

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Tema: “Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*linum usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia”.

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de
Magíster Tecnología de Alimentos

Autora: Ingeniera María Elena Solís Acosta

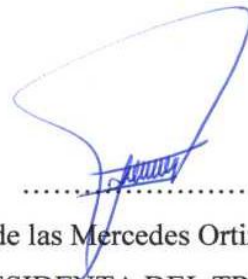
Director: Ingeniero Orestes Darío López Hernández, Doctor

Ambato- Ecuador

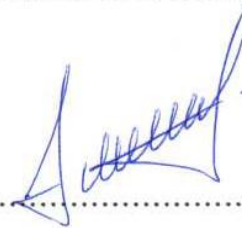
Julio - 2018

A la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.


El tribunal receptor del Trabajo de Investigación Presidido por la Doctora Jacqueline de las Mercedes Ortiz Escobar, e integrado por el señor Licenciado Yunys Pérez Bentancourt Máster y la señora Licenciada Danae Fernández Rivero Máster, designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrado de la Universidad Técnica Ambato, para receptor el Trabajo de Investigación con el tema: “Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*linum usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia”, elaborado y presentado por la señora Ingeniera María Elena Solís Acosta, para optar por el Grado Académico de Magíster en Tecnología de Alimentos; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia de las bibliotecas de la UTA.



.....
Dra. Jacqueline de las Mercedes Ortiz Escobar
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL



.....
Lic. Yunys Pérez Bentancourt, M. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Lic. Danae Fernández Rivero, M. Sc.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: “Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*linum usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia”, le corresponde exclusivamente a: la Ingeniera María Elena Solís Acosta, Autora bajo la Dirección del Ingeniero Orestes Darío López Hernández Doctor, Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ingeniera María Elena Solís Acosta

C.C. 1804157350

AUTORA



Ingeniero Orestes Darío López Hernández, Doctor

C.C. 1754784864

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derecho de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ingeniera María Elena Solís Acosta

C.C. 1804157350

INDICE

CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico	2
1.2.3 Prognosis	4
1.2.4 Formulación del problema	4
1.2.5 Interrogantes.....	4
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes investigativos	7
2.2 Fundamentación filosófica	8
2.3 Fundamentación legal	8
2.4 Categorías fundamentales	9
2.4.1 Variable Independiente	9
2.4.1.1 Linaza.....	9
2.4.1.2 Secado por aspersion.....	10
2.4.1.3 Microencapsulación	11
2.4.1.4 Encapsulantes.....	11
2.4.2 Variable Dependiente.....	12
2.4.2.1 Contenido de aceite superficial	12
2.4.2.2 Eficiencia de microencapsulación.....	12
2.4.2.3 Carga de principio activo	12
2.4.2.4 Humedad	13
2.4.2.5 Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases	13
2.4.2.6 Espectroscopía infrarroja	14

2.4.2.7 Ácidos grasos	15
2.4.2.8 Características del deterioro de los alimentos	16
2.4.2.9 Vida de anaquel.....	16
2.4.2.10 Oxidación lipídica	17
2.5 Hipótesis.....	18
2.5.1 Efecto de la temperatura de entrada y carga de aceite sobre la eficiencia de microencapsulación.....	18
2.5.2 Comparación del aceite de linaza antes y después del proceso de microencapsulación.....	19
2.5.3 Comparación de vida útil entre el cereal con linaza molida y cereal con microcápsulas.....	19
2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis	19
2.6.1 Evaluación de la eficiencia de microencapsulación del aceite de linaza	19
2.6.2 Análisis del efecto del proceso de microencapsulación sobre el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza.	20
2.6.3 Análisis del efecto de sustitución de microcápsulas de aceite de linaza del cereal en estudio.	20
CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION.....	21
3.1 Modalidad básica de la investigación	21
3.2 Nivel o tipo de investigación.....	21
3.3 Población y muestra	22
3.3.1 Diseño experimental.....	22
3.3.2 Respuestas experimentales.....	23
3.4 Operacionalización de variables	23
3.5 Plan de recolección de información	24
3.5.1 Materiales y Métodos.....	24
3.5.1.1 Equipos.....	24
3.5.1.2 Materiales	25
3.5.1.3 Métodos.....	25
3.6 Plan de procesamiento de la información	29
CAPITULO IV ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	30
4.1 Análisis y discusión de los resultados.....	30
4.1.1 Rendimiento de la extracción de lípidos	30

4.1.2 Resultados del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.	30
4.1.2.1 Eficiencia de microencapsulación	30
4.1.3 Caracterización físico-química de las microcápsulas del aceite de linaza	33
4.1.3.1 Análisis de humedad de las microcápsulas en función del tiempo	33
4.1.3.2 Análisis del contenido de ácidos grasos	34
4.1.3.3 Análisis de espectroscopía infrarroja	36
4.1.4 Caracterización físico-química del cereal en estudio	39
4.2 Verificación de hipótesis	40
4.2.1 Efecto de la temperatura de entrada y carga de aceite en la eficiencia del proceso de microencapsulación.	40
4.2.2 Comparación de ácidos grasos del aceite de linaza antes y después del proceso de microencapsulación	41
4.2.3 Comparación de vida útil entre el cereal con linaza molida y cereal con microcápsulas	41
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
5.1 Conclusiones	42
5.2 Recomendaciones	43
CAPÍTULO VI PROPUESTA	44
6.1 Datos Informativos	44
6.1.1 Título de la propuesta	44
6.1.2 Institución Ejecutora	44
6.1.3 Beneficiarios	44
6.1.4 Ubicación	44
6.1.5 Tiempo estimado para la ejecución	44
6.1.6 Equipo Técnico Responsable	44
6.1.7 Costo de la propuesta	45
6.2 Antecedentes de la propuesta	45
6.3 Justificación	45
6.4 Objetivos	46
6.4.1 Objetivo General	46
6.4.2 Objetivos Específicos	46
6.5 Análisis de factibilidad	46

6.6 Fundamentación	47
6.7 Metodología, Modelo operativo	48
6.8 Administración	48
6.9 Previsión de la evaluación	49

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables independientes	23
Tabla 2 Variables dependientes	24
Tabla 3 Costos de investigación.....	47
Tabla 4 Modelo Operativo (Plan de Acción)	48
Tabla 5 Administración del proyecto	49
Tabla 6 Previsión de la evaluación.....	49

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Análisis estadístico de eficiencia de microencapsulación.	31
Figura 2. Porcentaje de humedad en las microcápsulas en función del tiempo.	33
Figura 3. Análisis estadístico de contenido del ácido graso linoleico.....	34
Figura 4. Análisis estadístico de contenido del ácido graso α -linolénico	36
Figura 5. Comparación de los espectros infrarrojos.....	38
Figura 6. Análisis estadístico de tiempo estimado de vida útil del cereal.....	40

AGRADECIMIENTO

Agradezco a cada uno de los docentes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato por brindarme sus conocimientos y en especial al Dr. Orestes López por su apoyo para el desarrollo de este trabajo, agradezco a la empresa Mycucayo por permitirme trabajar con su producto y a todas las personas que participaron a mi desarrollo profesional.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a

A mis padres y hermanas por sus consejos y apoyo incondicional para hacer de mí una mejor persona.

A mi hijo por ser mi motivación y fuente de inspiración.

A mi esposo por su amor, confianza, palabras de aliento y brindarme el tiempo necesario para realizarme profesionalmente

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS/DIRECCIÓN
DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TEMA:

EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE LINAZA
(*linum usitatissimum*) PARA LA ADICIÓN EN UNA MATRIZ ALIMENTICIA

AUTORA: Ing. María Elena Solís Acosta

DIRECTOR: Ing. Orestes Darío López Hernández, Dr.

FECHA: 21 de junio del 2018

RESUMEN EJECUTIVO

En la presente investigación se extrajo aceite de las semillas de linaza se obtuvo un 32 % y un 64 % de torta, mediante secado por aspersion se microencapsuló aceite de linaza, en una matriz de goma arábica y maltodextrina, a una temperatura de 150 °C y un 30 % de carga de aceite de linaza, alcanzando una eficiencia promedio de microencapsulación de 59,19 %.

Mediante análisis físico químico se evaluó el contenido de humedad encontrándose por debajo del 10 % establecido como porcentaje máximo para productos en polvo al cumplirse 3 meses después de su elaboración. Se observó que el contenido de ácidos linoleico y α -linolénico no sufre modificación después del proceso de microencapsulación utilizando la técnica de cromatografía de gases, estos resultados fueron ratificados por espectroscopia infrarroja donde se demuestra que el aceite de linaza se encuentra en el interior de las microcápsulas.

Se sustituyó el porcentaje de linaza molida del cereal instantáneo Mycucayo por microcápsulas de aceite de linaza del mejor tratamiento y la torta; dichas muestras se sometieron a análisis de estabilidad oxidativa, dando como resultado un incremento en la vida útil del producto en estudio.

Descriptor: Microencapsulación, aceite de linaza, matriz alimenticia, ácidos grasos, vida útil de alimentos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS/DIRECCIÓN
DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

THEME:

EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE LINAZA
(*linum usitatissimum*) PARA LA ADICIÓN EN UNA MATRIZ ALIMENTICIA

AUTHOR: Ing. María Elena Solís Acosta

DIRECTED BY: Ing. Orestes Darío López Hernández, Dr.

DATE: June 21, 2018

EXECUTIVE SUMMARY

In the present investigation, of the flax seeds was extracted oil, 32 % and cake 64 %, by means of spray drying the flaxseed oil was microencapsulated in a matrix of gum arabic and maltodextrin at a temperature of 150 ° C. and a 30 % load of linseed oil, reaching an average microencapsulation efficiency of 59.19%.

By means of physical and chemical analysis, the humidity was evaluated, it was below the 10 % established as the maximum limit for powdered products. By means of gas chromatography was analyzed that the content of linoleic and α -linolenic acids, it does not modify after the microencapsulation process, these results were confirmed by infrared spectroscopy where it demonstrated that linseed oil is found inside the microcapsules.

The percentage of ground flaxseed instant Mycucayo cereal was replaced by flaxseed oil microcapsules of the best treatment and the cake; it samples were subjected to oxidative stability analysis, the result was an increase in the useful life of the product under study.

Keywords: Microencapsulation, linseed oil, food matrix, fatty acids, food life.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Tema

Extracción y microencapsulación de aceite de linaza (*linum usitatissimum*) para la adición en una matriz alimenticia.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

De acuerdo al Banco Mundial, la producción total mundial de cereales por año es de aproximadamente 2500 millones de toneladas. En América Latina y el Caribe, se superó los 205 millones de toneladas en el período 2012-2013. En Ecuador, la producción de cereales, en el mismo período fue alrededor de 3 millones de toneladas. (Banco Mundial, 2017).

Los cereales y sus derivados han sido y probablemente seguirán siendo un componente básico y uno de los más importantes en la dieta del hombre. Sin embargo, en los últimos años en las sociedades desarrolladas se ha detectado una gran reducción en su consumo. (Azcona, 2013).

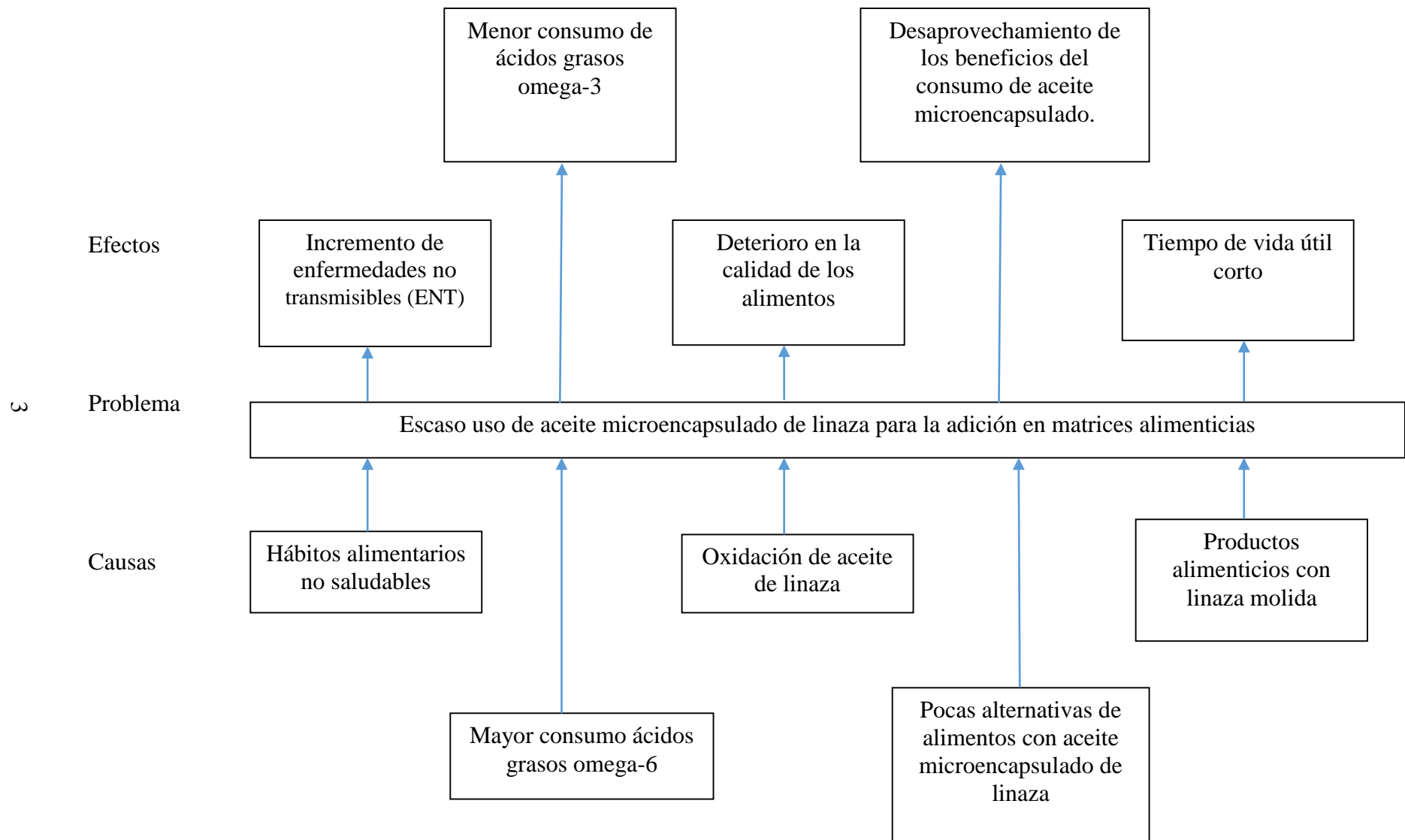
La mayoría de los alimentos son mezclas complejas de nutrientes en calidad y cantidad. Casi ningún alimento está compuesto por un solo nutriente y por otro lado no hay ningún alimento completo para el hombre adulto. En definitiva, todos los nutrientes se encuentran amplia y heterogéneamente distribuidos en los alimentos y pueden obtenerse a partir de múltiples combinaciones de los mismos. (Azcona, 2013).

El uso alimentario de la semilla de linaza es muy versátil; por ejemplo: el aceite de semilla de lino es una de las fuentes más ricas en ácido alfa linolénico (60 %), siendo una buena alternativa para la incorporación de omega 3. (Figuerola Fernando, 2008) Sin embargo, su elevada susceptibilidad a la oxidación dificulta su incorporación en alimentos. (Gray, 1978).

En el presente trabajo de investigación, se utilizó el secado por aspersión para preservar los ácidos grasos, así como también para ocultar olores y sabores indeseables que se forman como consecuencia de la oxidación, generando así una alternativa para incrementar la estabilidad del cereal instantáneo en estudio.

1.2.2 Análisis crítico

El análisis crítico se ilustra a continuación en el árbol de problemas:



1.2.3 Prognosis

De acuerdo al análisis crítico realizado en la presente investigación, en el caso de no desarrollar el trabajo, no se podrá disponer de información sobre alimentos con aceite de linaza microencapsulado. Se podría perder la oportunidad de aprovechar las características nutricionales de la linaza y la posibilidad de colocar en el mercado productos a base de cereales con mayor tiempo de vida útil.

1.2.4 Formulación del problema

¿De qué manera influyen las microcápsulas de aceite de linaza en la vida útil del cereal?

Variable Independiente: Microcápsulas de aceite de linaza.

Variable Dependiente: Vida útil del cereal.

1.2.5 Interrogantes

- En la microencapsulación de aceite de linaza ¿cuál es la temperatura de entrada óptima que brinda mejor conservación de los ácidos grasos?
- ¿Cuál es la carga óptima para microencapsular aceite de linaza?
- Al sustituir el porcentaje de linaza molida del cereal instantáneo Mycucayo por microcápsulas de aceite de linaza del mejor tratamiento y la torta ¿se incrementará la vida útil del producto en estudio?

1.2.6 Delimitación del objeto de investigación

Campo: Alimentos

Área: Cereales

Delimitación Temporal: Febrero 2017–Mayo 2018

Delimitación Espacial: Universidad Técnica de Ambato. Laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato-Tungurahua, Ecuador.

1.3 Justificación

La importancia de esta investigación radica en la utilización del aceite de linaza, que representa una de las fuentes vegetales más importantes del ácido graso alfa linolénico (ALA), correspondiente al tipo Omega 3 (n-3), los cuales son considerados como esenciales para el ser humano e indispensables en la dieta. Sin embargo su presencia es muy escasa en los alimentos comunes, lo que causa deficiencia en la mayoría de las personas. (Baylin, 2003).

No obstante, su elevada susceptibilidad a la oxidación dificulta su incorporación en alimentos. (Gray, 1978). La microencapsulación se presenta como una tecnología aplicada para proteger, retrasar o inhibir la oxidación; además de enmascarar olores y sabores indeseables que se forman como consecuencia del deterioro oxidativo, generando así una posible solución.

Con la obtención de las microcápsulas, se facilitaría la aplicación en diferentes matrices alimenticias; se contribuirá a corregir deficiencias nutricionales y a la prevención de determinadas enfermedades, respondiendo así a una problemática de impacto en la salud humana.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Extraer y microencapsular aceite de linaza para la adición en una matriz alimenticia.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Extraer aceite de semillas de linaza mediante prensado.
- Microencapsular aceite de linaza y determinar la temperatura de entrada en el secado por aspersión que brinde mejor conservación de los ácidos grasos de linaza.
- Determinar la carga óptima para microencapsular aceite de linaza.
- Caracterizar las microcápsulas obtenidas de aceite de linaza mediante contenido de humedad, ácidos grasos, aceite superficial y espectroscopía infrarroja.
- Sustituir el porcentaje de linaza molida del cereal instantáneo Mycucayo por microcápsulas de aceite de linaza del mejor tratamiento y la torta para incrementar la vida útil del producto con características funcionales.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos

Éste trabajo toma como antecedentes investigativos los que se detallan a continuación: En el trabajo titulado: “Estabilidad oxidativa de aceite de linaza microencapsulado con multicapas de biopolímeros”, se analizaron los efectos de diferentes concentraciones de los biopolímeros utilizados como materiales de pared para retardar la oxidación del aceite de linaza microencapsulado. Los biopolímeros utilizados fueron goma de mezquite y quitosano, los cuales fueron mezclados en diferentes proporciones en las emulsiones realizadas por dos métodos distintos, el método tradicional y el método de deposición electrostática capa por capa. Donde las microcápsulas con 10 % de goma de mezquite y 0,6 % de quitosano aplicando el método de deposición electrostática capa por capa mostraron la menor formación de hidroperóxidos, ya que presentaron la mayor eficiencia de microencapsulación en comparación con las demás formulaciones. (Rendón, Báez, Alanís, Vernon, & Regalado, 2010).

En el trabajo “Microencapsulación de aceite vegetal rico en ácidos grasos omega 3 para el desarrollo de alimentos funcionales”. Los objetivos fueron microencapsular aceite de lino generando de este modo una barrera protectora frente a la oxidación y utilizar dichas microcápsulas para el desarrollo de un alimento funcional de consumo masivo, como el pan. Se obtuvieron microcápsulas de aceite de lino utilizando diferentes materiales de pared con una eficiencia de microencapsulación superior al 90 %. El contenido del ácido graso alfa linolénico (ALA) en el aceite extraído se vio afectado muy levemente por el proceso de microencapsulación en todas las muestras. Las microcápsulas que contienen aislado proteico de suero de leche fueron las más resistentes a la oxidación, de ahí que fueron seleccionadas

para incorporar al proceso de panificación. Sin embargo se produjo una marcada reducción del contenido de ALA. (Guida et al., 2013).

En el trabajo de investigación “Extracción mecánica y nanoencapsulación del aceite de *Juglans neotropica* mediante secado por aspersión”, se realizó una extracción mecánica, obteniendo un rendimiento de extracción mayor al 79 %. Se evaluó el rendimiento y la eficiencia de microencapsulación. Este proceso elaborado a escala piloto permitió una eficiencia de microencapsulación superior al 65 %, y un contenido (69,93 %, 19,17 % , 4,24 %) de ácido linolénico, oleico, y linolénico respectivamente (Albán, 2015).

2.2 Fundamentación filosófica

En este trabajo se cita la fundamentación axiológica y metodológica:

La fundamentación axiológica es citada en esta investigación ya que se habla de valores y derechos humanos, la alimentación es uno de los derechos reconocidos por la legislación internacional, que protege a los seres humanos de alimentarse con dignidad ya sea produciendo su propio alimento o adquiriéndolo.

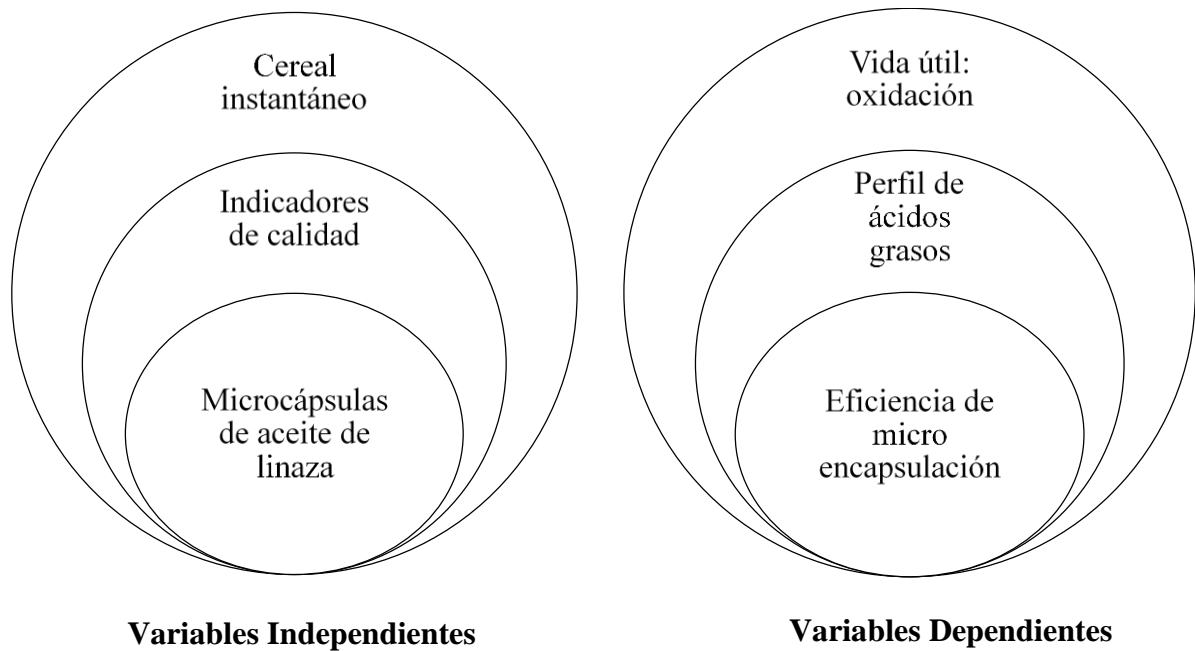
La fundamentación metodológica consiste en la manipulación de una o más variables experimentales no comprobadas en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

2.3 Fundamentación legal

La principal base legal para el desarrollo del presente trabajo de titulación será:

- Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 2587 “alimentos funcionales. Requisitos”

2.4 Categorías fundamentales



2.4.1 Variable Independiente

2.4.1.1 Linaza

La linaza corresponde a la semilla del lino (*linum usitatissimum*) es una oleaginosa, sus semillas son planas, ovaladas y con un extremo terminado en punta. Poseen una cubierta, un embrión que contiene dos cotiledones aplanados y grandes, un hipocótilo corto y una radícula. (Freeman, 1995). La cubierta de la semilla consta de un óvulo y se forma de cinco capas entre las principales son la capa de mucílago o epidérmica y la testa que determinan el color de la semilla. Los cotiledones corresponden al 55 % la cubierta, el endospermo al 36 % y el eje del embrión al 4 % del peso total de la semilla de lino cortada a mano. (Dorrell, 1970).

2.4.1.1.1 Aceite de linaza

El aceite que constituye el componente principal de la linaza (35 a 43 g/100 g de materia seca) ha sido por años el objetivo principal del procesamiento de esta semilla. La torta remanente de

la extracción de aceite (55 %), todavía se considera en algunas partes como un subproducto de bajo valor. (Daun et al., 2003; Oomah, 2003). Los cotiledones son el principal tejido de almacenamiento del aceite que está constituido principalmente por 98 % de triacilgliceroles y se encuentran en glóbulos de aceite de 1,3 μm de diámetro. También en la fracción lipídica se encuentra un 0,9 % de fosfolípidos y un 0,1 % de ácidos grasos libres. Aunque la cáscara es relativamente pobre en lípidos (22 %) su aceite es rico en ácido palmítico. En los cotiledones predominan los ácidos α linolénico, linoleico y oleico. (Hall et al., 2006).

La linaza es una de las principales fuentes de ácido α -linolénico, un ácido graso omega 3; por esta razón la linaza es una valiosa fuente de lípidos para mejorar la relación entre ácidos grasos n-6 y n-3. (Cunnane, 2003; Daun et al., 2003; Stavro et al., 2003 Hall et al., 2006).

2.4.1.1.2 Efectos beneficiosos para la salud

La semilla de linaza es una fuente abundante de ácido α -linolénico, componentes de fibra viscosa y de sustancias fitoquímicas como lignanos y proteínas. Estos componentes son de gran interés para las industrias alimentarias y farmacéuticas, (Holstum, 1993) desarrollando productos con efectos beneficiosos para la salud específicos, como reducción del riesgo de desarrollo de enfermedades cardiovasculares, mitigación de los efectos de la diabetes, patologías renales, obesidad, cáncer de colon y recto, reducción del nivel de colesterol sérico y promoción de la evacuación intestinal. (Payne, 2000; Ogborn, 2003; Oomah, 2003; Stavro et al., 2003; Hall et al., 2006).

2.4.1.2 Secado por aspersión

El secado por aspersión es considerablemente manejado en la industria agroalimentaria. Es una operación unitaria mediante la cual un producto líquido es atomizado en una corriente de gas

caliente para obtener un polvo instantáneamente. El líquido inicial alimentado al aspersor puede ser una solución, una emulsión o una suspensión. (Esquivel, Martínez y Rutiaga, 2015).

2.4.1.3 Microencapsulación

Diversos alimentos tales como zumos, jugos, aceites de origen vegetal y compuestos farmacológicos, fácilmente pierden su actividad biológica al sufrir un proceso de oxidación (Castañeta, Gemio, Yapu, y Nogales, 2011), por lo que en la actualidad se emplea la microencapsulación, que consiste en el recubrimiento de sustancias sólidas o líquidas con una película polimérica porosa generalmente hecha de componentes con cadenas para crear una red con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas conteniendo una sustancia activa. (Parra, 2010).

2.4.1.4 Encapsulantes

Entre los materiales formadores de pared más frecuentemente usados en la técnica de secado por aspersión se encuentran las gomas (arábica, carragenina, mesquita, gellan); entre otras proteínas (gelatina, caseinato); almidones modificados y maltodextrinas. (Lopera, Guzmán, Cataño, y Gallardo, 2009).

2.4.1.4.1 Goma Arábica

La goma arábica (GA) es un emulsificante efectivo que tiene como características una baja viscosidad, buena actividad de superficie, produce películas con las propiedades de un hidrocoloide y puede formar emulsiones estables con la mayoría de aceites. (Chanamai, y Clements, 2001).

La estructura química de la GA corresponde a un complejo de polisacárido que contiene pequeñas cantidades de material nitrogenado. El polisacárido es una cadena ramificada, con un peso molecular que puede variar de 47000 a 3000000 g/mol. (Pedroza, Vernon, Durán.1999;

Lopera, Guzmán, Cataño, y Gallardo, 2009). La cadena lineal está compuesta de unidades (1,3) β -D galactopiranosil y ramificaciones a los lados de (1,6) β -D galactopiranosil- 4 -O metil-glucurónico, las cuales a su vez están unidas a ramas más pequeñas compuestas por L- ramnosa - D-ácido glucurónico, D- galactosa - (1,3) y Larabinosa. (Lopera et al., 2009)

2.4.1.4.2 Maltodextrina

La maltodextrina es un polisacárido con un peso molecular promedio de 1800 g/mol, no edulcorante, con un aporte nutricional de 4 calorías por gramo, obtenido de la hidrólisis parcial ácida y/o enzimática del almidón de papa, arroz o maíz. Su composición química consiste en unidades de D-glucosa unidas con enlaces α (1-4) y con un bajo número de enlaces α -(1,6) en posición aleatoria, se caracteriza por tener entre 2 y 20 equivalentes de dextrosa. (Lopera et al., 2009).

2.4.2 Variable Dependiente

2.4.2.1 Contenido de aceite superficial

Es un método que consiste en medir la cantidad de aceite no encapsulado existente en la superficie de las microcápsulas. (López, Nuñez, y Mayo, 2018).

2.4.2.2 Eficiencia de microencapsulación

Muestra la cantidad de aceite que se encuentra dentro de las microcápsulas, brindando un valor de efectividad en la microencapsulación. (López, Nuñez, y Mayo, 2018).

2.4.2.3 Carga de principio activo

Es la cantidad de la sustancia activa que se encuentra en el interior de las microcápsulas. (López, Nuñez, y Mayo, 2018).

2.4.2.4 Humedad

La determinación de humedad es el parámetro importante de vigilar en controles físico químicos de análisis de alimentos. (AOAC. 1990, Instituto Nacional de Normalización, 1988). Se afirma que un alimento cuando mayor porcentaje de agua posea en su composición más susceptible es a alterarse. Los alimentos presentan susceptibilidad al deterioro por lo que participa la actividad de agua que hace referencia a la disponibilidad de esa agua en el alimento. Este valor es un dato esencial en el campo agroalimentario porque condiciona la intensidad de las reacciones enzimáticas, químicas y el desarrollo microbiano. (Cuéllar, 2008). De acuerdo a la farmacopea de Estados Unidos (USP) para polvos de origen vegetal el límite máximo de humedad es 10 %.

2.4.2.5 Perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases

La cromatografía de gases es una de las técnicas más utilizadas en el análisis cuantitativo y cualitativo. Los componentes de una muestra se inyectan y se volatilizan en una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de gas inerte que constituye la fase móvil. Esta corriente de gas atraviesa la columna cromatográfica arrastrando a los componentes de la muestra, que se van separando en función del grado en que interaccionan con la fase estacionaria. La cromatografía gas líquido es utilizada en especies que son considerablemente volátiles y térmicamente estables a la temperatura de trabajo de hasta 300 °C. (Bermejo y Moreno, 2000). Es una técnica de alta resolución, sensibilidad y selectividad. Se puede aplicar en la industria alimentaria, además se utiliza ampliamente para establecer la pureza de

compuestos orgánicos y proporciona un excelente medio para la confirmación de la ausencia o presencia de un compuesto utilizado en una mezcla. (Skoog y West, 2014).

Por la importancia de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPIs) en la industria alimentaria, se desarrollaron técnicas que faciliten la separación de lípidos y especialmente sus componentes de ácidos grasos. El proceso consiste en convertir una muestra lipídica a derivados de ésteres metílicos, para posteriormente separarlos por cromatografía de gases y así obtener un resultado del contenido y la cantidad de ácidos grasos presentes en la muestra. (Harwood, 1989).

2.4.2.6 Espectroscopía infrarroja

La espectroscopía infrarroja (IR) brinda información valiosa sobre la estructura de una molécula ya que aporta información sobre los grupos funcionales existentes en una molécula orgánica. Un espectro infrarrojo proporciona un método rápido y simple para obtener información preliminar sobre la identidad o estructura de una molécula. Cada grupo funcional absorberá una o varias longitudes de onda características, correspondientes cada una de ellas a un modo de vibración diferente. Cada enlace absorberá a una frecuencia determinada dando lugar a un espectro característico. (Bermejo y Moreno, 2000). El espectro es una representación gráfica de la cantidad de radiación IR que pasa a través de la muestra frente a la longitud de onda de la radiación. (Shurvell, 2006). La espectroscopía IR se puede aplicar a muestras en estado sólido, líquido o gaseoso que presenten enlaces covalentes.

Las aplicaciones de la espectroscopía IR para análisis cualitativo resulta de gran interés en la industria alimentaria y farmacéutica se utiliza para la identificación de materias primas, permite poner de manifiesto la presencia de impurezas de determinados compuestos, permite distinguir la presencia de grasas trans frente a las cis (Bermejo, Moreno, 2000), en productos

microencapsulados permite determinar si los compuestos de interés se encuentren protegidos en el interior de las microcápsulas. (López, Nuñez, y Mayo, 2018).

2.4.2.7 Ácidos grasos

La mayoría de los ácidos grasos de cadena larga que se ubican en tejidos vivos contienen un número par de átomos de carbono. Se dividen según su grado de insaturación en tres grupos: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Los ácidos grasos saturados más frecuentes son: láurico, mirístico, palmítico, esteárico y araquídico. Los correspondientes a los ácidos grasos insaturados más habituales son palmitoleico, oleico, linoleico, α -linolénico (GLA), araquidónico (AA) y eicosapentaenoico (EPA).

2.4.2.7.1 Ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos esenciales son sustancias naturales, la fuente son los aceites vegetales y el pescado. Son necesarios para las células y para un óptimo estado de salud, puede suministrarse con la dieta o suplementos debido a que el organismo no puede sintetizarlos. (Tolonen, 1995).

Las familias más importantes (AGPIs) son los ácidos grasos omega 3 (ácido α -linolénico) y omega 6 (ácido linoléico). Son precursores de los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga, como el ácido araquidónico y el ácido docosahexaenoico. (Rodríguez, Tovar, Prado, Torres, y Torres, 2005). El ácido α -linolénico (C18: 3n-3) y linoleico (C18: 2n-6) se consideran esenciales. (Petrovic et al., 2012). Debido a que los mamíferos no poseen de las enzimas necesarias para insertar dobles enlaces en los átomos de carbono que se ubican luego del carbono 9 a partir del carboxilo terminal. (Rodríguez, Tovar, Prado, Torres, y Torres, 2005).

La ingesta de alimentos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados omega 3 parece ser una opción que puede ser eficaz en la reducción de factores de riesgo de enfermedades,

sustituyendo a los suplementos sin originar cambios en los hábitos alimentarios del consumidor. (Carrero et al., 2005) .

2.4.2.8 Características del deterioro de los alimentos

Los alimentos son expuestos durante su almacenamiento y distribución a una gran diversidad de condiciones ambientales. Factores tales como la temperatura, la humedad, el oxígeno y la luz pueden liberar varios mecanismos de reacción que pueden conducir a la degradación del alimento. Como resultado de estas reacciones los alimentos pueden alterarse causando problemas que los hacen no aptos para el consumo. Las causas del deterioro de los alimentos pueden ser de origen químico, físico o microbiológico. (Man, y Jones, 1994).

Los cambios de origen químico se derivan de la composición y de los factores ambientales externos. Los más importantes están relacionados con la actividad enzimática, reacciones de oxidación (particularmente de lípidos que alteran el aroma) y reacciones no enzimáticas que provocan pardeamiento causando cambios en la apariencia. (Man, y Jones, 1994).

La oxidación de los lípidos es la causa principal de deterioro en la calidad de los alimentos, porque lleva al desarrollo de olores desagradables y se crean productos potencialmente tóxicos. (Coupland, y McClements, 1996).

2.4.2.9 Vida de anaquel

La vida de anaquel de un producto alimenticio es el período de tiempo a partir de la fecha de producción, durante el cual el producto mantiene una calidad aceptable también se entiende como la durabilidad. Concebida ésta como el período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario y mantiene sus características

sensoriales y funcionales por encima del límite mínimo de calidad previamente establecido como aceptable. (Giraldo, 1999).

2.4.2.10 Oxidación lipídica

A pesar de las ventajas que brinda el ácido α -linolénico del aceite de linaza en la industria alimentaria su uso es condicionado por su susceptibilidad a la oxidación. (Laurintzen, 1994). Los ácidos grasos poliinsaturados se autooxidan muy rápidamente en el aire, el mecanismo de la autooxidación implica un ataque de radicales libres y se ve agravada por la luz intensa y por los iones metálicos. Una vez que se ha iniciado la reacción procede autocatalíticamente. Los iniciadores de la oxidación suelen ser energía (luz, calor, etc), trazas de metales pesados y radicales peróxidos.

2.4.2.10.1 Mecanismos de oxidación

La principal alteración de la materia grasa es la oxidación de los ácidos grasos insaturados, riesgo que se incrementa con el número de dobles enlaces. El fenómeno de la oxidación depende en gran medida de la actividad de agua. La oxidación parte por una fase de iniciación que corresponde a la eliminación de un radical de hidrógeno de un carbono vecino a un enlace insaturado y la obtención de una molécula radical reactiva. En esta etapa se produce el desplazamiento de un doble enlace en el caso de los ácidos grasos polinsaturados y por la formación de dobles enlaces conjugados. La fase siguiente es la propagación que consiste en una abundancia de radicales libres que progresivamente fijan el oxígeno, generando hidroperóxidos de forma autocatalítica. La tercera fase corresponde a la terminación, que se da cuando la concentración de radicales es elevada y conduce a la aparición de productos estables al reaccionar los radicales libres entre sí y con productos oxigenados resultantes de la ruptura de los ácidos grasos iniciales. (Kinter, 1995).

2.4.2.10.2 Valoración de la oxidación de los ácidos grasos

Por la complejidad de las reacciones y a la variedad de los productos que se forman, existe diversidad de métodos para valorar la oxidación de los ácidos grasos. Las diferentes técnicas para medir la oxidación se basan en la estimación de: cambios primario debido al consumo de oxígeno, pérdida de ácidos grasos poliinsaturados, formación de hidroperóxidos y de peróxidos y cambios secundarios producidos en la descomposición parcial de los peróxidos con formación de productos de escisión, resultante de la ruptura del ácido graso y formación de productos oxidados con la misma longitud de cadena que el ácido graso de partida. (St. Angelo, 1996).

Para la determinación de la oxidación se utilizan diferentes equipos entre ellos está el oxitest, es un reactor que realiza el test de oxidación para investigación de la vida útil de un producto, tanto en materia prima como en el producto terminado sin necesidad de una separación preliminar de la grasa. El test ofrece resultados representativos ya que se lleva a cabo en toda la muestra. El oxitest acelera el proceso de oxidación debido a 2 factores, la temperatura y la presión de oxígeno. (Usmate, 2006).

2.5 Hipótesis

2.5.1 Efecto de la temperatura de entrada y carga de aceite sobre la eficiencia de microencapsulación.

Hipótesis Nula

La temperatura de entrada y carga de aceite no afectan la eficiencia de microencapsulación.

Hipótesis Alternativa

La temperatura de entrada y carga de aceite afectan la eficiencia de microencapsulación.

2.5.2 Comparación del aceite de linaza antes y después del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Nula

El aceite de linaza no presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

Hipótesis Alternativa

El aceite de linaza presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

2.5.3 Comparación de vida útil entre el cereal con linaza molida y cereal con microcápsulas.

Hipótesis Nula

Las microcápsulas de aceite de linaza no influyen en la vida útil del cereal en estudio.

Hipótesis Alternativa

Las microcápsulas de aceite de linaza influyen en la vida útil del cereal en estudio.

2.6. Señalamiento de variables de la hipótesis

Las variables independientes y dependientes son las que se mencionan a continuación:

2.6.1 Evaluación de la eficiencia de microencapsulación del aceite de linaza

Evaluación de la temperatura de entrada.

Evaluación de la carga de aceite incorporada a la mezcla.

2.6.2 Análisis del efecto del proceso de microencapsulación sobre el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza.

Contenido de ácidos grasos de linaza antes y después de la microencapsulación.

2.6.3 Análisis del efecto de sustitución de microcápsulas de aceite de linaza del cereal en estudio.

Vida útil del cereal con y sin microcápsulas de aceite de linaza.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION

3.1 Modalidad básica de la investigación

Este trabajo de titulación se respaldó en una modalidad documental bibliográfica y experimental. Es de tipo bibliográfico porque considera información publicada en diversas fuentes sobre estudios previos y resultados obtenidos respecto a la extracción y microencapsulación de aceite. Es de tipo experimental dado que se trabajó con temperatura de secado (150, 180 °C) y porcentaje de carga (40, 50 %) para determinar la eficiencia de microencapsulación. Además se analizó la influencia del proceso de microencapsulación, el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza antes y después del proceso de microencapsulación. Finalmente la adición de microcápsulas de aceite de linaza al cereal en estudio y su repercusión en el tiempo de vida útil.

3.2 Nivel o tipo de investigación

Este estudio emplea los siguientes tipos de investigación: exploratoria, descriptiva, explicativa.

Investigación exploratoria porque es útil para incrementar el grado de conocimiento respecto al problema. Además se puede aplicar para generar criterio y dar prioridad a algunos problemas.

Investigación descriptiva porque trabaja sobre realidades de hecho y su característica fundamental es la de presentar una interpretación correcta.

Investigación explicativa porque se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

3.3 Población y muestra

Para la presente investigación se trabajó con linaza canadiense, el proveedor fue la Moderna, local ubicado en el mercado mayorista del cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

La matriz alimenticia en la cual se sustituyeron las microcápsulas de aceite de linaza pertenece a la fábrica de cereales Mycucayo, ubicada en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

Es una mezcla de cereales de avena, salvado y germen de trigo, soya y linaza.

3.3.1 Diseño experimental

Se trabajó con un diseño experimental 2^2 , (dos tratamientos cada uno de ellos con dos niveles); con tres repeticiones que da un total de 12 corridas experimentales. Este diseño describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen los factores sobre una respuesta y descubrir si tienen interacción entre ellos. (Ferré, 2011).

Los factores con los respectivos niveles son:

Factor A la temperatura de secado

$$a_1 = 150 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$a_2 = 180 \text{ }^\circ\text{C}$$

Factor B la Carga

$$b_1 = 40 \%$$

$$b_2 = 50 \%$$

3.3.2 Respuestas experimentales

Las respuestas experimentales se obtuvieron de las microcápsulas de aceite de linaza y del cereal con microcápsulas y torta de linaza. En las microcápsulas de aceite de linaza las respuestas experimentales fueron, la eficiencia de microencapsulación, el porcentaje de humedad y el contenido de ácidos grasos antes y después del proceso de microencapsulación y en el cereal con microcápsulas y torta de linaza la respuesta experimental fue la estabilidad oxidativa.

3.4 Operacionalización de variables

Tabla 1

Variables independientes

Descripción	Conceptualización	Categoría	Indicadores	Items	Técnicas e instrumentos
Temperatura de secado	Se define como el proceso mediante el cual se convierte un producto o alimentación de un estado líquido inicial a otro pulverizado.	Indicador de secado	150 180	¿Influirá la temperatura de entrada en la formación de microcápsulas?	Secador por aspersión
Porcentaje de carga	Indica el contenido de la sustancia activa cargada	Cantidad de aceite	40 50	¿Influirá el porcentaje de carga en la formación de microcápsulas?	Balanza analítica
Proceso de microencapsulación	Consiste en el recubrimiento de sustancias sólidas o líquidas con una película polimérica	Indicador de modificación estabilidad de ácidos grasos	Perfil de ácidos grasos	¿Influirá el proceso de microencapsulación en el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza?	Cromatógrafo de gases
Adición de microcápsulas de aceite de linaza	Incorporación de microcápsulas de aceite de linaza a una matriz alimenticia	Dosificación de microcápsulas	Porcentaje	¿Influirá la adición de microcápsulas de aceite de linaza en el tiempo de vida útil del cereal en estudio?	Balanza analítica

Tabla 2
Variables dependientes

Descripción	Conceptualización	Categoría	Indicadores	Items	Técnicas e instrumentos
Eficiencia de microencapsulación	Muestra la cantidad de aceite microencapsulado	Análisis físico	Contenido de aceite	¿Influirá el contenido de aceite en la eficiencia de microencapsulación?	Extractor de aceite
Perfil de ácidos grasos	Representa un ácido graso identificado por el tiempo en que se detecta.	Análisis físico-químico	Perfil de ácidos grasos	¿La temperatura del secado por aspersión influirá en el perfil de los ácidos grasos?	Cromatógrafo de gases y espectroscopia infrarroja
Tiempo de vida útil	Período de tiempo a partir de la fecha de producción, durante el cual el producto mantiene una calidad aceptable.	Análisis físico-químico	Estabilidad oxidativa	¿La estabilidad oxidativa influirá en el tiempo de vida útil del cereal en estudio?	Oxitest

3.5 Plan de recolección de información

La recolección de la información se realizó luego de pruebas experimentales y la información obtenida se tabulará en el software Statgraphics Centurion XVII, 2014.

3.5.1 Materiales y Métodos

3.5.1.1 Equipos

- Prensa para extraer aceite de semillas, Florapower
- Secador por aspersión, Buchi B290
- Cromatógrafo de gases, Agilent 7890
- Espectrofotómetro de infrarrojo, Jasco FT/IR-4100
- Extractor de grasa, Velp Scientifica
- Estufa, Binder
- Oxitest, Velp Scientifica

- Balanza analítica, Mettler Toledo
- Termobalanza, Kern
- Electroagitador vertical, Arrow engineering
- Ultra turrax, Ika
- Plancha de calentamiento, Fisher Scientific
- Material de vidrio

3.5.1.2 Materiales

- Linaza canadiense, SO-522620
- Goma arábica, Nexira, 171345.
- Maltodextrina, Norbright, 17L594.
- Éter de petróleo, Fisher Chemical, 157351
- Metanol, Fisher Chemical, C14H26006
- Hexano, Fisher Chemical, 147232
- Hidróxido de potasio, Fisher Chemical, 10031
- Ácido clorhídrico, Fisher Chemical, 4113110

3.5.1.3 Métodos

3.5.1.3.1 Extracción de aceite de linaza

La extracción de aceite de linaza se realizó en un extrusor de semillas oleaginosas. El equipo se calibró con las condiciones que requiere la semilla para su extracción. Durante el proceso de prensado se utilizó un controlador con un convertidor de frecuencia. Esto permitió controlar y regular todo el proceso de extracción de aceite. La dosificación se controló de tal manera que el motor de la prensa siempre funcionó con la corriente nominal especificada. Esto da a la

prensa la oportunidad de adaptarse automáticamente a las diferentes semillas. La semilla se alimentó a la prensa con la ayuda de un sistema opcional de precalentamiento y dosificación. A través de los segmentos de tornillo que se van estrechando la linaza es forzada por la prensa. El aceite fluye a través de las cestas del colador. La torta de prensado sale de una abertura de prensa ajustable. La torta de la prensa cae en forma de hojuelas debajo de la prensa.

3.5.1.3.2 Estudio del proceso de microencapsulación

Se adiciona en un recipiente agua destilada previamente pesada en una balanza analítica, se calienta hasta 45 ± 2 °C con el fin de facilitar la dispersión de los polímeros, se inicia la agitación con un electroagitador, se agrega la goma arábica y la maltodextrina hasta eliminar todos los grumos, seguidamente se añade el extracto lipídico (40, 50 %), se mantiene la agitación con 20000 rpm durante 15 minutos más para obtener una emulsión homogénea. Finalmente la emulsión se alimenta al secador, se trabaja con temperaturas de entrada de aire de 150 y 180 °C.

3.5.1.3.3 Determinación de humedad

El porcentaje de humedad de las microcápsulas se comprobó pesando aproximadamente 3 g de muestra en una termobalanza a 105 °C de temperatura por 20 minutos hasta alcanzar peso constante, este análisis se realizó por triplicado.

3.5.1.3.4 Contenido de aceite superficial

Para el contenido de aceite superficial se utilizó el microencapsulado de aceite de linaza. 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 con un intervalo de ebullición de 100 a 140 °C. El procedimiento fue

el siguiente: se pesó un vaso vacío de 120 ml, se pesó 3 g de microcápsulas en el dedal de celulosa en una balanza analítica. Posteriormente se encendió el equipo de extracción se ubicaron los dedales con la muestra y los vasos con 60 ml de éter de petróleo en los lugares respectivos. Una vez iniciada la ebullición del disolvente se sumergieron los dedales por un periodo de 15 minutos, se suspendieron posteriormente durante 30 minutos y se procedió a recuperar el disolvente. Finalmente se colocaron los vasos con la muestra obtenida de aceite durante 30 min a 96 °C en una estufa con el fin de eliminar todo el disolvente. Se enfrió a temperatura ambiente en una desecadora que contenía sílica gel con indicador de humedad y se pesó en la balanza analítica. (López, Nuñez, y Mayo, 2018)

El cálculo se realiza aplicando la siguiente formula:

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

Donde:

A - Peso del vaso con el aceite superficial después del proceso de extracción.

B - Peso del vaso vacío.

C - Peso de la muestra antes del proceso de extracción.

3.5.1.3.5 Determinación del contenido de ácidos grasos

El contenido de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases. Se trabajó con muestras de aceite de linaza en estado natural y con aceite extraído de las microcápsulas, las muestras de aceite inicialmente se sometieron a un proceso de esterificación utilizando la metodología que se detalla a continuación: en un tubo con tapa de rosca de 20 ml, se pesó entre 0,020 y

0,025 g de aceite, se adicionó 2 ml de la solución metanólica de KOH 0,5 mol/l para realizar la reacción en un baño María a ebullición durante 10 minutos y después se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se añadió 1 ml de solución metanólica de HCl, se colocó el tubo en el baño María a 50 °C durante 25 minutos y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Se añadió 3 ml de agua destilada y se agitó. Para extraer los ésteres metílicos de los ácidos grasos, se colocó 10 ml de hexano grado cromatográfico y se agitó durante 10 segundos. Una vez finalizado el proceso de esterificación se inyectó en viales la solución con esteres metílicos.

Luego se trabajó en el cromatógrafo de gases 7890 tipo A, marca Agilent Technologies, las condiciones cromatográficas de trabajo fueron las siguientes: columna capilar Agilent 1128867 (60 m x 250 µm x 24µm); volumen de inyección de 0,1 µl; temperatura de inyector 240 °C, flujo de helio de la fase móvil 0,7 µl/min; inyección en modo pulsed split 25:1. Las etapas para la separación y la identificación de los componentes de una mezcla fueron las siguientes: Se colocó los viales en el equipo, se inyectó la muestra en el cromatógrafo de gases, se separó la muestra en componentes individuales y finalmente se detectó los compuestos existentes en la muestra.

3.5.1.3.6 Espectroscopía infrarroja

El análisis de espectroscopía infrarroja se realizó en el Laboratorio de Química Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante el uso de un espectroscopio infrarrojo Jasco FT/IR-4100 tipo A con fuente de luz standard; detector TGS; velocidad de escáner: 2 mm/s. El procedimiento que se empleó es el que se detalla a continuación. Se encendió el equipo, se ingresó al programa y se adecuó para su uso, posteriormente se limpió con un algodón que contenga alcohol en el área de la muestra (el cristal de seleniuro de zinc, soporte y capuchón del tornillo), se realizó el barrido espectral

colocando la muestra líquida (2 gotas) o sólidas (0,2 g polvo) sobre el cristal del área de la muestra. Las muestras no deben sobrepasar el rango de pH de 5 a 9. Se cerró la tapa y se pulsó start, se esperó que en la pantalla muestre los espectros. Se procesó el espectro utilizando el programa Spectra Analysis, se identificó los picos más relevantes y finalmente se procedió a copiar los espectros resultantes.

3.5.1.3.7 Estabilidad Oxidativa

Para determinar la vida útil estimada se trabajó con dos muestras de cereal instantáneo, la primera correspondió al cereal con linaza molida (100 %) y la segunda al cereal con microcápsulas (30 %) y torta (70 %) cada una de ellas se realizó por triplicado. Se utilizó el equipo oxitest, las condiciones para el análisis fueron: presión 0,6 MPa, temperaturas (90, 100, 110 °C) cada una de ellas a diferentes tiempos (20, 40, 60 horas) el tiempo mayor para la temperatura menor y así respectivamente. La muestra se distribuyó en 3 soportes de muestra alrededor de 30 a 40 g de producto. Una vez introducida las muestras a la cámara de oxidación, se tapó y ajustó bien los tornillos, la válvula debe quedar abierta, se cerró el equipo, se seleccionó set start, se presionó work oxitest. Una vez alcanzada la temperatura esperada se inició el análisis. Luego de haber transcurrido el tiempo programado, se cerró la válvula del tanque de oxígeno, se despresurizó la válvula del equipo, se esperó que se enfríe, se limpió el equipo, se recolectó los datos obtenidos y se procedió a calcular la vida útil estimada de las diferentes muestras.

3.6 Plan de procesamiento de la información

Los datos obtenidos en este estudio se analizaron mediante el programa Statgraphic Centurion XVII, 2014.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Análisis y discusión de los resultados

4.1.1 Rendimiento de la extracción de lípidos

El porcentaje de rendimiento del aceite de semillas de linaza es de 35 a 43 %, y el 55 % corresponde a la torta según (Daun et al., 2003 y Oomah, 2003). Al comparar con el porcentaje de aceite obtenido en la extracción que fue del 32 %, y la torta un 64 %, se puede apreciar que estos porcentajes de rendimientos corresponden con los valores reportados.

4.1.2 Resultados del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión.

4.1.2.1 *Eficiencia de microencapsulación*

Una vez finalizado el proceso de secado por aspersión se determinó la eficiencia de microencapsulación de los diferentes tratamientos con el fin de conocer la cantidad de aceite microencapsulado. En la figura 1 se muestran los análisis estadísticos de eficiencia de microencapsulación.

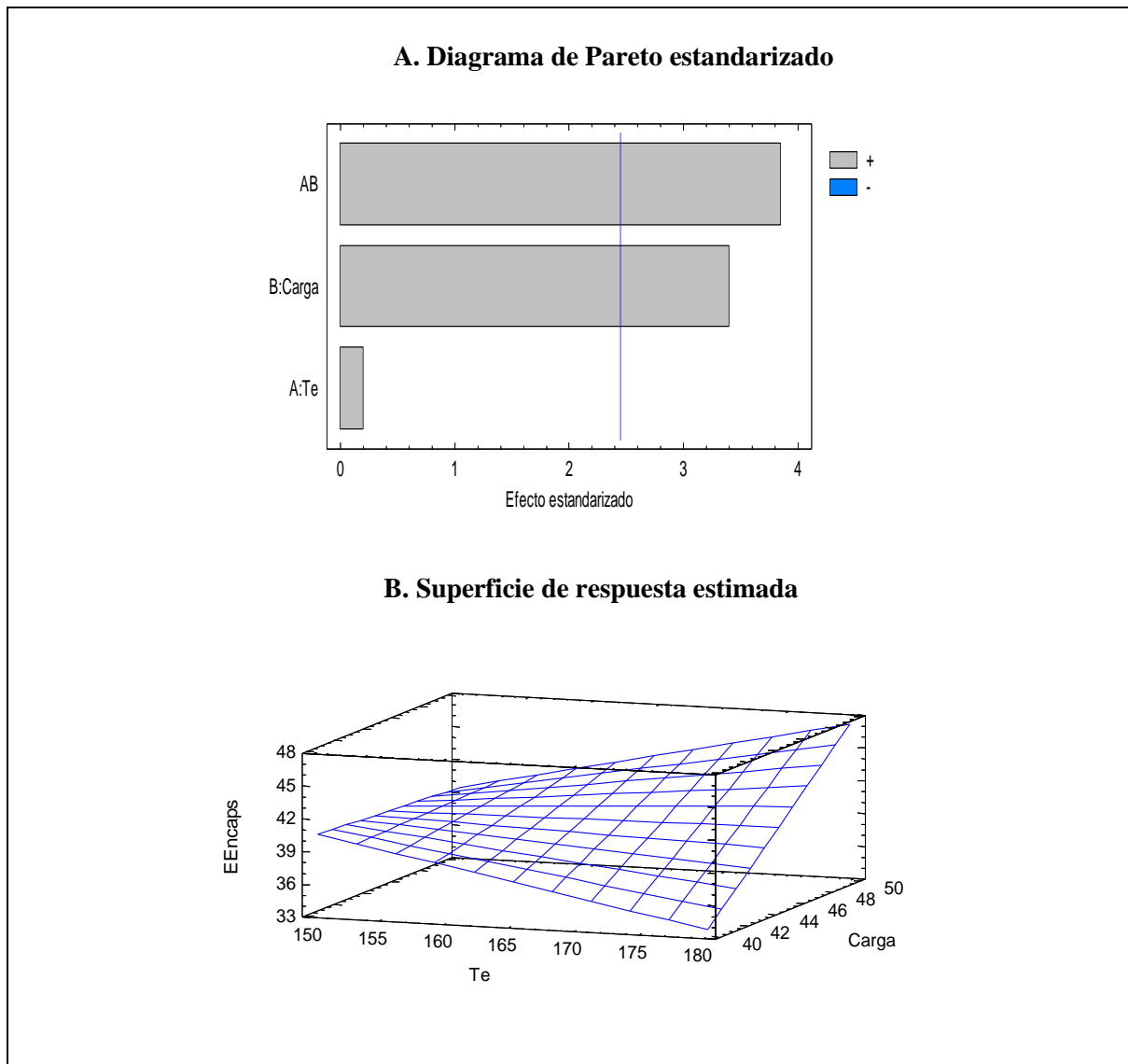


Figura 1. Análisis estadístico de la eficiencia de microencapsulación. A Diagrama de Pareto estandarizado. B Superficie de respuesta estimada.

Empleando un diseño experimental 2^2 al proceso de microencapsulación, se estudió el efecto que causa la temperatura y el porcentaje de carga de aceite en el porcentaje de eficiencia de microencapsulación.

En referencia a las diferencias entre los factores estudiados, se observó en el diagrama de Pareto estandarizado que el efecto del porcentaje de carga sobre la eficiencia de encapsulación es significativa (ANOVA, 95 % confianza), así como la interacción entre los factores temperatura y porcentaje de carga (ANOVA, 95 %). El efecto de las dos temperaturas de entrada evaluadas

no presenta influencia significativa sobre en el porcentaje de eficiencia de microencapsulación. (ANOVA, 95 %). Ver Anexo B.

De acuerdo a los resultados de la Figura 1 en la superficie de respuesta estimada, se observa que el tratamiento que proporcionó la mejor eficiencia de microencapsulación correspondió a una carga de aceite del 50 % y una temperatura de entrada de 180 °C, alcanzando una eficiencia promedio del 47,27 %. En referencia a la eficiencia de microencapsulación de la matriz, los resultados varían notablemente en comparación con la eficiencia observada en un trabajo sobre microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L) en dónde se obtuvo un porcentaje de eficiencia de microencapsulación del 93,9 %, utilizando como material encapsulante una mezcla de maltodextrina y goma arábiga con una carga del 33 % y una temperatura de entrada de 150 °C. (Pastuña, 2016).

En una investigación sobre microencapsulación de aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L, se utilizó un 33 % de carga, una mezcla de maltodextrina y goma arábiga, la eficiencia alcanzada de microencapsulación fue mayor que 90 %. (López, Nuñez, y Mayo, 2018). Se puede deducir que la eficiencia de microencapsulación además de la temperatura de secado y el porcentaje de carga también depende de la matriz empleada.

Se decidió incrementar un tratamiento por la variación notable de resultados en comparación con la eficiencia de microencapsulación observada en los trabajos antes mencionados; además al momento de realizar la microencapsulación en cantidades mayores con el mejor tratamiento la emulsión presentó problemas de homogeneización como fue la separación de las fases y por ende no se logró microencapsular, finalmente en los análisis de oxidación del cereal con las microcápsulas del mejor tratamiento existieron valores bajos comparados con el cereal con linaza molida. Por las razones mencionadas se trabajó con un tratamiento adicional para lograr

obtener mejores resultados en cuanto a la eficiencia de microencapsulación y estabilidad oxidativa del cereal en estudio.

Para el nuevo tratamiento se empleó una carga de aceite de linaza de 30 %, la temperatura de secado de 150 °C, y con una velocidad de agitación de 24000 rpm El resultado de eficiencia de microencapsulación que se obtuvo fue de 59,19 %, porcentaje mayor a los obtenidos con los factores de estudio previamente establecidos, de tal manera se decidió seleccionar al nuevo tratamiento para posteriores ensayos de caracterización.

4.1.3 Caracterización físico-química de las microcápsulas del aceite de linaza

4.1.3.1 Análisis de humedad de las microcápsulas en función del tiempo

Para el análisis de humedad se trabajó con las microcápsulas que tuvieron mejor eficiencia de microencapsulación. Las microcápsulas de aceite de linaza se conservaron en bolsas plásticas y en un lugar seco a temperatura ambiente. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Figura 2.

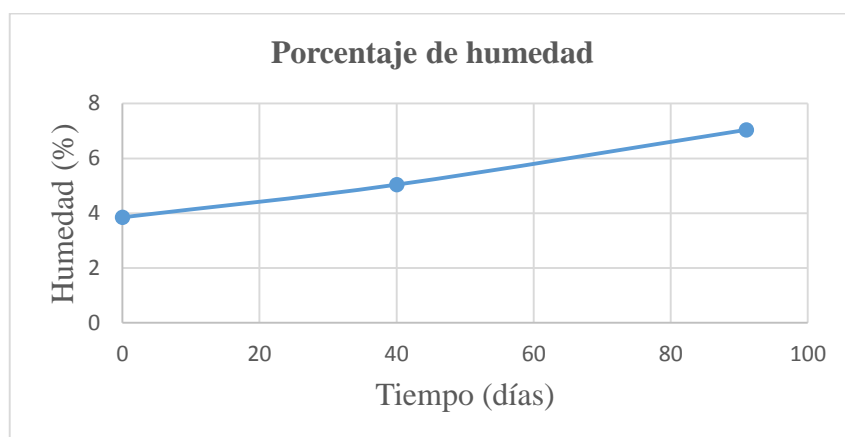


Figura 2. *Porcentaje de humedad de las microcápsulas en función del tiempo.*

Los resultados de la Figura 2 muestran un incremento en el contenido de humedad conforme transcurre el tiempo, puesto que los polvos absorben humedad del medio ambiente. (Cuéllar, 2008). La muestra presenta una humedad inicial promedio de 3,85 % y una humedad final promedio de 7,04 % después de 3 meses de almacenamiento a temperatura ambiente.

De acuerdo a la USP 35 para polvos de origen vegetal el límite señalado de humedad es hasta un 10 %, valor comparado con los datos obtenidos en este análisis, se puede garantizar que los porcentajes de humedad de las microcápsulas se encuentran por debajo de los límites requeridos.

4.1.3.2 Análisis del contenido de ácidos grasos

Mediante cromatografía de gases se cuantificó el contenido de ácidos grasos del aceite de linaza y las microcápsulas de aceite de linaza a 150 °C y 180 °C de temperatura de secado, los análisis estadísticos del contenido del ácido linoleico se presenta en la Figura 3.

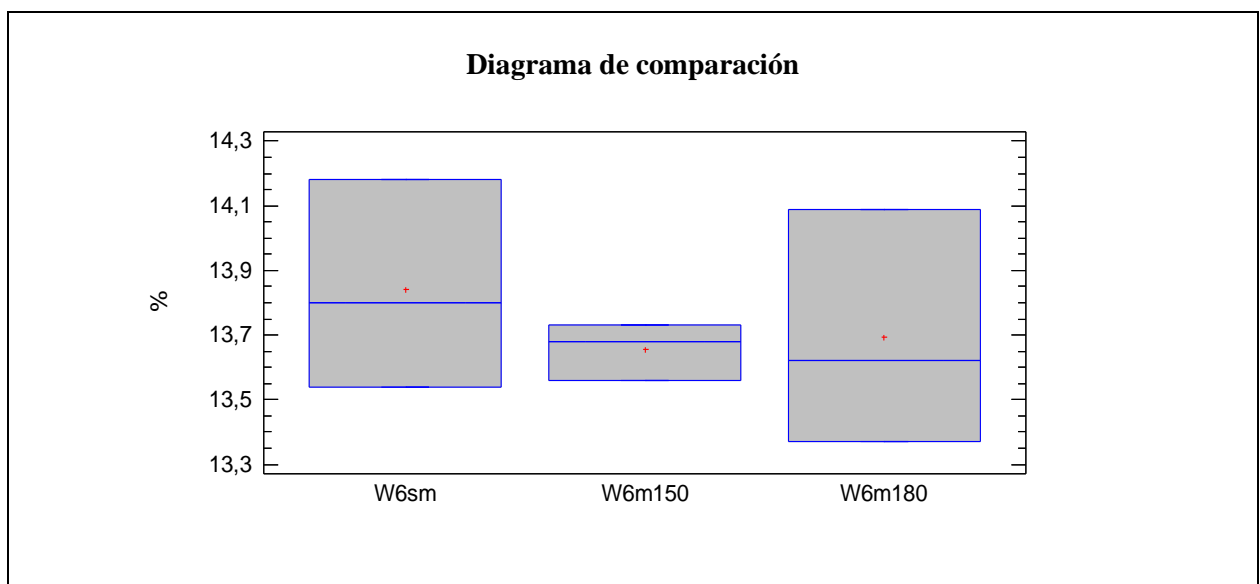


Figura 3. Análisis estadístico del contenido de ácido linoleico. (W6sm) ácido linoleico en el aceite sin microencapsular. (W6m150 °C) ácido linoleico en microcápsulas a 150 °C, (W6m180 °C) ácido linoleico en microcápsulas a 180 °C.

Como se observa en la Figura 3 no existen diferencias significativas (ANOVA 95 % confianza) entre los valores del contenido de ácido linoleico de las diferentes muestras.

Los valores del contenido de ácido linoleico en este estudio fueron alrededor de un 13 %, en comparación con otros trabajos las semillas de linaza canadiense revelaron un contenido de un 15 % de ácido linoleico. (DeClereq, 1996).

En otro trabajo sobre la composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3, se menciona que el contenido de ácido linoleico corresponde a un 16 %. (P. Jiménez, Masson, & Quitral, 2013). Se puede deducir que el porcentaje de ácido linoleico de este estudio se aproxima a los porcentajes que hacemos referencia.

Aplicando la cromatografía de gases se cuantificó el contenido de ácidos grasos del aceite de linaza y las microcápsulas de aceite de linaza a 150 °C y 180 °C de temperatura de secado, los análisis estadísticos del contenido del ácidos α -linolénico se muestra en la Figura 4.

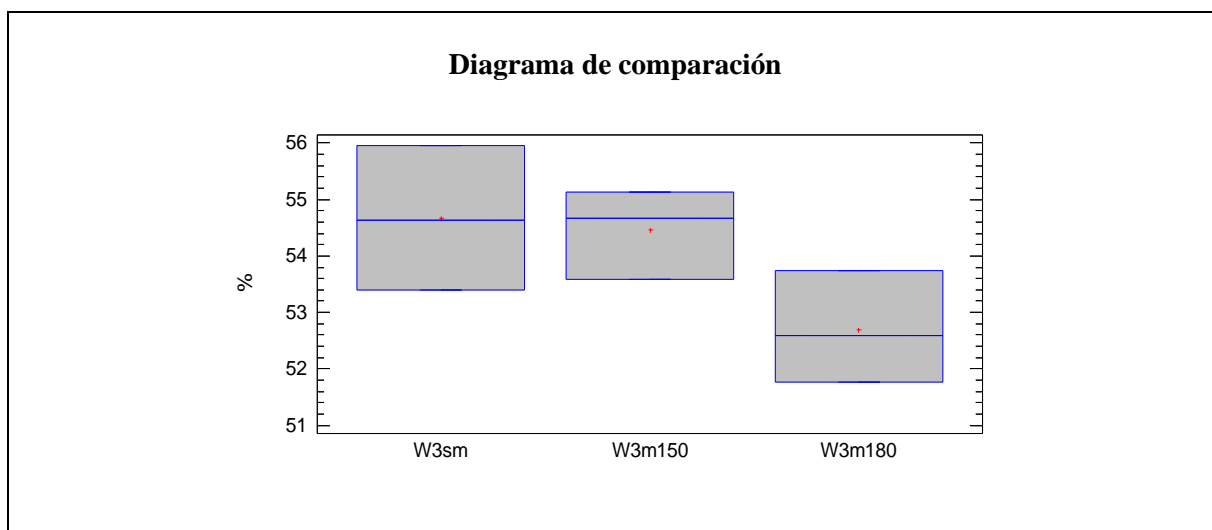


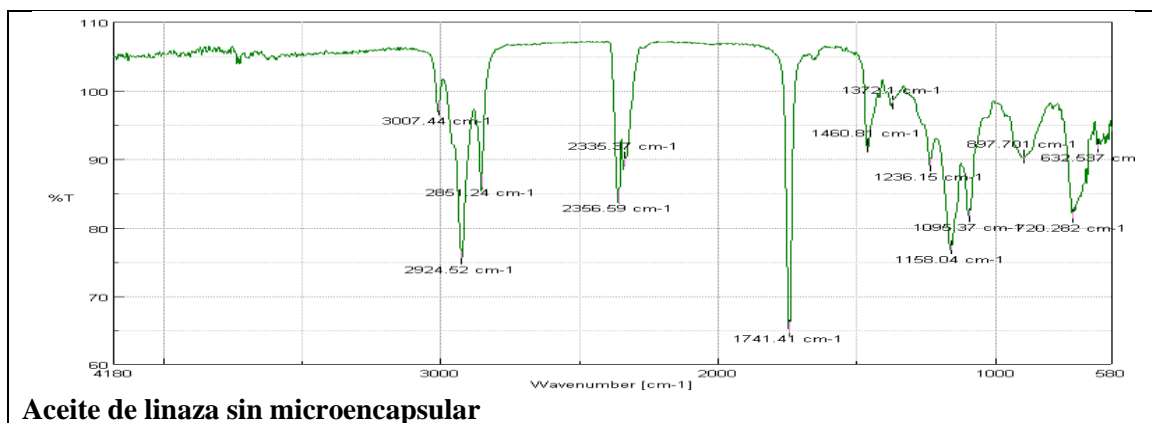
Figura 4. Análisis estadístico del contenido de ácido α -linolénico. (W3m150 °C) ácido α -linolénico en microcápsulas a 150 °C, (W3m180 °C) ácido α -linolénico en microcápsulas a 180 °C, (W3sm) ácido α -linolénico en aceite sin microencapsular

En los resultados de los análisis estadístico Figura 4, se puede observar que no existe diferencia significativa (ANOVA, 95 %) entre los grupos del ácido α -linolénico antes y después de la microencapsulación a diferentes temperaturas de secado (150 °C, 180 °C), sin embargo es inferior a 180 °C.

El porcentaje del ácido α -linolénico en el trabajo sobre la composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3, menciona que el contenido de ácido α -linolénico corresponde a un 55 %. (P. Jiménez, Masson, & Quitral, 2013). Resultado de un análisis de 495 muestras de semillas de linaza canadiense reportan un contenido de 59 % de ácido α -linolénico. (DeClereq, 1996). Los resultados del contenido de ácido α -linolénico en este estudio fueron entre 52 y 54 %, concluyendo que los porcentajes de este estudio se acercan a los datos que hacemos referencia.

4.1.3.3 Análisis de espectroscopía infrarroja

Fueron sometidas a análisis de espectroscopía infrarroja el aceite de linaza sin microencapsular y microencapsulado, la maltodextrina y la goma arábica. En la Figura 5 se muestran los espectros infrarrojos.



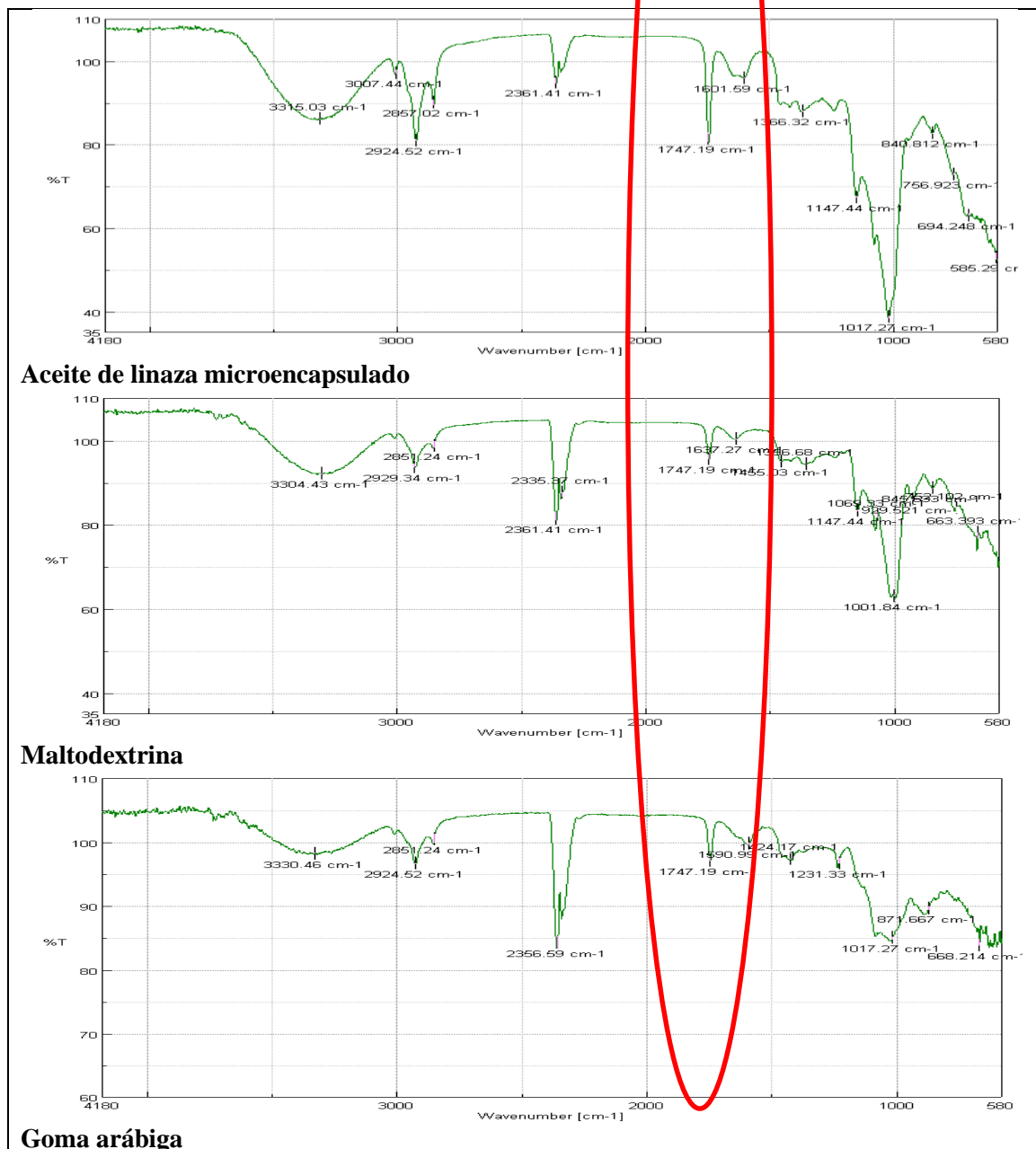


Figura 5. Comparación de los espectros infrarrojos.

Como se observa en la Figura 5 los intervalos de números de onda de los grupos funcionales (OH) de los ácidos grasos se encuentran entre $1710\text{--}1690\text{ cm}^{-1}$. Las bandas de los espectros infrarrojos en el aceite microencapsulado, la maltodextrina y la goma arábica se encuentran minimizadas en comparación con el espectro del aceite sin microencapsular, por lo que se concluye que los polímeros están enmascarando al aceite.

El espectro del aceite de linaza microencapsulado presenta una banda mayor en comparación con el espectro de la maltodextrina y la goma arábiga debido a que el porcentaje de eficiencia de microencapsulación fue de un 59,19 %, por lo tanto se puede concluir que conforme incrementa el porcentaje de eficiencia de encapsulación el pico del espectro del aceite de linaza microencapsulado se reducirá y será similar al de los polímeros.

4.1.4 Caracterización físico-química del cereal en estudio

Para la determinación de la vida útil se utilizó el equipo oxitest Velp Scientifica. Se trabajó a diferentes temperaturas (90, 100, 110 °C); con 0,6 MPa de presión, el peso de cada muestra fue de aproximadamente 36 g, se utilizaron dos tipos de muestras la primera correspondió al cereal con linaza molida y la segunda al cereal con microcápsulas y torta de linaza. Para obtener los datos se trabajó con una temperatura promedio de la sierra y la costa (20 °C, 25 °C) respectivamente. En la Figura 6 se muestra el análisis estadístico del tiempo de vida útil estimado del cereal en años.

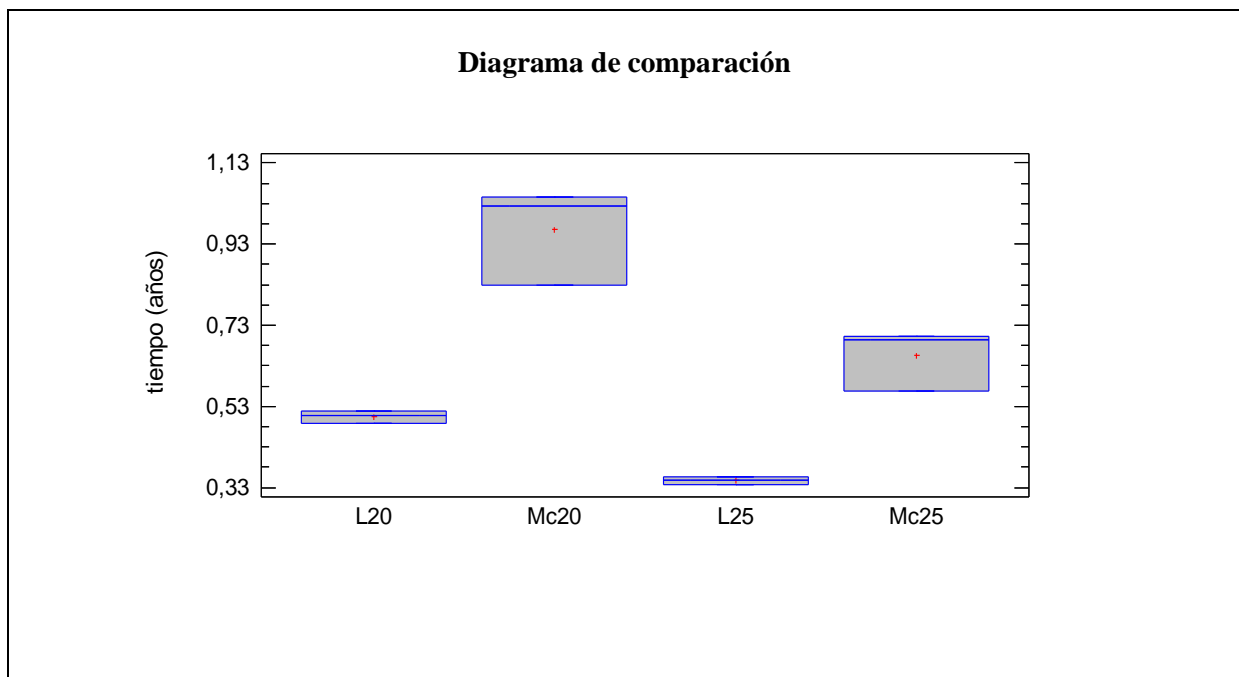


Figura 6. *Análisis estadístico del tiempo estimado de vida útil del cereal. (L20)Tiempo de vida útil de cereal con linaza molida a 20 °C, (Mc20) tiempo de vida útil de cereal con microcápsulas y torta de linaza a 20 °C, (L25) tiempo de vida útil de cereal con linaza molida a 25 °C, (Mc25) tiempo de vida útil de cereal con microcápsulas y torta de linaza a 25 °C.*

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza y prueba de rangos múltiples se puede observar la presencia de diferencias significativas para un 95 % de confianza. Por tal motivo el tiempo de vida útil estimado tanto para las muestras del cereal con linaza molida y el cereal con microcápsulas y torta de linaza varían notablemente. (Anexo E).

Además en la Figura 6 en el diagrama de comparación a 20°C (temperatura promedio de la sierra) el tiempo estimado de vida útil del cereal con microcápsulas y torta de linaza se duplica pasando de 6 meses a 12 meses. El mismo comportamiento tiene a 25 °C (temperatura promedio de la costa) logrando un tiempo de 8 meses en comparación a los 4 meses que se obtuvo en el cereal con linaza molida.

Con los resultados que se obtuvieron en este trabajo, en lo que respecta a la vida útil del cereal se determinó que las microcápsulas influyen positivamente en el producto. Siendo la microencapsulación una excelente alternativa para evitar la oxidación de los ácidos grasos, extendiendo el tiempo en percha e incluso facilitaría la exportación del cereal.

4.2 Verificación de hipótesis

4.2.1 Efecto de la temperatura de entrada y carga de aceite en la eficiencia del proceso de microencapsulación.

En el Anexo B se observó que la temperatura obtuvo un valor-P mayor que 0,05, indicando que no presenta diferencias significativas en el porcentaje de eficiencia de microencapsulación (ANOVA, 95 %), mientras que la carga y el efecto combinado entre los factores de temperatura y porcentaje de carga presenta un valor-P menor a 0,05, por lo tanto se acepta la hipótesis

alternativa y se establece que la carga de aceite de linaza afecta significativamente la eficiencia de microencapsulación.

4.2.2 Comparación de ácidos grasos del aceite de linaza antes y después del proceso de microencapsulación

El contenido de ácidos linoleico y α -linolénico del aceite de linaza sin microencapsular y microencapsulado con temperaturas de secado (150 °C y 180 °C) a un nivel de confianza del 95 % (Anexo C y D) no presenta cambios significativos después del proceso de microencapsulación. Por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se concluye que el aceite de linaza sin microencapsular y microencapsulado a 150 °C y 180 °C no presenta diferencia significativa en el contenido de ácidos grasos después del proceso de microencapsulación.

4.2.3 Comparación de vida útil entre el cereal con linaza molida y cereal con microcápsulas

Los resultados del tiempo estimado de vida útil del cereal con linaza molida y el cereal con microcápsulas y torta de linaza, mediante una prueba de múltiples rangos, muestran que para un 95 % de confianza (Anexo E), no existe homogeneidad en los grupos. Por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa y se establece que las microcápsulas de aceite de linaza influyen en la vida útil del cereal en estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- De las semillas de linaza se extrajo un 32 % de aceite, un 64 % de torta y el 4 % restante perteneció a pérdidas durante el proceso.
- Se microencapsuló aceite de linaza mediante secado por aspersión, obteniendo una eficiencia de microencapsulación de 59,19 % empleando un sistema de goma arábica-maltodextrina con relación 1:1. Se determinó que la temperatura de entrada en el secado por aspersión (150 °C, 180 °C) no altera el contenido de ácidos linoleico y α -linolénico.
- De las cargas estudiadas se determinó que el 30 % es la mejor para microencapsular aceite de linaza.
- La caracterización del aceite de linaza microencapsulado presentó una humedad por debajo del 10 % por un período de 3 meses. Mediante cromatografía de gases se determinó que el contenido de ácidos grasos no sufre modificación después del proceso de microencapsulación, estos resultados fueron corroborados por espectroscopia infrarroja donde se comprueba que el aceite de linaza se encuentra en el interior de las microcápsulas.
- Se sustituyó el porcentaje de linaza molida del cereal instantáneo Mycucayo por microcápsulas de aceite de linaza del mejor tratamiento y la torta; dichas muestras se sometieron a análisis de estabilidad oxidativa, y se consiguió duplicar el tiempo de vida actual pasando de 6 meses a 12 meses en la región sierra y de 4 a 8 meses en la región costa.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda estudiar el uso de las microcápsulas de aceite de linaza en otras matrices alimenticias para determinar el aporte nutricional en los productos.
- Realizar estudios de caracterización referente a análisis microbiológicos de las microcápsulas de aceite de linaza.
- Elaborar análisis sensoriales de productos enriquecidos con microcápsulas de aceite de linaza.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos Informativos

6.1.1 Título de la propuesta

Formulación de mezclas de cereal instantáneo Mycucayo con microcápsulas de aceite de linaza.

6.1.2 Institución Ejecutora

La propuesta se desarrollará en la empresa de cereales Mycucayo.

6.1.3 Beneficiarios

Los principales beneficiarios de la propuesta son los clientes y empleados de la empresa Mycucayo.

6.1.4 Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Ambato, ciudadela España, calles Murcia 01-154 y Barcelona

6.1.5 Tiempo estimado para la ejecución

Inicio: Mayo 2018, Finalización: Noviembre 2018

6.1.6 Equipo Técnico Responsable

Gerencia y operarios del departamento de producción de la empresa de cereales Mycucayo.

6.1.7 Costo de la propuesta

El costo de la propuesta aproximado es de \$1000.

6.2 Antecedentes de la propuesta

Éste trabajo toma como antecedentes investigativos los que se detalla a continuación:

En el trabajo “Microencapsulación de aceite vegetal rico en ácidos grasos ω -3 para el desarrollo de alimentos funcionales”. Uno de los objetivos fue utilizar microencapsulas de aceite de lino para el desarrollo de un alimento funcional de consumo masivo, como el pan. Las microcápsulas más resistentes a la oxidación fueron seleccionadas para incorporar al proceso de panificación. Sin embargo se produjo una marcada reducción del contenido de ALA. (Guida et al., 2013).

En el trabajo “Desarrollo y optimización de microcápsulas de ácidos grasos poliinsaturados mediante spray-drying. Efecto de su incorporación sobre las características de calidad de precocinados cárnicos”. Uno de sus objetivos fue: Elaborar nuggets de pollo enriquecidos con las microcápsulas de aceite de pescado. Los nuggets de pollo con microcápsulas mostraron un mayor contenido de EPA y DHA y menores niveles de oxidación lipídica comparado con los nuggets mediante adición directa de aceite de pescado. (E. Jiménez, 2016).

6.3 Justificación

En los últimos años las aplicaciones de la microencapsulación han tenido un incremento significativo en la industria alimenticia. Esta técnica ejercerá un papel importante en un futuro; algunos investigadores están examinando nuevos ingredientes con posibles beneficios saludables. (Parra, 2010).

La microencapsulación es una técnica efectiva de protección de los ácidos grasos frente a la oxidación, pudiendo ser utilizadas las microcápsulas de aceite linaza como una forma estable de almacenamiento de los ácidos grasos de la linaza; se facilitaría la aplicación en diferentes matrices alimenticias; al consumir las microcápsulas de aceite de linaza ricas en ácido graso omega 3 se contribuirá a corregir deficiencias nutricionales y a la prevención de enfermedades determinadas.

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo General

Formular mezclas de cereal instantáneo Mycucayo con microcápsulas de aceite de linaza.

6.4.2 Objetivos Específicos

- Evaluar el efecto sobre el tiempo de vida útil de la microcápsulas de aceite de linaza en el cereal instantáneo Mycucayo a escala de planta piloto.
- Evaluar las modificaciones en los parámetros físico químico y sensorial con el producto adicionado microcápsulas producidas en condiciones de planta piloto.
- Realizar una evaluación costo beneficio de la adición de las microcápsulas en la matriz de cereales Mycucayo.

6.5 Análisis de factibilidad

El proyecto de investigación es de tipo tecnológico, porque se puede incrementar la microencapsulación como una tecnología para conservación de ácidos grasos y posterior uso de las microcápsulas en diferentes matrices alimentarias. Además es de tipo sociológico porque brinda un aporte de información que podría ser utilizada por industrias de alimentos.

Tabla 3
Costos de investigación

Concepto	Valor (USD)
Materia Prima	130
Producción	50
Subtotal	180
Imprevistos (10%)	18
Total	198

6.6 Fundamentación

El objetivo de la microencapsulación aplicada en alimentos es preparar productos funcionales, se debe considerar que la adición de microcápsulas, no puede interceptar con la textura ni sabor original del alimento (de Vos et al., 2010). Existen diferentes aplicaciones de microencapsulación empleando diferentes principios activos; entre ellos se encuentra los ácidos grasos. (Sanguansri y Augustin, 2010).

Las aplicaciones de esta técnica en el área de alimentos se han ido ampliando como consecuencia de la protección de los materiales encapsulados de factores como calor y humedad, brindando el mantenimiento de estabilidad y viabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los materiales alimenticios utilizados resistan las condiciones de procesamiento y empaquete optimizando sabor, aroma, valor nutritivo, estabilidad y apariencia de sus productos (Yañez et al., 2002; Montes, De Paula y Ortega, 2007).

En este estudio los encapsulantes utilizados para la formación de las emulsiones fueron maltodextrina y goma arábiga en relación 1:1. De acuerdo a los resultados de eficiencia de encapsulación, se observa que el tratamiento T4 generó mejores resultados, correspondiente al 50% de carga de aceite y 180 °C la temperatura de entrada para el secado por aspersión.

El tiempo de vida útil por medio del análisis de oxidación lipídica. Como se puede observar en la Figura 6, permite conocer que existen diferencias entre el cereal con linaza molida y el cereal adicionado microcápsulas de aceite de linaza, generando así una alternativa para incrementar la estabilidad del cereal instantáneo en estudio.

6.7 Metodología, Modelo operativo

A continuación se presenta la Tabla 4 de modelo operativo:

Tabla 4
Modelo Operativo (Plan de Acción)

Fases	Metas	Actividades	Responsables	Recursos	Presupuesto (USD)	Tiempo (meses)
Formulación de la propuesta	Evaluar la adición de microcápsulas	Revisión bibliográfica	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	150	1
Desarrollo previo de la propuesta	Calendario de la propuesta	Pruebas preliminares	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	300	1
Ejecución de la propuesta	Implementar la propuesta	Determinación de adición de microcápsulas	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	800	2
Evaluación de la propuesta	Comprobación del proceso	Evaluación de resultados	Investigador	Humanos Técnicos Económicos	400	2

6.8 Administración

Las actividades se resumen en la Tabla 5 a continuación:

Tabla 5
Administración del proyecto

Actividad	Finalidad	Costo de implementación	Responsable
Capacitación al personal	Dar a conocer los cambios y beneficios de las microcápsulas	Recursos internos de la empresa	Jefe de producción
Preparación del cereal	Adicionar las microcápsulas a la formulación del cereal	Recursos internos de la empresa	Jefe de producción
Análisis físico químico y sensorial	Controlar y verificar la oxidación lipídica y parámetros sensoriales	Recursos internos de la empresa	Jefe de producción
Evaluación costo beneficio	Determinar el costo final del producto	Recursos internos de la empresa	Jefe de producción

6.9 Previsión de la evaluación

En la Tabla 6 se presenta la previsión de la evaluación:

Tabla 6
Previsión de la evaluación

Preguntas básicas	Explicación
¿Quiénes solicitan evaluar?	Empresa de cereales Mycucayo
¿Por qué evaluar	Implementar una nueva tecnología para la conservación de ácidos grasos.
¿Para qué evaluar?	Conservación de ácidos grasos y retardar la oxidación lipídica
¿Qué evaluar?	Resultados obtenidos
¿Quién evalúa?	Departamento de producción
¿Cuándo evaluar?	Antes y después del proceso de elaboración del cereal
¿Con qué evaluar?	Paquete estadístico

BIBLIOGRAFÍA

- Albán, G. (2015). Extracción mecánica y nanoencapsulación del aceite de juglans neotropica mediante spray-drying. *Infoplac.Net*, 2–145. Retrieved from http://www.infoplac.net/files/descargas/schneider/infoplac_net_18t00436.pdf
- Azcona, Á. C. (2013). *Manual de Nutrición y Dietética*, 1–367.
- Banco Mundial. (2017). Producción de cereales (toneladas métricas). Retrieved November 11, 2017, from <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.PRD.CREL.MT>
- Carrero, J., Bautista, E., Baró, L., Fonollá, J., Jiménez, J., Boza, J., & López, E. (2005). Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega 3 y sus alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición Hospitalaria*, 20(1), 63–69. Retrieved from http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112005000100010
- Ferré, J. (2011). *El diseño factorial completo 2^k*. Universidad Rovira I Virgili (Tarragona), 10.
- Figuerola Fernando, M. O. y E. A. M. (2008). La Linaza Como Fuente De Compuestos Bioactivos, 36(2), 49–58.
- Giraldo, G. I. (1999). *Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos*.
- Guida, L., Martínez, V., López, M. C., Blasco, R. (i)., Hermida, L., & Gallardo, G. (2013). Microencapsulación de aceite vegetal rico en ácidos grasos ω-3 para el desarrollo de

alimentos funcionales., (i). Retrieved from
<https://www.inti.gob.ar/tecnointi2013/CD/info/pdf/592.pdf>

Harwood, J. (1989). Gas chromatography and lipids: A practical guide: Phytochemistry (Vol. 28). [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(89\)80324-3](https://doi.org/10.1016/0031-9422(89)80324-3)

Jiménez, E. (2016). Desarrollo y optimización de microcápsulas de ácidos grasos poliinsaturados mediante spray-drying. Efecto de su incorporación sobre las características de calidad de precocinados cárnicos.

Jiménez, P., Masson, L., & Quitral, V. (2013). Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(2), 155–160. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182013000200010>

López, O., Nuñez, Y., & Mayo, O. (2018). Aumento de la biodisponibilidad de lípidos mediante microencapsulación. Editorial Académica Española.

Parra, R. (2010). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Revista de La Facultad Nacional de Agronomía*, 63(2), 5669–5684. <https://doi.org/0304-2847>

Pastuña, A. (2016). Microencapsulación de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersion.

Rendón, G., Báez, J., Alanís, M., Vernon, E., & Regalado, A. (2010). Estabilidad oxidativa de aceite de linaza microencapsulado con multicapas de biopolimeros. *Memorias Del XXXI Encuentro Nacional de La AMIDIQ, (Ic)*, 2003–2008.

Rodríguez, M., Tovar, A., Prado, M., Torres, N., & Torres, N. (2005). Mecanismos

moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud. *Revista de Investigación Clínica*, 57(3), 457–472. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0034-83762005000300010&script=sci_arttext&tlng=en

Shurvell, H. F. (2006). Spectra- Structure Correlations in the Mid- and Far-Infrared. *Handbook of Vibrational Spectroscopy*, 3, 1783–1816. <https://doi.org/10.1002/0470027320.s4101>

ANEXOS

Anexo A: Obtención de ésteres metílicos de los materiales grasos

Materiales

- Balanza analítica
- Pinzas
- Pipetas Volumétricas
- Pipeta Automática de 100-100 μL
- Gradilla
- Cronometro
- Tubos bacteriológicos de xx ml con tapa
- Vasos de precipitación
- Probeta de 10 y 25 ml

Reactivos

- Solución de Hidróxido de potasio 0,5 M en Metanol
- Solución de Ácido clorhídrico-metanol (1:4 v/v)
- Hexano grado cromatógrafo o diclorohexano (si se desea saber si existe en la muestra ácidos grasos con menos de 6 átomos de C.)
- Agua destilada ultra pura
- Estándares de ácidos grasos

Obtención de ésteres metílicos de los materiales grasos

- En un tubo con tapa rosca de 20 ml, pesar entre 0,020 a 0,025 de grasas o aceites comerciales o de gras o aceite extraído del alimento.
- Adicionar 2 ml de la solución metanólica de KOH 0,5 M, realizar la reacción en un baño María a ebullición, durante 10 minutos y después dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Añadir 1 ml de solución metanólica de HCl. Colocar el tubo en el baño María a 50 °C, durante 25 min y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Añadir 3 ml de agua destilada y agitar
- Para extraer los esteres metílicos de los ácidos grasos, colocar 10 ml de hexano grado cromatográfico y agitar durante 10 segundos.
- Extraer 1 ml del extracto de hexano en un vial cromatográfico, para su posterior separación en el cromatógrafo de gases.

Anexo B: Análisis estadístico de la eficiencia de microencapsulación.

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Te	0,437008	1	0,437008	0,04	0,8462
B:Carga	122,816	1	122,816	11,53	0,0146
AB	157,905	1	157,905	14,82	0,0085
bloques	7,32995	2	3,66497	0,34	0,7220
Error total	63,9236	6	10,6539		
Total (corr.)	352,412	11			

R-cuadrada = 81,8611 %

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar eficiencia de microencapsulación

Valor óptimo = 47,27

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Te	150,0	180,0	180,0
Carga	40,0	50,0	50,0

Anexo C: Análisis estadístico del contenido de ácido linoleico

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0564667	2	0,0282333	0,35	0,7208
Intra grupos	0,489733	6	0,0816222		
Total (Corr.)	0,5462	8			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
W6m150	3	13,6567	X
W6m180	3	13,6933	X
W6sm	3	13,84	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
W6sm - W6m150		0,183333	0,570792
W6sm - W6m180		0,146667	0,570792
W6m150 - W6m180		-0,0366667	0,570792

* indica una diferencia significativa.

Anexo D: Análisis estadístico del contenido de ácido α -linolénico.

Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7,01447	2	3,50723	3,25	0,1107
Intra grupos	6,47973	6	1,07996		
Total (Corr.)	13,4942	8			

Pruebas de Múltiple Rangos

Método: 95,0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
W3m180	3	52,6967	X
W3m150	3	54,4633	X
W3sm	3	54,66	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
W3sm - W3m150		0,196667	2,07624
W3sm - W3m180		1,96333	2,07624
W3m150 - W3m180		1,76667	2,07624

* indica una diferencia significativa.

Anexo E: Análisis estadístico del tiempo estimado de vida útil del cereal.

Análisis de varianza					
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0,625886	3	0,208629	41,08	0,0000
Intra grupos	0,0406325	8	0,00507906		
Total (Corr.)	0,666519	11			

Pruebas de Múltiple Rangos

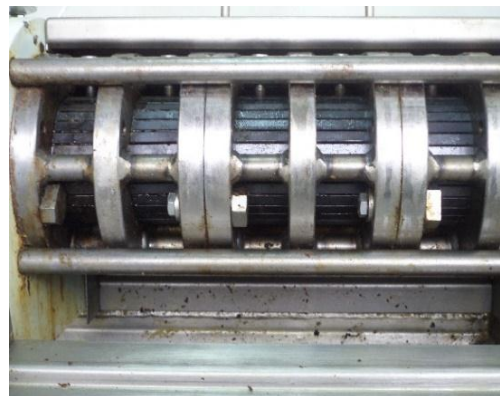
Método: 95,0 porcentaje Duncan

	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
L25	3	0,347533	X
L20	3	0,5044	X
Mc25	3	0,654767	X
Mc20	3	0,966167	X

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>
L20 - Mc20	*	-0,461767
L20 - L25	*	0,156867
L20 - Mc25	*	-0,150367
Mc20 - L25	*	0,618633
Mc20 - Mc25	*	0,3114
L25 - Mc25	*	-0,307233

* indica una diferencia significativa.

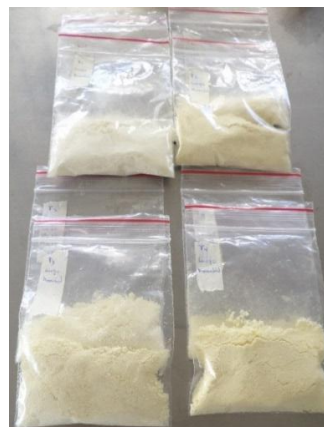
Anexo F: Fotografías de extracción de aceite de linaza.



Anexo G: Fotografías de preparación de emulsiones.



Anexo H: Fotografías de secado por aspersion.



Anexo I: Fotografías de determinación de humedad.



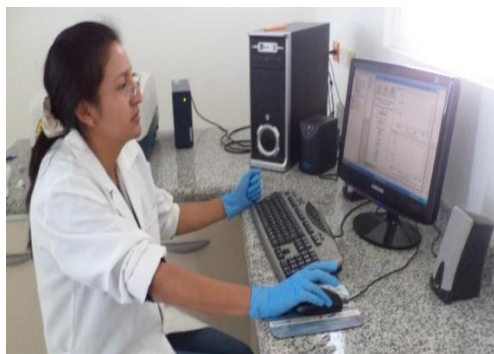
Anexo J: Fotografías de preparación de ésteres metílicos.



Anexo K: Fotografías de determinación cromatográfica.



Anexo L: Fotografías de análisis de espectroscopía infrarroja.



Anexo M: Fotografías de preparación del cereal.



Anexo N: Fotografías de determinación de oxidación de cereal.

