232.22%; RV/BHT:209.20%; SA-RV/AT:220.81%; SA-RV/BHT:109.65%. Sin embargo, estos resultados son expresados en función del secado por aspersión, por lo que, si se reordenan de acuerdo con la cantidad total de días o meses que dura la mezcla en polvo a 20 °C, tenemos: RV/BHT: 138.74 días=4.56 meses; RV/AT: 105.57 días=3.47 meses; SA-RV/AT :100.38 días=3.30 meses; SA-RV/BHT: 72.72 días=2.39 meses; SA/BHT: 66.32 días=2.18 meses; SA/AT: 45.46 días=1.49 meses.
- La reducción del porcentaje de transmitancia (%T) en la longitud de onda de 2800 a 3000 cm^{-1} y 1735 a 1750 cm^{-1} demuestra que los polímeros utilizados para proteger el aceite de sachá inchi y chía fueron efectivos.

4.2. Recomendaciones

- Incluir en el diseño experimental un factor que evalúe la relación del material de pared y la cantidad de aceite.
- Utilizar una mezcla polimérica de proteína de suero-goma arábica para mejorar el proceso de secado por aspersion.
- Analizar el aporte nutricional de las mezclas en polvo y su porcentaje de adición óptimo en un suplemento.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Chávez, L. M., Valdivia-López, M. de los A., Aburto-Juárez, M. de L., & Tecante, A. (2008). Chemical Characterization of the Lipid Fraction of Mexican Chia Seed (*Salvia hispanica* L.). In *International Journal of Food Properties* (Vol. 11, Issue 3, pp. 687–697). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/10942910701622656>
- AOAC. (2003). Official Method 2003.06. Crude Fat, Hexanes Extraction, in Feed, Cereal Grain, and Forage.
- AOCS. (2017). Procedimiento estándar Cd 12c-16. Accelerated Oxidation Test for the Determination of the Oxidation Stability of Foods, Oils and Fats Using the Oxitest Oxidation Test Reactor.
- Bae, E. K., & Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. In *Journal of Microencapsulation* (Vol. 25, Issue 8, pp. 549–560). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/02652040802075682>
- Baldivia, A. S.-, Ibarra, G. R.-, Torre, R. R. R. de la, López, R. R., & López, A. M. (2018). The chia (*Salvia hispanica*): past, present and future of an ancient Mexican crop. In *Australian Journal of Crop Science* (Vol. 12, Issue 10, pp. 1626–1632). Southern Cross Publishing. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.p1202>
- Basantez, A. (2022). *Efecto de la adición de microencapsulado de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) y Chía (*Salvia hispánica*) en el tiempo de vida útil de un suplemento alimenticio* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Ambato.
- Berdahl, D. R., Nahas, R. I., & Barren, J. P. (2010). Synthetic and natural antioxidant additives in food stabilization: current applications and future research. In *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications* (pp. 272–320). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857090447.2.272>
- Bhagavan, N. V. (2002). Lipids I: Fatty Acids and Eicosanoids. In *Medical Biochemistry* (pp. 365–399). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-012095440-7/50020-2>

- Bodoira, R. M., Penci, M. C., Ribotta, P. D., & Martínez, M. L. (2017). Chia (*Salvia hispanica* L.) oil stability: Study of the effect of natural antioxidants. In *LWT* (Vol. 75, pp. 107–113). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.031>
- Bordón, M. G., Alasino, N. P. X., Villanueva-Lazo, Á., Carrera-Sánchez, C., Pedroche-Jiménez, J., Millán-Linares, M. del C., Ribotta, P. D., & Martínez, M. L. (2021). Scale-up and optimization of the spray drying conditions for the development of functional microparticles based on chia oil. In *Food and Bioproducts Processing* (Vol. 130, pp. 48–67). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.08.006>
- Bordón, M. G., Meriles, S. P., Ribotta, P. D., & Martinez, M. L. (2019). Enhancement of Composition and Oxidative Stability of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Oil by Blending with Specialty Oils. In *Journal of Food Science* (Vol. 84, Issue 5, pp. 1035–1044). Wiley. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14580>
- Brennan, J. G. (2003). DRYING | Spray Drying. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 1929–1938). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00371-0>
- Cai, Z. Q. (2011). Shade delayed flowering and decreased photosynthesis, growth and yield of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) plants. In *Industrial Crops and Products* (Vol. 34, Issue 1, pp. 1235–1237). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.021>
- Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. In *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* (Vol. 22, Issue 1, pp. 1–21). Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899
- Carvalho, G. R., Lago, A. M. T., Schiassi, M. C. E. V., Silva, P. de C. e, Borges, S. V., Fernandes, R. V. de B., & Botrel, D. A. (2021). Ultrasound-assisted emulsions with biopolymers for spray-drying of lemongrass essential oil. In *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Vol. 56). FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2021.v56.02498>

- Chen, B., & Xu, M. (2019). Natural Antioxidants in Foods. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 180–188). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.21599-0>
- Copado, C. N., Julio, L. M., Diehl, B. W. K., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2021). Multilayer microencapsulation of chia seed oil by spray-drying using electrostatic deposition technology. In *LWT* (Vol. 152, p. 112206). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112206>
- Curti, M. (2014). *Estudio de la estabilidad del aceite de Chía (Salvia hispanica L.) microencapsulado* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional De Córdoba]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional De Córdoba.
- da Silva Soares, B., Siqueira, R. P., de Carvalho, M. G., Vicente, J., & Garcia-Rojas, E. E. (2019). Microencapsulation of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) using complex coacervation: Formation and structural characterization. In *Food Chemistry* (Vol. 298, p. 125045). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125045>
- Dergal, S. B. (2006). *Química de los alimentos* (4th ed.). Pearson Educación.
- Din, Z., Alam, M., Ullah, H., Shi, D., Xu, B., Li, H., & Xiao, C. (2021). Nutritional, phytochemical and therapeutic potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.). A mini-review. In *Food Hydrocolloids for Health* (Vol. 1, p. 100010). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100010>
- Domian, E., Cenkier, J., Górska, A., & Brynda-Kopytowska, A. (2018). Effect of oil content and drying method on bulk properties and stability of powdered emulsions with OSA starch and linseed oil. In *LWT* (Vol. 88, pp. 95–102). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.09.043>
- Dyvelkov, K. N., Overgaard, J. S., & Pedersen, S. J. (2023). New advances in spray-drying processes. In *Microencapsulation in the Food Industry* (pp. 73–81). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821683-5.00025-x>
- Fanali, C., Dugo, L., Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S., Dachà, M., Dugo, P., & Mondello, L. (2011). Chemical Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil. In *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (Vol. 59, Issue 24, pp. 13043–13049). American Chemical Society (ACS). <https://doi.org/10.1021/jf203184y>

- Fioramonti, S. A., Stepanic, E. M., Tibaldo, A. M., Pavón, Y. L., & Santiago, L. G. (2019). Spray dried flaxseed oil powdered microcapsules obtained using milk whey proteins-alginate double layer emulsions. In *Food Research International* (Vol. 119, pp. 931–940). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.079>
- García-Moreno, P. J., Morales-Medina, R., Muñío, M. M., Guadix, A., & Guadix, E. M. (2015). Optimization of α -tocopherol and ascorbyl palmitate addition for the stabilization of sardine oil. In *Grasas y Aceites* (Vol. 66, Issue 2, p. e069). Editorial CSIC. <https://doi.org/10.3989/gya.0694141>
- García-Moreno, P. J., Özdemir, N., Stephansen, K., Mateiu, R. V., Echegoyen, Y., Lagaron, J. M., Chronakis, I. S., & Jacobsen, C. (2017). Development of carbohydrate-based nano-microstructures loaded with fish oil by using electrohydrodynamic processing. In *Food Hydrocolloids* (Vol. 69, pp. 273–285). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.013>
- Goyal, A., Tanwar, B., Kumar Sihag, M., & Sharma, V. (2022). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): An emerging source of nutrients, omega-3 fatty acid and phytochemicals. In *Food Chemistry* (Vol. 373, p. 131459). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131459>
- Granelli, K., Fäldt, P., Appelqvist, L.-Å., & Bergenståhl, B. (1996). Influence of Surface Structure on Cholesterol Oxidation in Model Food Powders. In *Journal of the Science of Food and Agriculture* (Vol. 71, Issue 1, pp. 75–82). Wiley. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0010\(199605\)71:1<75::aid-jsfa551>3.0.co;2-j](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0010(199605)71:1<75::aid-jsfa551>3.0.co;2-j)
- Guayta, I. (2021). *Evaluación de la estabilidad oxidativa del aceite de chía (salvia hispanica l.) obtenido por prensado a diferentes concentraciones de α -tocoferol como antioxidante* [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Ambato.
- Hadad, S., & Goli, S. A. H. (2019). Improving Oxidative Stability of Flaxseed Oil by Encapsulation in Electrospun Flaxseed Mucilage Nanofiber. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 12, Issue 5, pp. 829–838). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02259-1>

- Hill, S., Lamberson, C. R., Xu, L., To, R., Tsui, H. S., Shmanai, V. V., Bekish, A. V., Awad, A. M., Marbois, B. N., Cantor, C. R., Porter, N. A., Clarke, C. F., & Shchepinov, M. S. (2012). Small amounts of isotope-reinforced polyunsaturated fatty acids suppress lipid autoxidation. In *Free Radical Biology and Medicine* (Vol. 53, Issue 4, pp. 893–906). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.06.004>
- Iparraquirre, K. (2019). *Contribución al estudio de la vida útil de los aceites de Sacha Inchi (Plukenetia huayllabambana y P. volubilis) microencapsulados y su importancia en la industria alimentaria* [Tesis de Pregrado, Universidad de Lima]. Repositorio Institucional – Universidad de Lima.
- Jacobs, I. C. (2014). Atomization and Spray-Drying Processes. In *Microencapsulation in the Food Industry* (pp. 47–56). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404568-2.00005-4>
- Jiménez-Martín, E., Antequera Rojas, T., Gharsallaoui, A., Ruiz Carrascal, J., & Pérez-Palacios, T. (2016). Fatty acid composition in double and multilayered microcapsules of ω -3 as affected by storage conditions and type of emulsions. In *Food Chemistry* (Vol. 194, pp. 476–486). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.046>
- Jin, Y., Li, J. Z., & Malaki Nik, A. (2018). Starch-Based Microencapsulation. In *Starch in Food* (pp. 661–690). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100868-3.00017-2>
- Keogh, M. K., O’Kennedy, B. T., Kelly, J., Auty, M. A., Kelly, P. M., Fureby, A., & Haahr, A.-M. (2001). Stability to Oxidation of Spray-Dried Fish Oil Powder Microencapsulated Using Milk Ingredients. In *Journal of Food Science* (Vol. 66, Issue 2, pp. 217–224). Wiley. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb11320.x>
- Kouamé, K. J. E.-P., Bora, A. F. M., Li, X., Sun, Y., & Liu, L. (2021). Novel trends and opportunities for microencapsulation of flaxseed oil in foods: A review. In *Journal of Functional Foods* (Vol. 87, p. 104812). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104812>
- Liu, Y., Shen, N., Xin, H., Yu, L., Xu, Q., & Cui, Y. (2023). Unsaturated fatty acids in natural edible resources, a systematic review of classification, resources, biosynthesis,

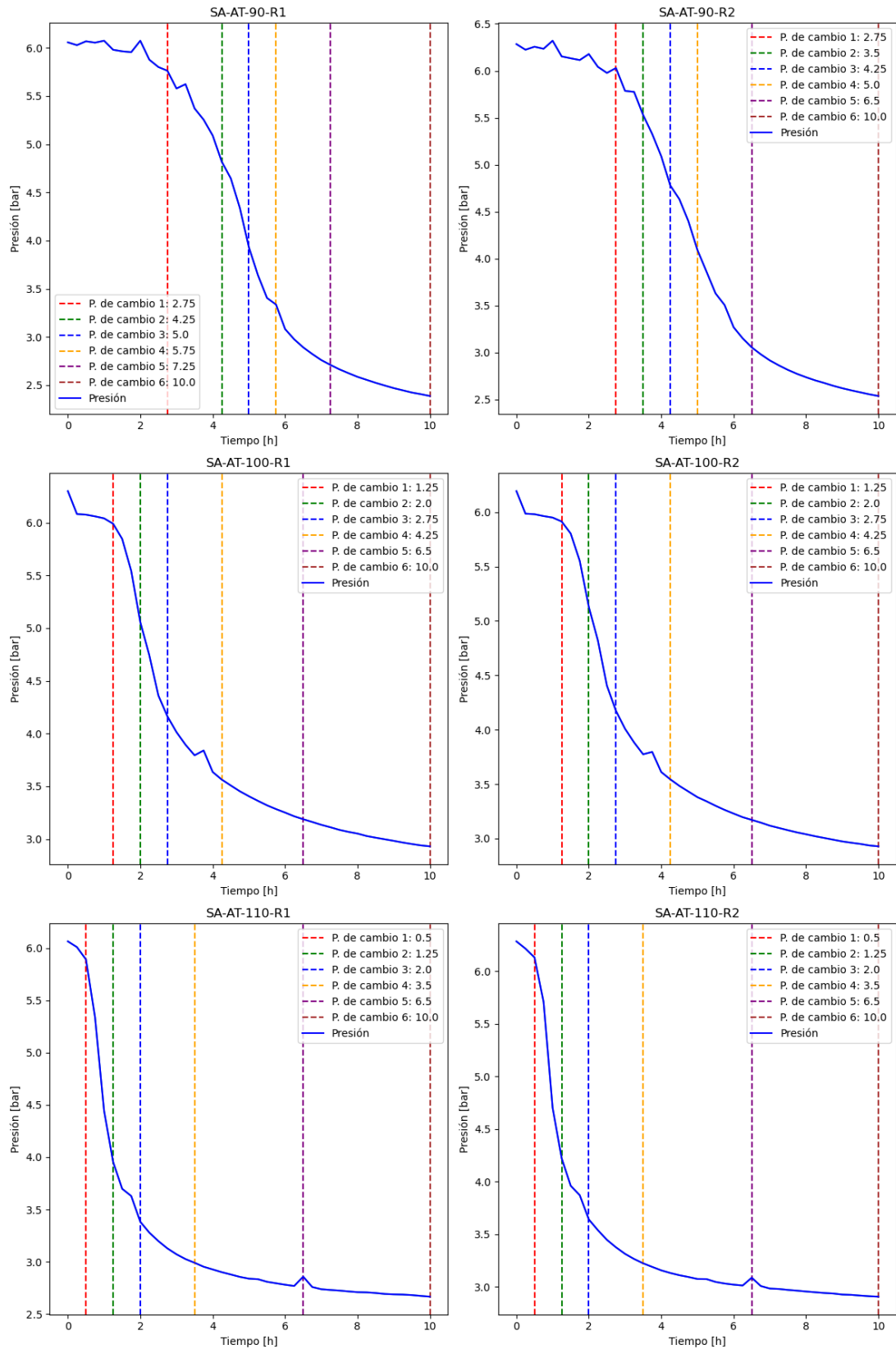
- biological activities and application. In *Food Bioscience* (Vol. 53, p. 102790). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102790>
- López, O. D., Nuñez, Y., y Mayo, O. (2011). *Aumento de la biodisponibilidad de lípidos mediante microencapsulación*. Editorial Académica Española.
- Marineli, R. da S., Moraes, É. A., Lenquiste, S. A., Godoy, A. T., Eberlin, M. N., & Maróstica Jr, M. R. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). In *LWT - Food Science and Technology* (Vol. 59, Issue 2, pp. 1304–1310). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.014>
- Martínez, M. L., Curti, M. I., Rocchia, P., Llabot, J. M., Penci, M. C., Bodoira, R. M., & Ribotta, P. D. (2015). Oxidative stability of walnut (*Juglans regia* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) oils microencapsulated by spray drying. In *Powder Technology* (Vol. 270, pp. 271–277). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.10.031>
- Mhd Rodzi, N. A. R., & Lee, L. K. (2022). Sacha Inchi (*Plukenetia Volubilis* L.): recent insight on phytochemistry, pharmacology, organoleptic, safety and toxicity perspectives. In *Heliyon* (Vol. 8, Issue 9, p. e10572). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10572>
- Mohd Roby, B. H., Muhialdin, B. J., Abadl, M. M. T., Mat Nor, N. A., Marzlan, A. A., Lim, S. A. H., Mustapha, N. A., & Meor Hussin, A. S. (2020). Physical properties, storage stability, and consumer acceptability for sourdough bread produced using encapsulated kombucha sourdough starter culture. In *Journal of Food Science* (Vol. 85, Issue 8, pp. 2286–2295). Wiley. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15302>
- Mohsin, A. Z., Mat Nor, N. A., Muhialdin, B. J., Mohd Roby, B. H., Abadl, M. M., Marzlan, A. A., Hussain, N., & Meor Hussin, A. S. (2022). The effects of encapsulation process involving arabic gum on the metabolites, antioxidant and antibacterial activity of kombucha (fermented sugared tea). In *Food Hydrocolloids for Health* (Vol. 2, p. 100072). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100072>
- Oteri, M., Bartolomeo, G., Rigano, F., Aspromonte, J., Trovato, E., Purcaro, G., Dugo, P., Mondello, L., & Beccaria, M. (2022). Comprehensive Chemical Characterization of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Oil with a Focus on Minor Lipid Components. In *Foods* (Vol. 12, Issue 1, p. 23). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods12010023>

- Pastuña, A. (2016). *Microencapsulación de aceite de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) mediante secado por aspersión* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Ambato.
- Sabikhi, L., & Sathish Kumar, M. H. (2012). Fatty Acid Profile of Unconventional Oilseeds. In *Advances in Food and Nutrition Research* Volume 67 (pp. 141–184). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394598-3.00004-6>
- Santos, S. (2018). *Estudio de la estabilidad del aceite de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) a diferentes condiciones de inhibición oxidativa.* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Ambato.
- Satyarthi, J. K., Srinivas, D., & Ratnasamy, P. (2011). Hydrolysis of vegetable oils and fats to fatty acids over solid acid catalyts. In *Applied Catalysis A: General* (Vol. 391, Issues 1–2, pp. 427–435). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.03.047>
- Shahidi, F. (2015). Antioxidants. In *Handbook of Antioxidants for Food Preservation* (pp. 1–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-1-78242-089-7.00001-4>
- Solís, M. (2018). *Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (linum usitatissimum) para la adición en una matriz alimenticia* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional – Universidad Técnica de Ambato.
- Souza, A. H. P. de, Gohara, A. K., Rodrigues, Â. C., Souza, N. E. de, Visentainer, J. V., & Matsushita, M. (2013). Sacha inchi as potential source of essential fatty acids and tocopherols: multivariate study of nut and shell. In *Acta Scientiarum. Technology* (Vol. 35, Issue 4). Universidade Estadual de Maringá. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i4.19193>
- ten Klooster, S. et al. (2022). Lipid Oxidation in Food Emulsions: Analytical Challenges and Recent Developments. In: Bravo-Diaz, C. (eds) *Lipid Oxidation in Food and Biological Systems*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87222-9_1
- Vasisht, N. (2014). Selection of Materials for Microencapsulation. In *Microencapsulation in the Food Industry* (pp. 173–180). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-404568-2.00016-9>

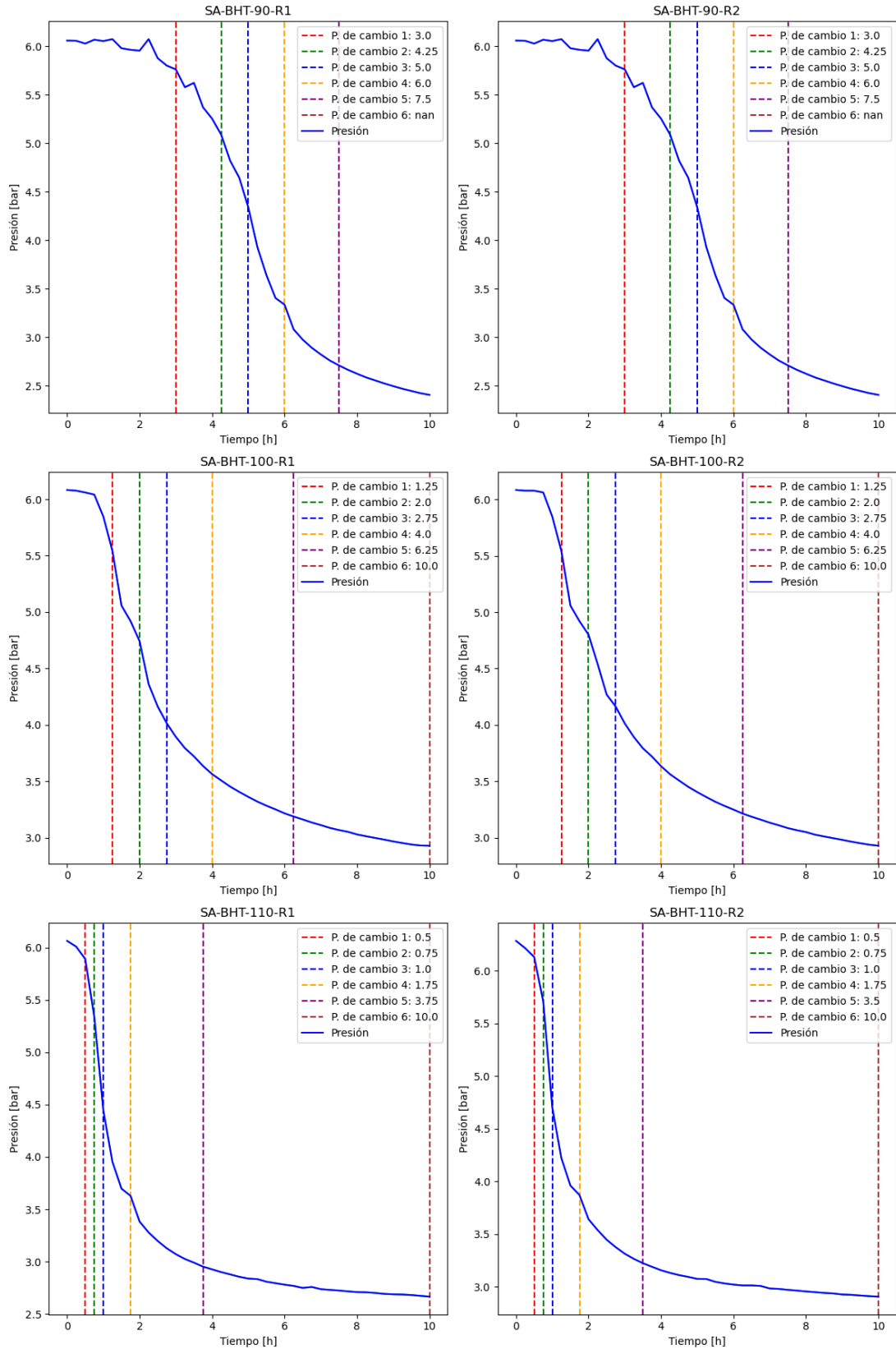
- Vega, C., & Roos, Y. H. (2006). Invited Review: Spray-Dried Dairy and Dairy-Like Emulsions—Compositional Considerations. In *Journal of Dairy Science* (Vol. 89, Issue 2, pp. 383–401). American Dairy Science Association. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72103-8](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72103-8)
- Villanueva, E., Rodríguez, G., Aguirre, E., & Castro, V. (2017). Influence of antioxidants on oxidative stability of the oil Chia (*Salvia hispanica* L.) by rancimat. In *Scientia Agropecuaria* (Vol. 8, pp. 19–27). *Universidad Nacional de Trujillo*. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.01.02>
- Wang, S., Zhu, F., & Kakuda, Y. (2018). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses. In *Food Chemistry* (Vol. 265, pp. 316–328). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.05.055>
- Wangkulangkool, M., Ketthaisong, D., Tangwongchai, R., Boonmars, T., & Lomthaisong, K. (2023). Microencapsulation of Chia Oil Using Whey Protein and Gum Arabic for Oxidation Prevention: A Comparative Study of Spray-Drying and Freeze-Drying Methods. In *Processes* (Vol. 11, Issue 5, p. 1462). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr11051462>
- Yehye, W. A., Rahman, N. A., Ariffin, A., Abd Hamid, S. B., Alhadi, A. A., Kadir, F. A., & Yaeghoobi, M. (2015). Understanding the chemistry behind the antioxidant activities of butylated hydroxytoluene (BHT): A review. In *European Journal of Medicinal Chemistry* (Vol. 101, pp. 295–312). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2015.06.026>
- Zettel, V., & Hitzmann, B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. In *Trends in Food Science & Technology* (Vol. 80, pp. 43–50). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.011>

ANEXOS

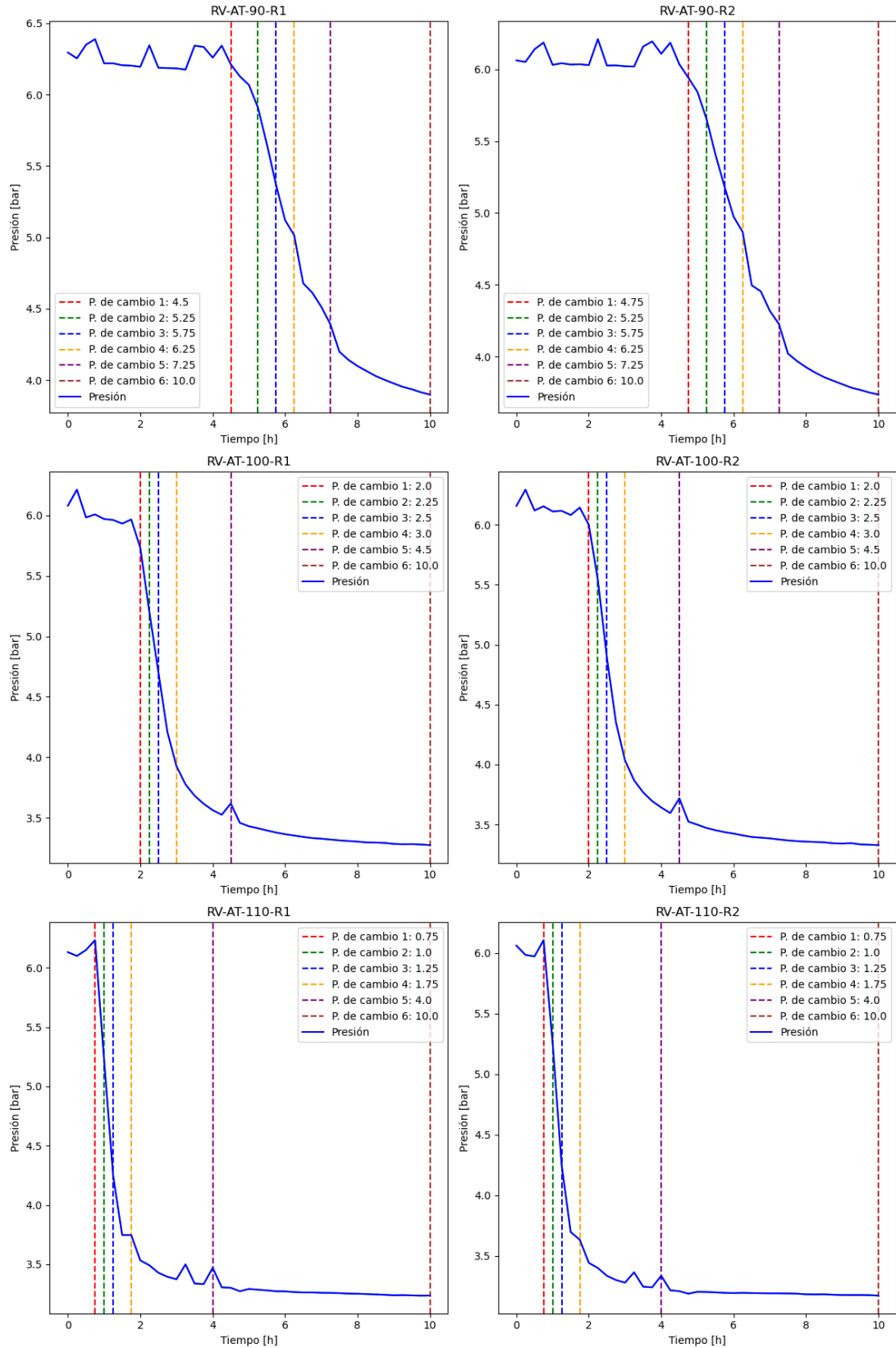
Anexo 1. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA AT



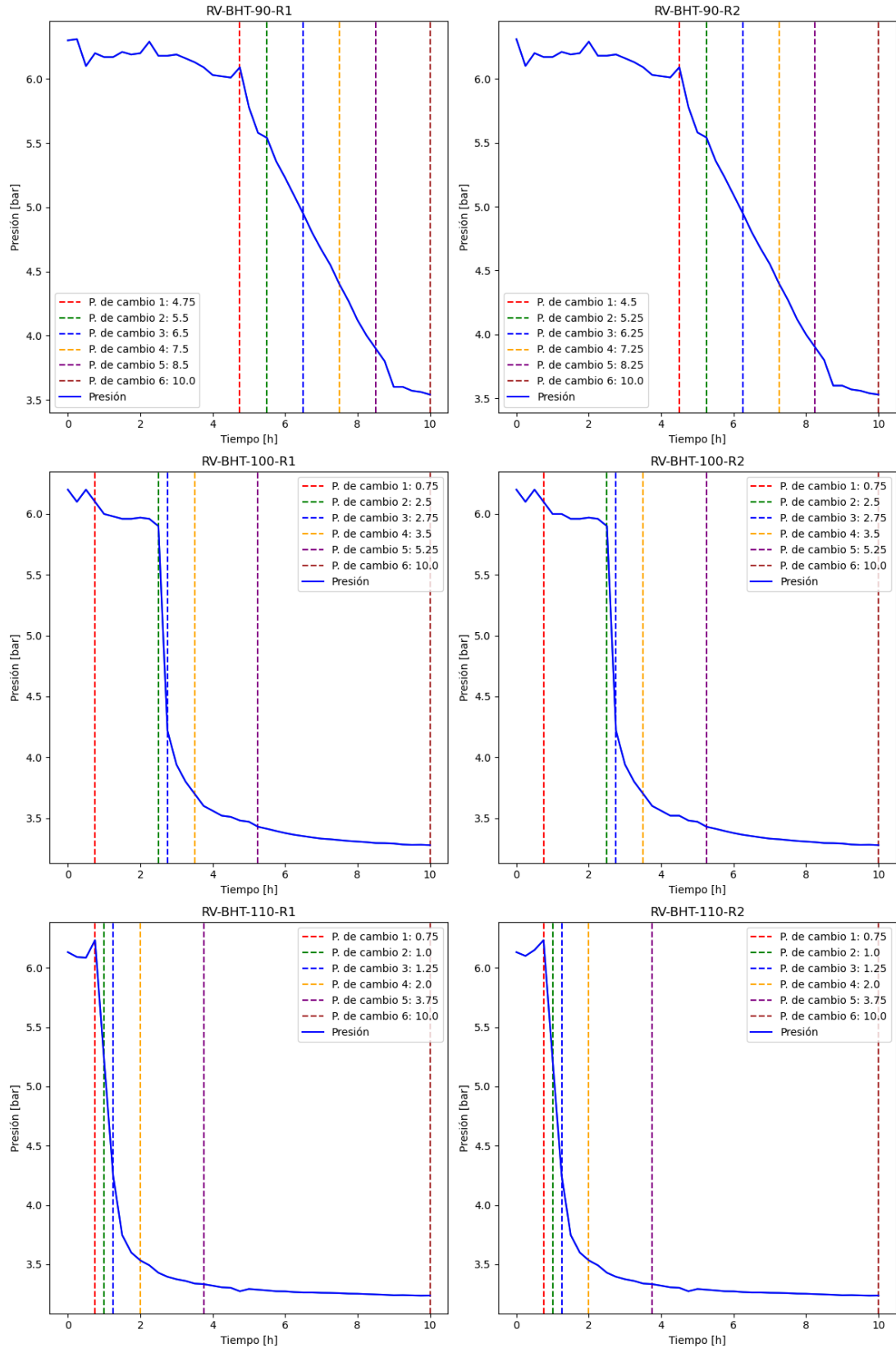
Anexo 2. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA BHT



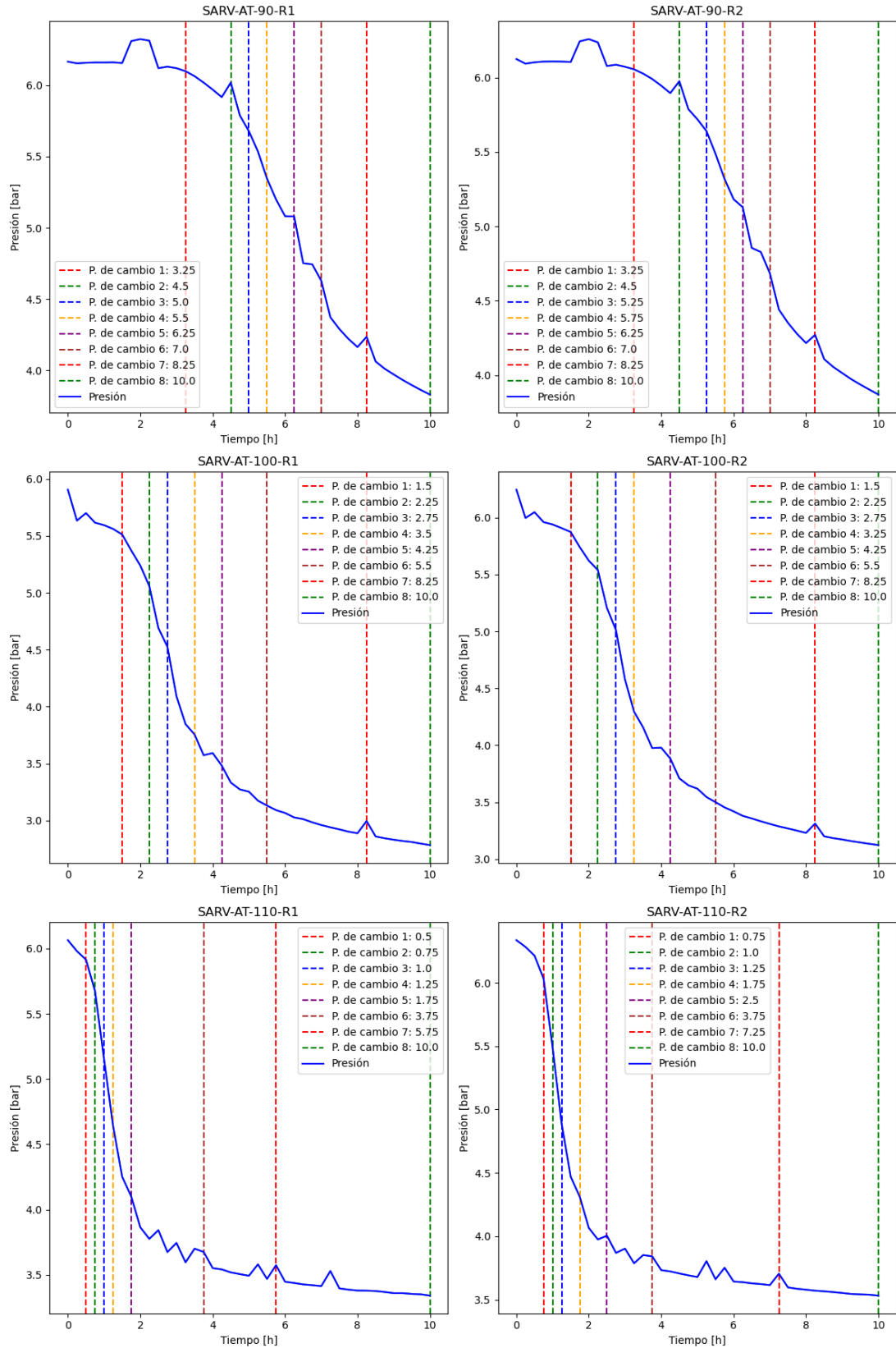
Anexo 3. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para RV AT



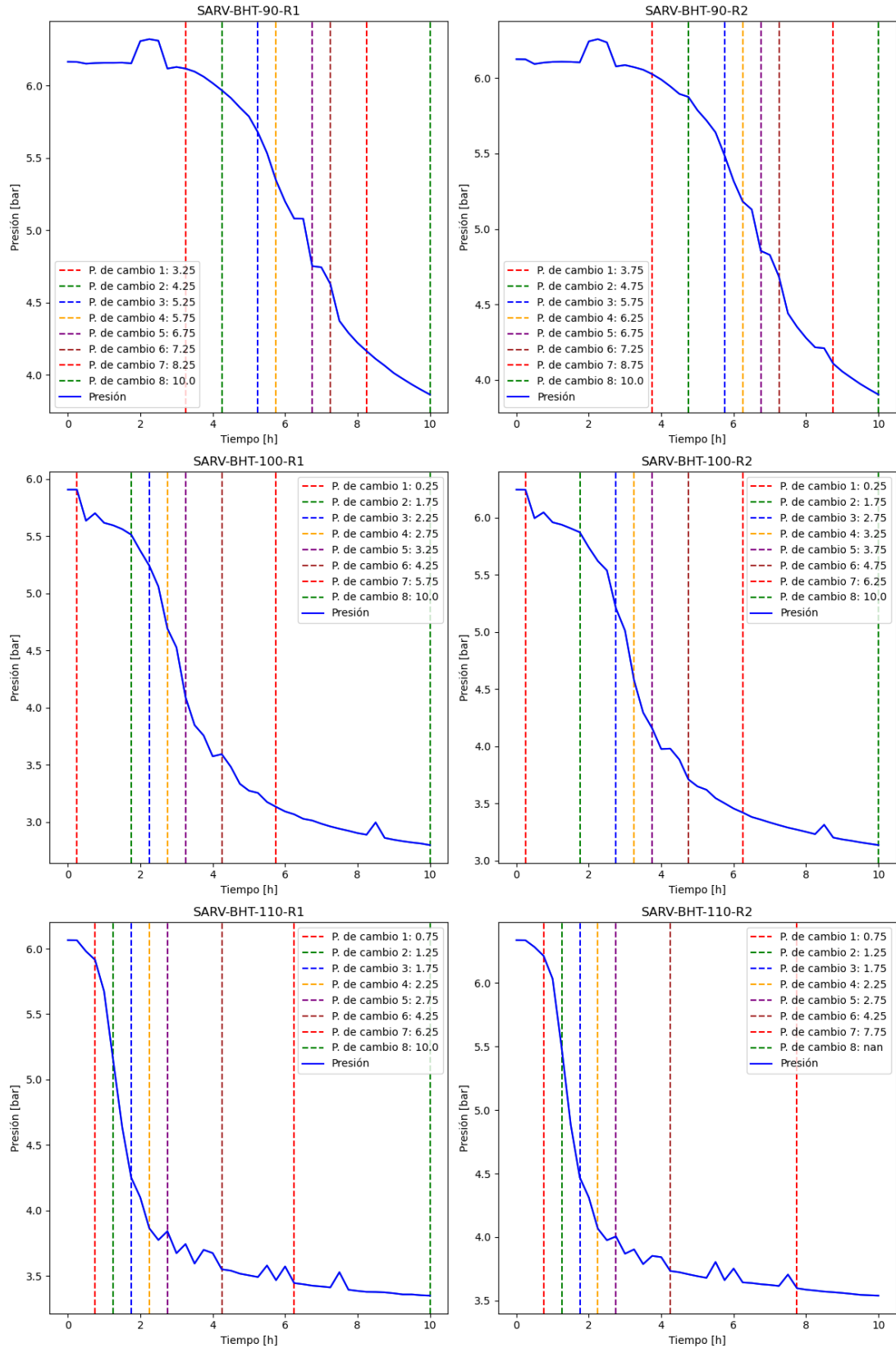
Anexo 4. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para RV BHT



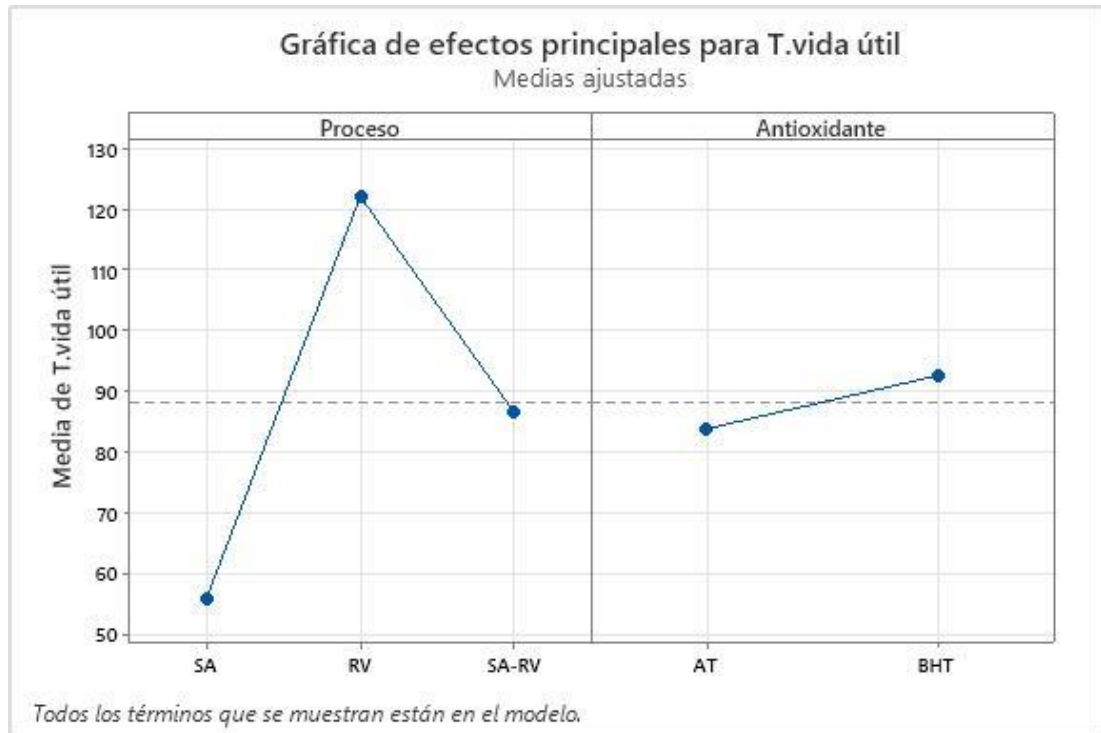
Anexo 5. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA-RV AT



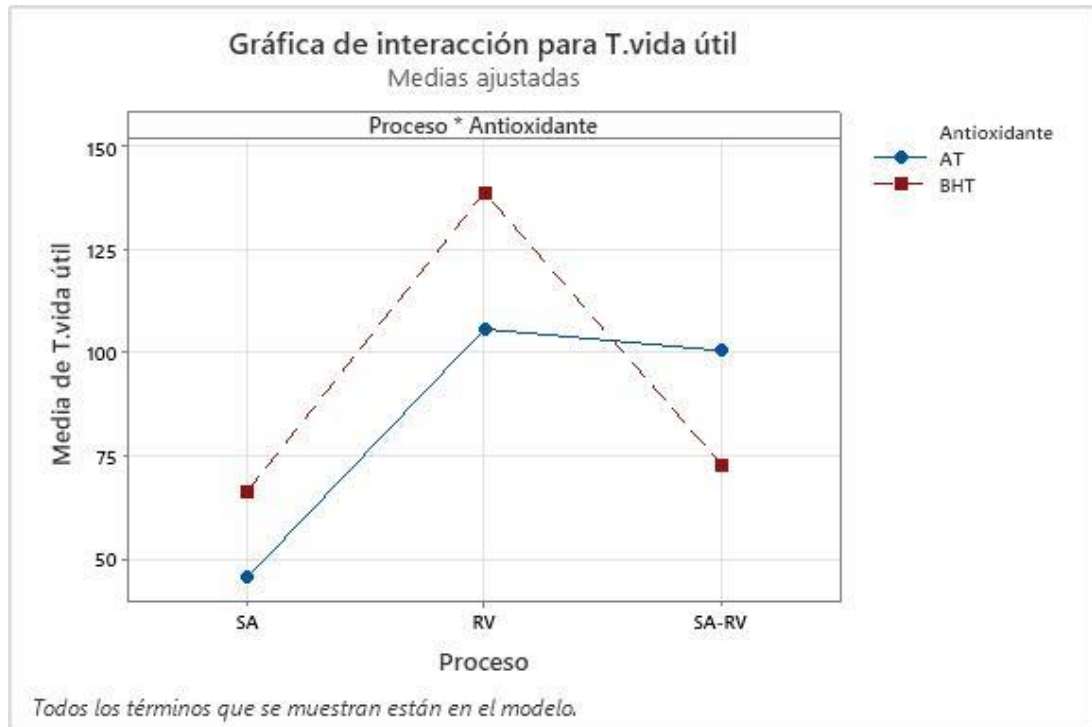
Anexo 6. Análisis de estabilidad oxidativa acelerada para SA-RV BHT



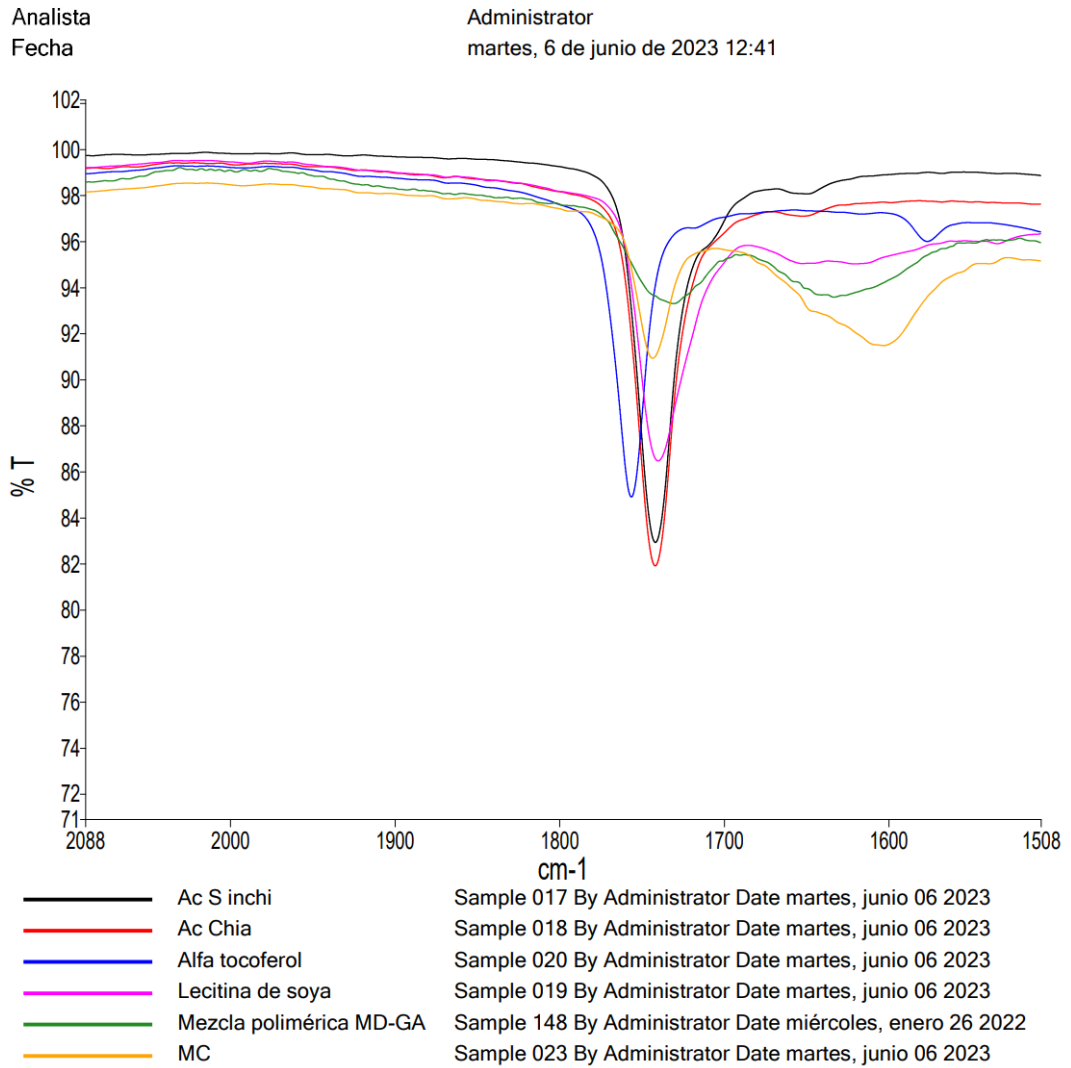
Anexo 7. Gráfica de efectos principales para el tiempo de vida útil



Anexo 8. Gráfica de interacción para el tiempo de vida útil



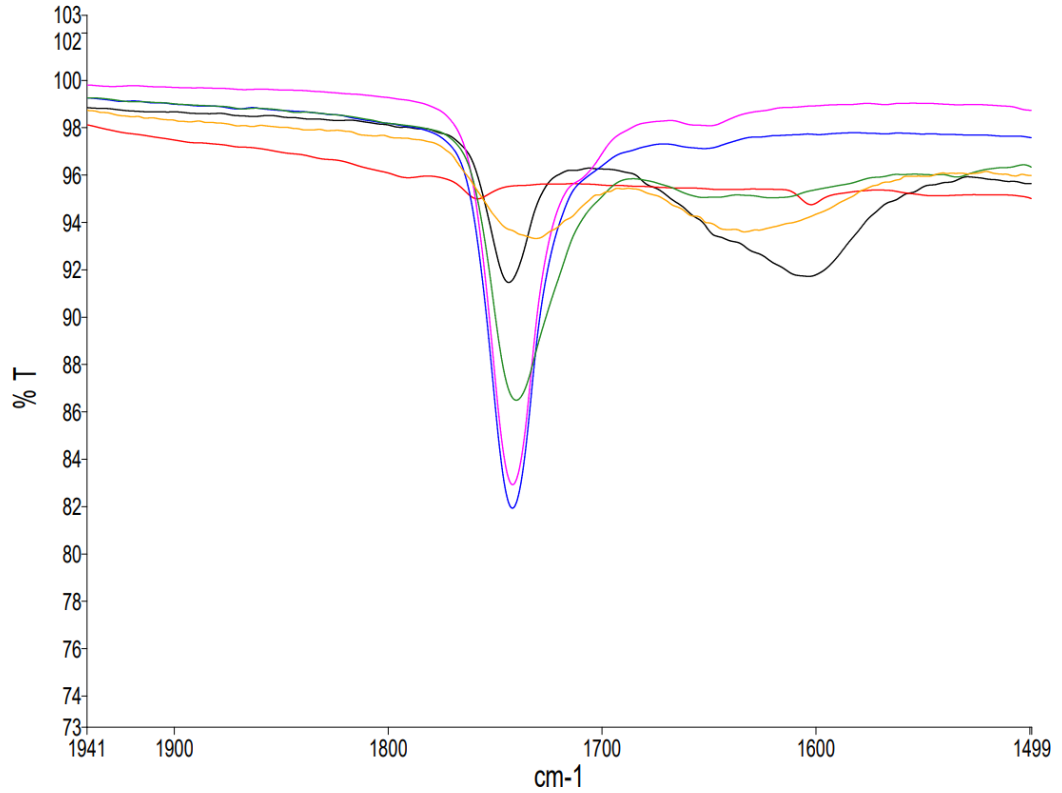
Anexo 9. Espectro infrarrojo para el SA AT



Anexo 10. Espectro infrarrojo para el SA BHT

Analista
Fecha

Administrator
viernes, 16 de junio de 2023 16:55

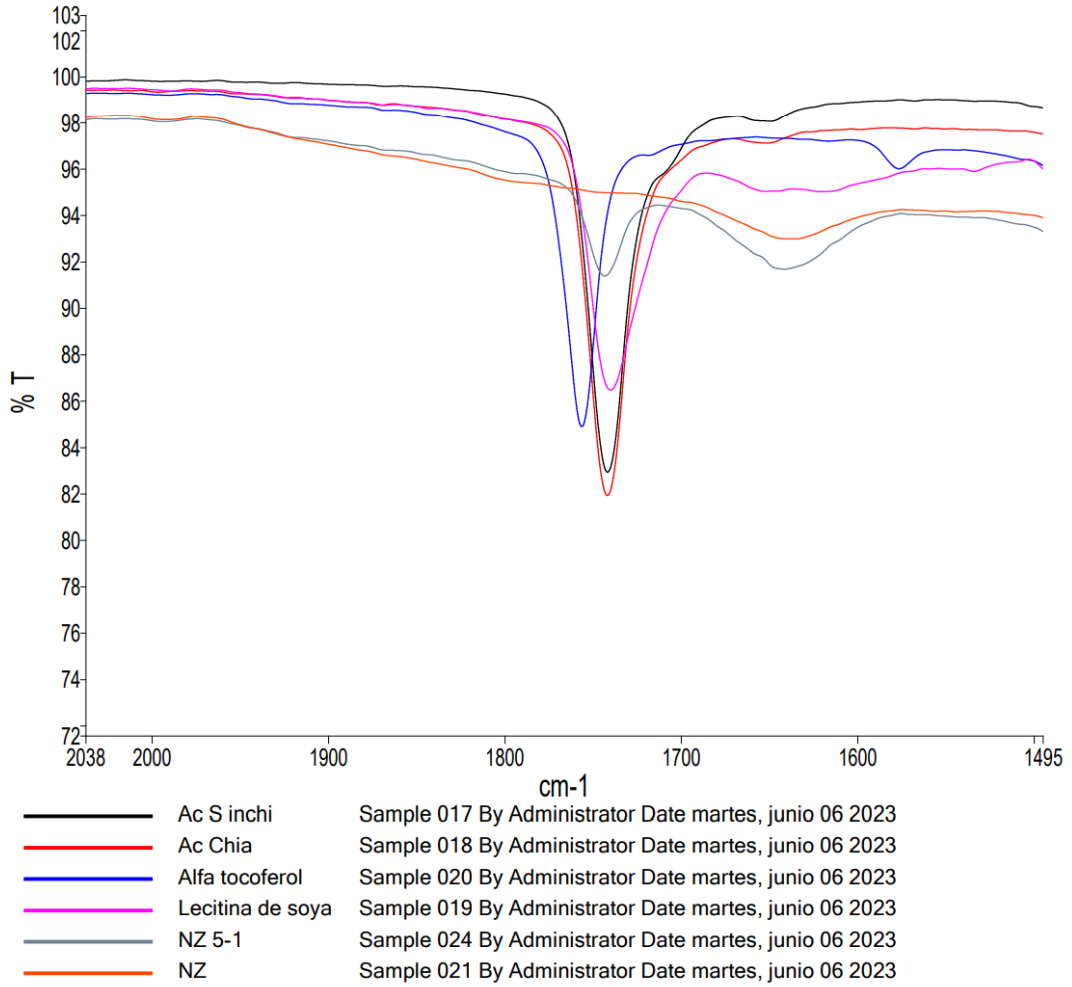


MC BHT	Sample 020 By Administrator Date viernes, junio 16 2023
BHT	Sample 023 By Administrator Date viernes, junio 16 2023
AcChia	Sample 018 By Administrator Date martes, junio 06 2023
AcS inchi	Sample 017 By Administrator Date martes, junio 06 2023
Lecitina soya	Sample 019 By Administrator Date martes, junio 06 2023
Mezcla polimérica MD-GA	Sample 148 By Administrator Date miércoles, enero 26 2022

Anexo 11. Espectro infrarrojo para el RV AT

Analista
Fecha

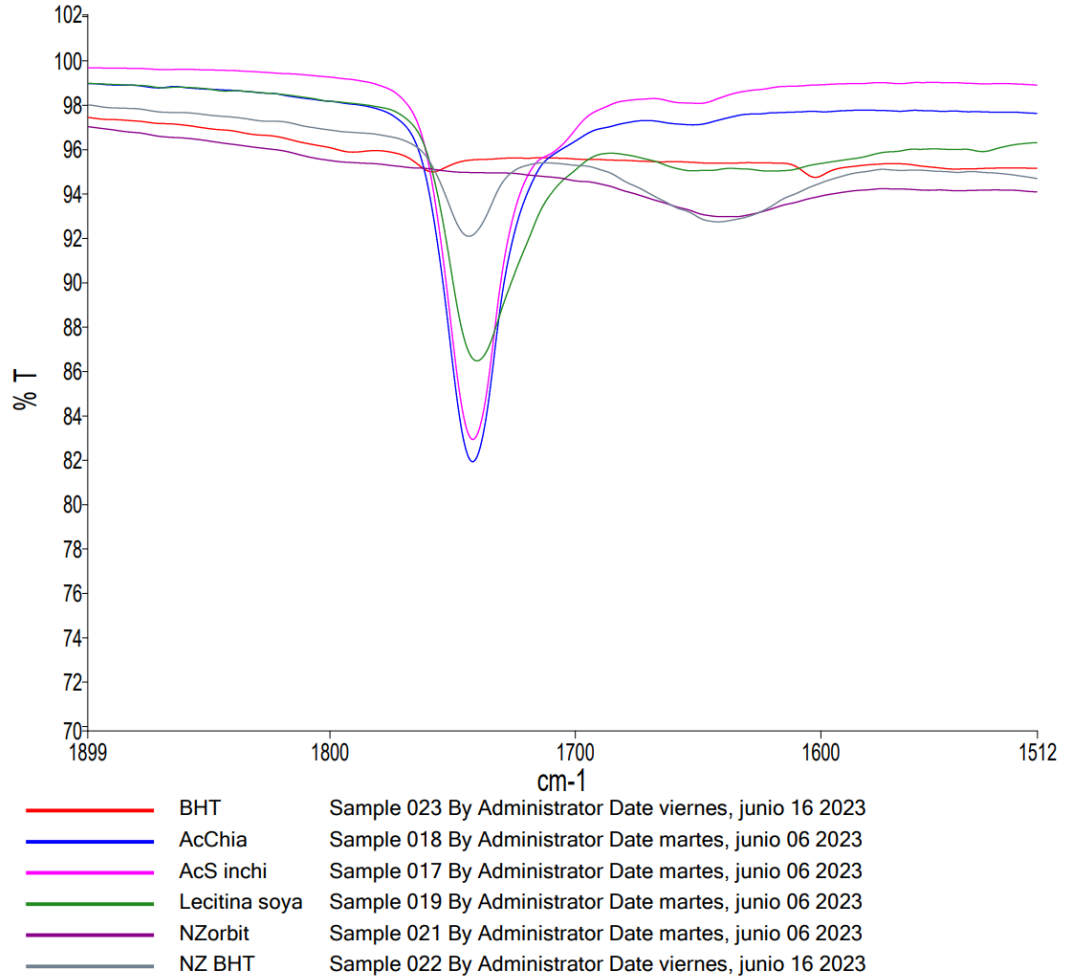
Administrator
martes, 6 de junio de 2023 12:47



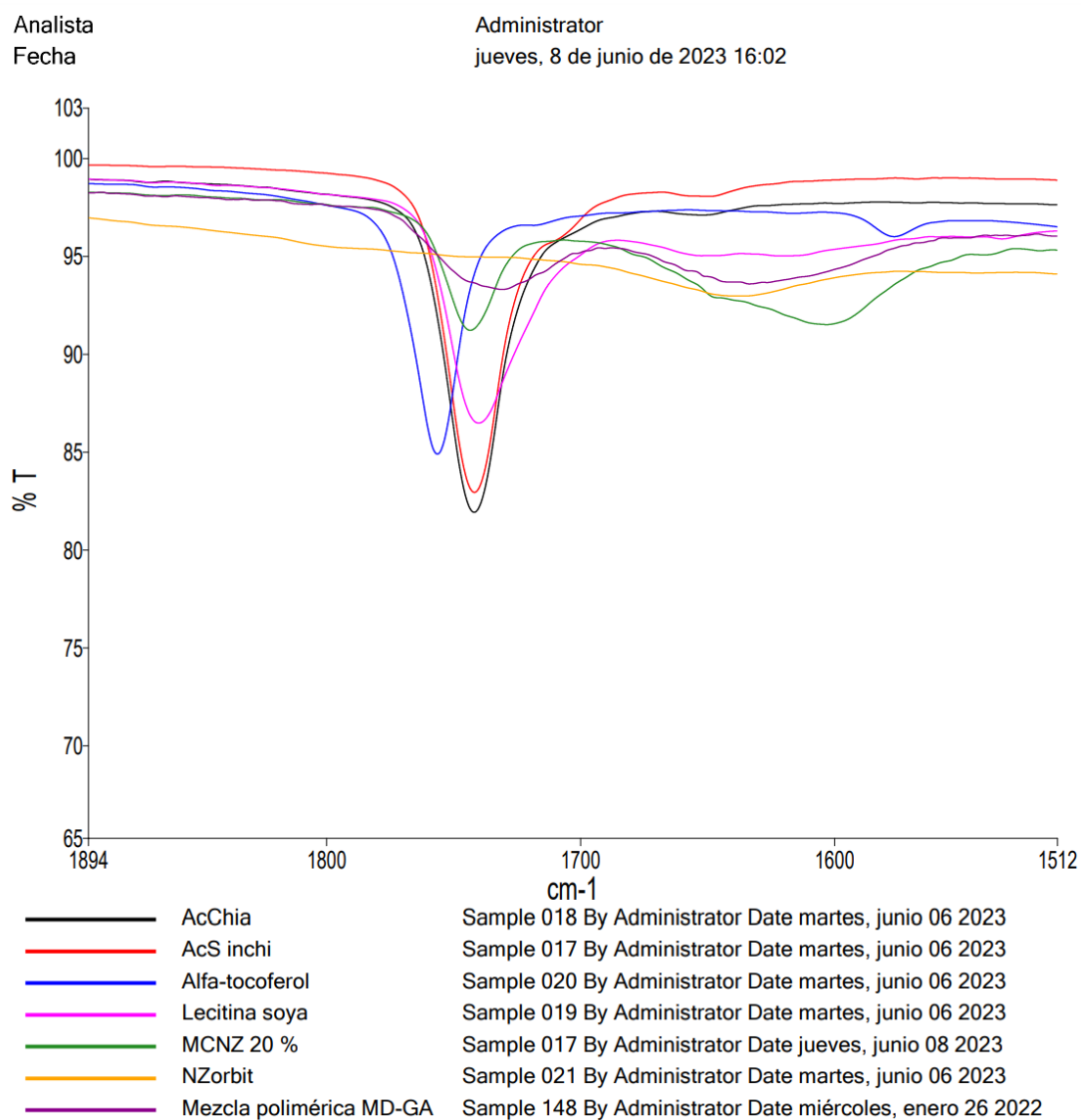
Anexo 12. Espectro infrarrojo para el RV BHT

Analista
Fecha

Administrator
viernes, 16 de junio de 2023 17:01



Anexo 13. Espectro infrarrojo para el SA-RV AT



Anexo 14. Espectro infrarrojo para el SA-RV BHT

