



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE QUÍMICO
FARMACOBIOLOGÍA**

**“DESARROLLO, VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TÉCNICAS DE
ESTUDIOS DE VIDA DE ANAQUEL ACELERADA ESPECÍFICAMENTE PARA
PRODUCTOS LIOFILIZADOS CON ALTO CONTENIDO DE LÍPIDOS”.**

TESIS

que como requisito para obtener el título de

QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

Mariana Escarlette Barajas Betancourt

ASESOR DE TESIS:

D.C. Héctor Eduardo Martínez Flores

**Tesis apoyada por el Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación
(CECTI) del estado de Michoacán**

MORELIA MICHOACÁN, AGOSTO 2016

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas las bendiciones que me da en el día a día, por permitirme estar aquí y ahora para alcanzar una meta tan importante en mi vida.

A mis padres, a quienes amo profundamente y agradezco por ser mi motor para salir adelante y mi mayor apoyo, por confiar en mis capacidades y por todo el esfuerzo que han hecho para que yo pueda sacar adelante mis estudios universitarios, gracias por su amor incondicional y por la hermosa familia que me han dado. A mis hermanos por su amor, por siempre recordarme la importancia de estar unidos como familia y por permitirme conocer un cariño tan grande como es el que siento por mis sobrinos. A mis tías y mi padrino, por ser una motivación tan importante y por ese amor tan grande que me expresan siempre.

A mis amigas: Jazmin, Xitlaly, Xóchitl, Adriana, Karla y Maritza. Por su amistad sincera, por hacer los ratos libres en la facultad tan divertidos con nuestras conversaciones interminables. Gracias por las risas, las pijamadas inolvidables y sobre todo por estar ahí también en situaciones difíciles.

A ti Humberto, por compartir esta gran alegría conmigo, por sin condiciones brindarme tu apoyo, por darle felicidad a mis días, y lo más importante, por tu amor y palabras de aliento cuando sentía que no podía.

Al laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos de la facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH, donde tuve el honor de realizar mi proyecto de tesis.

A mi asesor de tesis el D.C. Héctor, a quien admiro y respeto por su perseverancia, éxito y sobre todo por ser una gran persona. Gracias por la confianza dada para la realización de este proyecto así como su respaldo y dedicación en cada momento.

A la M.C. Eunice Tranquilino Rodríguez, por su paciencia para transmitirme sus conocimientos en la materia y por apoyarme en mi trabajo de tesis cada vez que lo necesitaba.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

A mis compañeros del laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos: Jazmin, Xitlaly, Eunice, Gustavo, Esther, Eréndira, Julio Cesar y Christina. Gracias por hacer amenas esas tardes de trabajo en el laboratorio, por su ayuda y su grata compañía.

A mis sinodales: D.C. José Octavio Rodiles López, M.C Eunice Traquilino Rodríguez, M.C. Rosa María García Martínez, M.C. Diana Cecilia Maya Cortés y el M.C. Rafael Zamora Vega. Gracias por sentir esa vocación de enseñanza, por sus observaciones para éste trabajo y por su tiempo, porque sin ustedes no hubiera sido posible entregarlo en excelencia.

A la fábrica SíoSí Alimentos, por su iniciativa de vinculación de la Industria privada con la investigación y su confianza para la realización de este proyecto.

CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.....	I
CONTENIDO	1
ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
LISTA DE ABREVIATURAS.....	6
RESUMEN	8
ABSTRACT.....	9
I. MARCO TEÓRICO	10
1. AGUACATE	10
1.1. Importancia del aguacate en Michoacán y México	10
1.2. Propiedades nutricionales del aguacate	12
1.3. Industrialización del aguacate.....	16
2. LIOFILIZACIÓN	18
2.1. Proceso de liofilización y sus etapas.....	18
2.2. Ventajas y desventajas del proceso de liofilización.....	19
2.3. Liofilización del aguacate y del guacamole.....	20
3. ENVASADO	22
3.1. Atmósferas modificadas	22
3.2. Relación del oxígeno con la alteración de los alimentos	24
3.3. Utilización del nitrógeno en la tecnología de atmósfera modificada.....	25
3.4. Utilización de absorbedores de oxígeno para conservación de alimentos.....	26
4. VIDA DE ANAQUEL.....	29
4.1. Cambios ocurridos durante la vida de anaquel	29
4.2. Factores que afectan la vida útil de un producto	33

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

4.3. Estimación de la vida de anaquel.....	34
4.4. Vida de anaquel acelerada	36
4.5. Análisis sensorial como herramienta en estudios de vida de anaquel	39
II. JUSTIFICACIÓN	41
III. OBJETIVOS	42
1. OBJETIVO GENERAL.....	42
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	42
IV. HIPÓTESIS	43
V. MATERIALES Y MÉTODOS	44
1. LOCALIZACIÓN.....	44
2. MATERIA PRIMA.....	44
3. METODOLOGÍA	44
3.1. Vida de anaquel	44
3.2. Productos a evaluar	45
3.3. Análisis sensorial	46
3.4. Análisis fisicoquímicos.....	47
3.5. Análisis microbiológicos	50
3.6. Análisis estadístico	51
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
1. ANÁLISIS SENSORIAL	52
1.1. Aceptación general	52
1.2. Análisis sensorial. Color	57
1.3. Análisis sensorial. Olor.....	58
1.4. Análisis sensorial. Sabor.....	59
1.5. Análisis sensorial. Textura.....	61
2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	63
2.1. Determinación de pH.....	63
2.2. Determinación de porcentaje de acidez	65
2.3. Determinación de índice de peróxidos.....	67

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

2.4. Determinación de rancidez oxidativa	68
2.5. Determinación de humedad	69
2.6. Determinación de actividad de agua	70
2.7. Determinación de humectabilidad	71
3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	74
4. TRANSFERENCIA DE TÉCNICAS A SÍOSÍ ALIMENTOS	76
5. VALORES DE REFERENCIA DE LOS DIFERENTES ANÁLISIS EVALUADOS.....	77
VII. CONCLUSIONES	78
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	79

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de la pasta de aguacate (100 g).....	12
Tabla 2. Perfil Cromatográfico del aceite de aguacate.....	13
Tabla 3. Minerales presentes en 100 g de pulpa de aguacate.....	15
Tabla 4. Valor vitamínico y aporte nutricional del aguacate (Tovar, 2003).	16
Tabla 5. Aplicaciones del aguacate liofilizado en la industria (Sí o Sí alimentos SAPI de CV, 2014).	21
Tabla 6. Aplicaciones del guacamole liofilizado.....	22
Tabla 7. Principales ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas para la conservación de alimentos.....	23
Tabla 8. Necesidades de oxígeno de algunos microorganismos patógenos y alterantes de los alimentos.....	25
Tabla 9. Ventajas y desventajas del uso de nitrógeno en atmósferas modificadas.	26
Tabla 10. Absorbedores de oxígeno comerciales.	28
Tabla 11. Clasificación de métodos de prueba en evaluación sensorial.....	40
Tabla 12. Escala hedónica empleada en análisis sensorial.....	46
Tabla 13. Vida de anaquel del producto 1 empacado en diferentes atmósferas.....	54
Tabla 14. Vida de anaquel de producto 2 empacado en diferentes atmósferas.....	57
Tabla 15. Comparación de pH inicial y final de la vida de anaquel.....	64
Tabla 16. Comparación de % acidez inicial y final de la vida de anaquel.....	66
Tabla 17. Rancidez oxidativa inicial y final de la vida de anaquel.....	69
Tabla 18. Actividad de agua inicial y final de los diferentes productos.....	71
Tabla 19. Humectabilidad inicial y final de la vida de anaquel.....	73
Tabla 20. Análisis microbiológico inicial y final de la vida de anaquel.....	75
Tabla 21. Valores de referencia usados para las pruebas de vida de anaquel acelerada.....	77

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de la producción de aguacate en México a nivel estatal.	11
Figura 2. Aminoácidos en mg en pulpa de aguacate fresca (100 g).....	14
Figura 3. Pasos del Proceso de Liofilización.....	19
Figura 4. Formación de furfural a partir de la vitamina C.....	30
Figura 5. Oxidación de los derivados catecol para dar o-quinonas.	31
Figura 6. Procedimiento para el diseño de la vida de anaquel.	36
Figura 7. Materia prima a evaluar.	44
Figura 8. Empaque utilizado.....	46
Figura 9. Extracción de aceite.	48
Figura 10. Determinación de índice de peróxidos.....	49
Figura 11. Aceptación del producto AGC.....	52
Figura 12. Aceptación del producto AGO.....	53
Figura 13. Aceptación general del producto AGN.....	53
Figura 14. Aceptación general del producto GUC.....	55
Figura 15. Aceptación general del producto GUO.....	55
Figura 16. Aceptación general del producto GUN.....	56
Figura 17. Aceptación Color. Producto 1 y 2 Liofilizado.....	58
Figura 18. Aceptación Olor. Producto 1 y 2 Liofilizados.	59
Figura 19. Aceptación Sabor. Producto 1 y 2 Liofilizado.....	60
Figura 20. Aceptación Textura. Producto 1 y 2 Liofilizado.....	62
Figura 21. Variación de pH durante la vida de anaquel.	64
Figura 22. Variación de % de acidez durante la vida de anaquel.....	66
Figura 23 Variación de índice de peróxidos durante la vida de anaquel.....	68
Figura 24. Variación de % de humedad durante la vida de anaquel.	70
Figura 25. Variación de la humectabilidad durante la vida de anaquel.....	73

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

LISTA DE ABREVIATURAS

AGC: producto 1 liofilizado con empaque convencional

AGN: producto 1 liofilizado con atmósfera de nitrógeno

AGO: producto 1 liofilizado con absorbedor de oxígeno

AM: atmósferas modificadas

atm: atmósfera

Aw: actividad de agua

b.h.: base húmeda

cc: centímetros cúbicos

CO₂: dióxido de carbono

EVOH: copolímero de etileno y alcohol vinílico

g: gramos

GUC: producto 2 liofilizado con empaque convencional

GUO: producto 2 liofilizado con absorbedor de oxígeno

GUO: producto 2 liofilizado con atmosfera de nitrógeno

h: hora

ha: hectáreas

IP: índice de peróxidos

IDR: ingesta diaria recomendada

IPN: Instituto Politécnico Nacional

Kcal: kilocalorías

KI: yoduro de potasio

Km²: kilómetros cuadrados

L: litro

mdp: millones de pesos

meq: miliequivalentes químicos

mg: miligramo

min: minuto

ml: mililitro

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

mm: milímetro

mt: toneladas métricas

N₂: nitrógeno

NaOH: hidróxido de sodio

NMX: Norma Mexicana

NOM: Norma Oficial Mexicana

O₂: oxígeno

Oz: onza

pH: potencial de hidrógeno

PPO: enzima polifenoloxidasas

PVDC: cloruro de polivinilideno

R²: coeficiente de correlación

s: segundos

UFC: unidades formadoras de colonias

° C: grados centígrados

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

RESUMEN

El cultivo de aguacate es de gran importancia económica para México, pues a nivel mundial es reconocido como el primer país productor. Dado que este fruto presenta una actividad respiratoria considerable después de recolectado, su almacenamiento por periodos largos se hace difícil porque esta característica conlleva a un aumento en la actividad microbiana, así como la pérdida de agua contenida en el fruto, por lo que la industria alimentaria se ha visto en la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que permitan la conservación del aguacate y una de ellas es la liofilización, que se basa en la extracción de agua de un alimento por sublimación. Esta tecnología prolonga la vida de anaquel del fruto. Por otra parte el cálculo de la vida de anaquel acelerada es una herramienta útil para disminuir el tiempo dedicado a los ensayos de estimación cuando los productos no son perecederos y se basa en someter el producto a condiciones de almacenamiento abusivas que aceleren las reacciones de deterioro. Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar y validar las técnicas de vida de anaquel acelerada de dos productos liofilizados con alto contenido de lípidos, elaborados por la empresa Sí o Sí SAPI de CV, usando una temperatura de 55° C; así como efectuar la transferencia de tecnología a la empresa y evaluar la influencia de los diferentes empaques en la conservación de los productos. Se realizaron las pruebas con tres modelos de envasado: Empaque laminado con atmósfera convencional utilizada por la empresa; empaque laminado con absorbentes de oxígeno basados en sílica y empaque laminado con atmósfera con nitrógeno. Con el fin de mantener el secreto industrial los productos se denominaron: AGN (Producto 1 liofilizado con atmósfera de nitrógeno), AGO (producto 1 liofilizado con absorbedor de oxígeno) y AGC (producto 1 liofilizado con atmósfera convencional), así como GUN (producto 2 liofilizado con atmósfera de nitrógeno), GUO (producto 2 liofilizado con absorbedor de oxígeno) y GUC (producto 2 liofilizado con atmósfera convencional). La vida de anaquel se determinó basados en pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales por medio del concepto Q10. Se encontró que los dos productos empacados con atmósfera de nitrógeno presentaron los mejores resultados tanto en cualidades sensoriales, fisicoquímicas y en cuentas microbiológicas, ya que ésta atmósfera disminuyó en gran medida las reacciones de deterioro incrementando la vida de anaquel de ambos productos, siendo aproximadamente de 10.1 meses para el producto 1 liofilizado denominado AGN y de 10.3 meses para el producto 2 liofilizado denominado GUN. En el empaque con absorbentes de oxígeno este tipo de tecnología sólo fue favorable en el producto 2 liofilizado con absorbentes de oxígeno GUO con una vida de anaquel de 7.6 meses, ya que el producto AGO presentó un valor de vida de anaquel de 3 meses. El empaque convencional presentó una vida de anaquel poco favorable en ambos productos, siendo de 6 meses para el producto 2 liofilizado GUC y de 3.9 meses para el producto 1 liofilizado AGC.

Palabras clave: Productos liofilizados, vida de anaquel, atmósfera de nitrógeno, empaque convencional, absorbedor de oxígeno.

ABSTRACT

Avocado cultivation is of great economic importance to Mexico because it is globally recognized as the leading producer country. Since this fruit has considerable respiratory activity after gathered, stored for long periods is difficult because this feature leads to an increase in microbial activity, and loss of water contained in the fruit, therefore the food industry has seen the need to develop new technologies for the conservation of avocado and one of them is freeze drying, which is based on the extraction of water from a food by sublimation. This technology extends the shelf life of the fruit. Moreover, the calculation of accelerated shelf life is a useful tool to reduce the time spent in estimation tests when the products are not perishable and is based on subjecting the product to abusive conditions of storage to accelerate the reactions of deterioration. The aim of this study was to determine and validate techniques of accelerated shelf life of two freeze dried products high in fat, made by the company Sí o Sí SAPI de CV, using a temperature of 55 ° C; and effecting the transfer of technology to the company and to evaluate the influence of different packaging in conserving products. Tests were performed with three models of packaging: laminated packaging with conventional atmosphere used by the company; laminated packaging with oxygen absorber silica based and laminated packaging with nitrogen atmosphere. In order to keep the industrial secret products were called: AGN (freeze-dried product 1 with nitrogen), AGO (freeze-dried product 1 with oxygen absorber) and AGC (freeze-dried product 1 with conventional atmosphere), as well as GUN (freeze-dried product 2 with nitrogen), GUO (freeze-dried product 2 with oxygen absorber) and GUC (freeze dried product 2 conventional atmosphere). The shelf life was determined based on physicochemical, microbiological and sensory tests by the Q_{10} concept. It was found that the two products packaged with nitrogen had best results in sensory qualities, physicochemical properties and microbiological accounts as it's atmosphere decreased greatly chemical reactions and microbiological deterioration increasing shelf life both freeze dried products, being approximately 10.1 months for product 1 (AGN) and 11.3 months for product 2 (GUN). About the packaging with oxygen absorbers such technology was only favorable in product 2 with oxygen absorbers (GUO) with a shelf life of 8.6 months, as the product 1 with oxygen absorbers (AGO) presented a low value of shelf life with 3 months. Conventional packaging had a shelf life unfavorably on both products, 6 months for the product 2 (GUC) and 3.9 months for product 1 (AGC).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

I. MARCO TEÓRICO

1. AGUACATE

El nombre científico del árbol de aguacate es *Persea americana* o *Persea gratissima* y su fruto es conocido como Aguacate. Se origina en las zonas altas del centro y este de México y en las áreas altas de Guatemala. En Perú se le conoce como palta o palto que procede de la voz quichua palta (Verti, 2007).

El árbol del aguacate es frondoso y de hoja perenne. Tiene una generosa floración: cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores, y aunque sólo una de cada mil se transforma en fruto, un árbol puede dar hasta mil aguacates en un año. Las flores, de un color delicado verde, aparecen en racimos y tienen la peculiaridad de abrir en dos momentos distintos, primero como flores femeninas, que luego cierran por un periodo, y después como masculinas, evitando así la autofecundación. El fruto puede ser tan pequeño como 120 g y tan grande como dos kilos y medio (SIAP, 2014).

Se estima que actualmente existen más de 40 variedades del fruto, sin embargo, por razones de productividad y otras del mercado que van desde su vida de anaquel hasta su contenido graso, la explotación comercial se limita a un número muy reducido de estas. Una de las variedades más comunes es la Hass, la cual se cosecha todo el año. Se presenta como un fruto de color verdoso que se torna de color negro-púrpura en su maduración tiene piel gruesa. La pulpa tiene una consistencia cremosa y un sabor agradable (González, 2012).

1.1. Importancia del aguacate en Michoacán y México

1.1.1. Entorno nacional

El cultivo de aguacate es de gran importancia económica para México, en 2007 la producción de aguacate en el país representó 33.9% de la producción mundial total, lo que lo posicionó como el mayor productor de este fruto a escala mundial (Torres, 2009).

Michoacán es el Estado que reporta 85% del total de la producción, siendo el líder productor. Ofertando en promedio 76 mil toneladas mensuales que se destinan al mercado internacional y al mercado doméstico. Jalisco produce 29 mil toneladas, las cuales representan el 3% de la producción nacional. Morelos, Nayarit, México, Guerrero y Yucatán en conjunto producen 97 mil toneladas, las cuales representan el 8% de la producción total. En la Figura 1 se observa el porcentaje de la producción de aguacate en México a nivel estatal según SAGARPA (2011).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

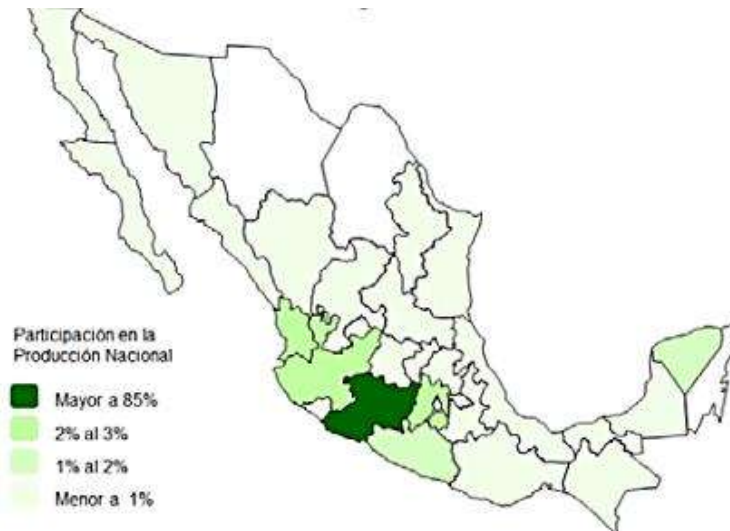


Figura 1. Porcentaje de la producción de aguacate en México a nivel estatal.

La producción nacional de aguacate en años recientes ha tenido un comportamiento positivo. En los últimos diez años, el total de la producción superó las 10 mt, con un crecimiento promedio anual de 2%. El 2009 fue el año con mayor producción, con 1 millón 230 mil toneladas. Las excelentes condiciones climatológicas y edafológicas han propiciado que el aguacate se adapte rápidamente y se obtengan buenos resultados en su producción. En 2006, se trató del año de mayor crecimiento registrado, 11%. Por el otro lado, 2010, fue en año en que se registró la mayor caída del periodo (SAGARPA, 2011).

El consumo nacional de aguacate es sensible a cambios en el precio, por lo que se ha visto afectado por variaciones importantes. De la producción nacional, 69% se destina al consumo en fresco, 19% para la industria y 12% a exportación. Se reporta un consumo per cápita anual de 10 kg, que lo ubica como el país de mayor consumo (Arriaga, 2013).

1.1.2. Entorno estatal

En los últimos años se ha observado un incremento constante en la producción de aguacate en el país, observándose un liderazgo permanente del estado de Michoacán, la cual es una región volcánica reciente que ocupa 7,752 Km² y representa el 12.9% de la superficie estatal. El clima relevante es templado, húmedo y sub-húmedo, con temperatura media de 8 a 21 °C y una precipitación anual de 1200 a 1600 mm. También tiene una zona de transición (sub tropical) entre trópico-seco y zona templada. Actualmente existen 20 municipios productores de aguacate en Michoacán y suman 85,709.32 ha. Las localidades de Nuevo Zirosto y San Andrés Coru en ocasiones son consideradas como municipios aunque pertenecen a los Municipios de Uruapan y Ziracuaretiro, respectivamente. El 80.8% de la superficie con aguacate en Michoacán corresponde a los municipios de Tancítaro, Uruapan, Peribán, Ario

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

de Rosales, Tacámbaro, Nuevo Parangaricutiro y Salvador Escalante (Salazar y col., 2004). Debido a la gran producción de aguacate en el estado, se estima una derrama de 750 mdp, así como la creación de 40 mil empleos permanentes, 9 millones de jornales al año y 60 mil empleos estacionales ligados a actividades indirectas (Torres, 2009).

1.2. Propiedades nutricionales del aguacate

El aguacate fresco es un excelente alimento debido al aporte nutricional que posee y a los grandes beneficios que trae a sus consumidores, por lo que en el contexto de una dieta saludable el aguacate debe ser indudablemente incluido. En la Tabla 1 se observan los porcentajes de los componentes de la pasta de aguacate (100 g), los componentes pueden variar de acuerdo al estado de maduración, origen y variedad del aguacate.

Tabla 1. Componentes de la pasta de aguacate (100 g).

Componente	Cantidad
Agua, %	77.0
Energía, Kcal	154
Proteína, %	1.7
Grasa, %	15.8
Carbohidratos, %	4.4
Cenizas, %	1.1
Calcio, mg	10
Fósforo, mg	42
Hierro, mg	1.0
Tiamina, mg	0.08
Riboflavina, mg	0.12
Niacina, mg	1.50
Vitamina C, mg	9
Retinol equivalente, mg	2

Fuente: Bressani, 2009.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

A continuación se describen los principales componentes del aguacate:

1.2.1. Lípidos

La principal característica nutricional del aguacate es su alto contenido de lípidos, ya que comprenden aproximadamente el 60% del peso seco total del aguacate. Según Pérez Rosales (2005), el aguacate contiene una alta proporción de ácidos grasos monoinsaturados, una baja cantidad de ácidos grasos saturados y nada de colesterol. Cerca del 60% de los ácidos grasos son monoinsaturados, el 20% poliinsaturados y los demás, saturados. Cuando el fruto madura, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el del ácido oleico (monoinsaturado).

El aguacate contiene ácidos grasos poliinsaturados esenciales, como el linoleico y el linolénico, conocidos como Omega 3 y Omega 6, respectivamente, los cuales reciben el nombre de ácidos grasos esenciales debido a que no pueden ser sintetizados por los mamíferos y es indispensable su consumo en la dieta. Estos ácidos grasos esenciales sirven a su vez como precursores de los eicosanoides, los cuales incluyen a las prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos, hidroxiacidos grasos y lipoxinas. Los eicosanoides cumplen funciones importantes como la de ser vasodilatadores, anti-arrítmicos y anti-trombóticos, así como mediadores de la respuesta inmune e inflamación, y tienen un efecto protector en enfermedades cardiovasculares (Córdova & Martínez, 2013). En la Tabla 2 se menciona el contenido de ácidos grasos del aguacate.

Tabla 2. Perfil Cromatográfico del aceite de aguacate.

	Ácidos grasos	%
C 16	Palmítico	13.76
C 16:1	Palmitoleico	5.98
C 18	Esteárico	1.48
C 18:1	Oleico	66.87
C 18:2	Linoleico	11.13
C 18:3	Linolénico	2.52
C 20	Araquidónico	0.17

Fuente: Tovar, 2003.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

1.2.2. Proteínas

El aguacate tiene una cantidad inusualmente alta de proteínas para una fruta, ya que tiene entre dos y diez veces más que otras frutas y verduras. En términos de proteínas el aguacate es considerado como un "alimento completo" (Ginn, 2015), ya que contiene todos los aminoácidos esenciales, aunque su proporción no es la óptima, como suele ocurrir con los alimentos vegetales. A pesar de esto, las proteínas de aguacate son de un gran valor, tanto en calidad como en cantidad.

A continuación se observan los aminoácidos presentes en mg por cada 100 g de pulpa fresca de aguacate según la FAO:

Esenciales	Isoleucina	47
	Leucina	46
	Lisina	59
	Metionina	29
	Fenilalanina	48
	Treonina	40
	Triptófano	—
	Valina	63
	Tirosina	32
	Arginina	47
	Histidina	25

Figura 2. Aminoácidos en mg en pulpa de aguacate fresca (100 g).

1.2.3. Fibras dietéticas

Son sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos excepto la lignina que resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas y llegan intactos al colon donde algunas pueden ser hidrolizadas y fermentadas por la flora colónica (González & Escudero, 2006).

Con su 5% o más el aguacate es el fruto fresco con más fibra dietética, de la cual, aproximadamente el 75% es insoluble y el 25% restante es soluble. Se ha demostrado que una dieta alta en fibra reduce el riesgo de un individuo a sucumbir a la enfermedad cardiovascular, presión arterial alta y algunos tipos de cáncer, así como la obesidad y la diabetes. El aguacate contiene grandes cantidades de fibra soluble e insoluble y la adición de aguacate a la dieta podría mejorar en gran medida su ingesta de fibra sin la necesidad de un suplemento sintético (Ginn, 2015).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

1.2.4. Carbohidratos

El aguacate es una fruta con bajo contenido de azúcares solubles totales, con alrededor del 2% en fruto fresco y del 5 al 9% en base seca.

En comparación con otras frutas, el aguacate contiene muy poco azúcar (por ejemplo, sacarosa, glucosa, y fructosa). El azúcar principal encontrado en aguacate es un único azúcar de siete carbonos llamado D-mannoheptulosa y su forma reducida, perseitol, contribuye aproximadamente con 2.0 g por mitad de la fruta, aunque esto no se toma en cuenta como azúcar en la base de datos de composición, ya que no se comporta nutricionalmente como azúcar convencional y es más un fitoquímico únicamente presente en aguacate. Una investigación preliminar de la D-manoheptulosa sugiere que puede apoyar el control de la glucosa en sangre y el control de peso. Se espera que la carga y el índice glucémico de un aguacate sea aproximadamente de cero (Davenport y col., 2013).

1.2.5. Minerales

El aguacate contiene por encima del 5% de algunos elementos minerales, principalmente se encuentran presentes fósforo, potasio, hierro, manganeso, magnesio, cobre y zinc, además de ser bajo en sodio.

A continuación se tiene la Tabla 3 donde se observa los minerales presentes en la pulpa de aguacate y las necesidades diarias de ingesta de acuerdo a Ortega (2010).

Tabla 3. Minerales presentes en 100 g de pulpa de aguacate.

Minerales	Pulpa de aguacate (mg/100 g)	Ingesta diaria recomendada (IDR) (mg)	% de la IDR cubierta por 100 g de aguacate
Potasio	340	340	100
Fósforo	38	42	90.4
Calcio	10	10	100
Sodio	3	3	100
Hierro	0.6	1	60

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

1.2.6. Vitaminas

El aguacate también es fuente importante de vitaminas, contiene 12 de las 13 vitaminas existentes, solamente se encuentra ausente la vitamina B12 que es exclusiva del reino animal (Córdova & Martínez, 2013).

En la Tabla 4 se puede observar la presencia de prácticamente todas las vitaminas, en la pulpa de aguacate cubriendo así un buen porcentaje de la ingesta diaria recomendada.

Tabla 4. Valor vitamínico y aporte nutricional del aguacate (Tovar, 2003).

Vitaminas	Contenido en 100 g de aguacate	IDR	% de la IDR cubierta por 100 g de aguacate
Vitamina A	85.00 mg	900.0 mg	9.4
Vitamina D	10.00 mg	5.0 mg	200.0
Vitamina E	3.00 mg	9.0 mg	33.0
Vitamina K	8.00 mg	110.0 mg	7.3
Vitamina B1	0.11 mg	1.4 mg	7.8
Vitamina B2	0.20 mg	1.6 mg	12.5
Vitamina B6	0.45 mg	2.1 mg	21.4
Niacina	1.60 mg	16.0 mg	10.0
Ácido pantoténico	1.00 mg	5.5 mg	18.2
Biotina	10.00 mg.	100.0 mg.	10.0
Ácido fólico	32.00 mg.	200.0 mg.	16.0
Vitamina C	14.00 mg.	60.0 mg.	23.3

1.3. Industrialización del aguacate

Los productos industrializados tienen una larga vida de anaquel y pueden almacenarse por un tiempo prolongado, sin necesidad de mayores cuidados, esto a diferencia del producto en fresco. Algunos ejemplos de productos de la industrialización del aguacate son el aceite de aguacate, el guacamole y el aguacate liofilizado.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

1.3.1. Aceite de aguacate

Según Moreno (2011), el aguacate, dependiendo de la variedad y madurez alcanza en la pulpa concentraciones de hasta 25% (b.h.) de aceite, con valores promedios de 17 a 19% (b.h.), lo que permite lograr rendimientos de alrededor de 10% de fruta fresca.

El proceso de extracción del aceite de aguacate comienza con un prelavado de la fruta. El hueso y la cáscara son retiradas antes de realizar el proceso, y el aceite es obtenido de la pulpa del aguacate.

El aceite es obtenido del decantador, para terminar de separar completamente el agua y el aceite. El aceite de aguacate se utiliza de muy distintas formas:

- En la industria cosmética, como rehidratante para la piel seca y combatir las arrugas, mejorar el cutis entre otros usos.
- El aceite en la industria alimentaria se oferta al consumidor como un aceite tipo gourmet.
- Por su contenido de vitamina A, D y E, se incorporan en fórmulas cosméticas y para productos de belleza (SAGARPA, 2011).

1.3.2. Pulpa y guacamole

La pulpa de aguacate se usa como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, mitades o cubos congelados. Dentro de las alternativas nombradas, el puré de aguacate congelado ha sido el que ha tenido un mayor volumen de producción, al ser utilizado como base para productos untables en canapés, papas fritas, y galletas saladas entre otras (Olaeta, 2003).

La pulpa de aguacate es también la base del guacamole, el cual consiste en una salsa de aguacate, la cual puede ser totalmente molida o contener pequeños trozos de aguacate.

La formulación del guacamole se basa en la pulpa procesada con el mejor tratamiento que incluye la adición de antioxidantes y conservadores, adicionándose además especias en diferentes proporciones.

El proceso de preparación de guacamole industrial es:

1. Corte y pelado de la fruta
2. Mezcla y homogenización de la pulpa

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

3. Adición de sal, especias y conservadores

4. Envasado y etiquetado

El guacamole tiene amplia aceptación alrededor del mundo, en la cocina mexicana se usa como salsa para todo tipo de alimentos, mientras en cocinas internacionales se sirve como aderezo para platos principales, como es el caso de los EE.UU. donde se come con totopos o se usa como salsa para guisos de carne, ampliamente difundida por la comida Tex-Mex. Además, en países donde el aguacate es muy costoso, el guacamole es considerado como una exquisitez (SAGARPA, 2011).

2. LIOFILIZACIÓN

Se define a la liofilización como un proceso de estabilización en el cual el material primero se congela y se concentra el solvente, comúnmente el agua, reduciéndolo mediante sublimación y desorción, a niveles que no sostendrán más el crecimiento biológico o las reacciones químicas (Ramírez, 2007). Como proceso industrial se desarrolló a mediados del siglo XX, pero sus principios eran ya conocidos y empleados por los Incas. El procedimiento ancestral consistía en dejar que los alimentos se congelasen durante la noche por la acción del frío de los Andes y gracias al calor de los primeros rayos de sol de la mañana y la baja presión atmosférica de las elevadas tierras andinas se producía la sublimación del agua congelada. Este proceso es conocido como liofilización natural.

2.1. Proceso de liofilización y sus etapas

El proceso de liofilización consta principalmente de tres etapas las cuales se describen a continuación:

- *Congelamiento.* En esta etapa se prepara el producto para el proceso de sublimación. Esta etapa también incluye el acondicionamiento y limpieza de la materia prima en algunos casos. Es una operación previa y obligatoria. El tiempo de duración depende de varios factores como la masa a procesar, cantidad de agua, concentración y naturaleza propia del producto. En general podemos decir que una congelación adecuada es la base para que el producto liofilizado presente óptimas condiciones de aspecto, conservación de sus propiedades originales y una rápida rehidratación (González, 2012).
- *Secado primario o secado por sublimación.* En el secado primario el hielo se retira de la muestra mediante sublimación desde la fase sólida a la

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

gaseosa. Mientras se disponga de un sistema que constantemente retire este vapor, el proceso de secado por sublimación continuará hasta que se agote el hielo presente. Este papel lo cumple en un liofilizador, el condensador (o mejor desublimador), elemento del equipo que ofrece una superficie suficientemente fría como para que el vapor de agua pase nuevamente a la fase sólida (Orrego, 2008).

- *Secado secundario.* Cuando el último cristal de hielo ha desaparecido, el producto se calienta hasta la temperatura máxima admisible por la parte seca. La deshidratación final se realiza entonces bajo gran vacío para eliminar el agua que no se cristalizó previamente y que está ligada muy fuertemente a la masa parcialmente seca. Durante esta etapa la humedad residual disminuye progresivamente hasta obtener el nivel deseado, que dependerá del producto y del tiempo que se desee preservar (Karelovic, 2012). En la Figura 3 se muestran as 3 etapas obligadas en el proceso de liofilización:

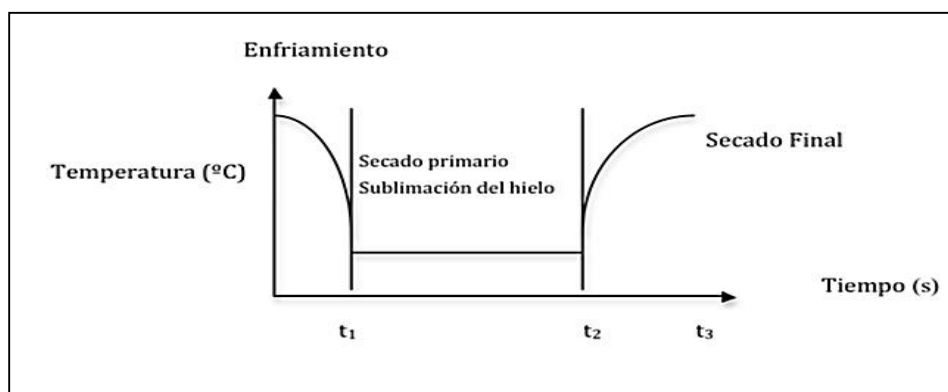


Figura 3. Pasos del Proceso de Liofilización.

2.2. Ventajas y desventajas del proceso de liofilización

La principal ventaja de esta técnica es la calidad superior del producto final, así como la conservación y transporte fácil de los productos, la ausencia de temperaturas altas, la inhibición del crecimiento de microorganismos, o la recuperación de las propiedades del alimento al añadirle el volumen de agua que en un principio tenía (Ramírez, 2007), además, con la liofilización es mínima o ninguna degradación de la fruta o vegetal, por lo que el producto seco conserva el color, olor, sabor, vitaminas, minerales y componentes nutricionales como los frutos originales (Sí o Sí alimentos SAPI de CV, 2014). Sin embargo, dado el alto costo del proceso, la liofilización es una técnica generalmente reservada para

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

productos con un alto valor agregado, lo que se considera una desventaja del proceso al igual que los largos tiempos de procesamiento y los altos consumos de energía en algunos casos.

Debido a sus cualidades, la liofilización tiene muchos y variados usos en el laboratorio en la industria de los alimentos. Se usa para lograr la estabilidad en almacenamiento a largo plazo de los materiales biológicos, en la preparación de muestras tisulares para la microscopía electrónica. Además, la liofilización tiene aplicaciones en el análisis químico donde es muy conveniente tener la muestra seca. Es ideal en estas instancias porque los componentes de la muestra permanecen estables y no cambian su composición química (Rangel, 2014).

2.3. Liofilización del aguacate y del guacamole

El aguacate es un fruto muy apreciado, debido a su alto poder nutritivo, sin embargo, no se comercializa ampliamente en forma procesada por presentar un rápido oscurecimiento enzimático, por lo que se han probado algunos métodos de conservación (Rangel, 2014).

La deshidratación del aguacate es la mejor opción para resolver los problemas de vida de anaquel y transporte. No obstante, los métodos convencionales de secado son inadecuados para este fruto debido a la enorme degradación que le causan, ya que los productos deshidratados con aire caliente tienden a experimentar encogimiento y colapso del tejido, características que retardan la rehidratación y cambian el aspecto agradable del producto (Arriola y col., 2006).

Existen algunos estudios sobre aguacate liofilizado en forma de puré o guacamole en los cuales se ha encontrado, que la calidad del producto final es mejor que la obtenida en los procesos clásicos. Rangel (2014) reporta que en el guacamole al ser sometido al proceso de liofilización, los cambios de color no son significativos.

Castañeda y col. (2014) sostuvieron que en su estudio el proceso de liofilización no afectó estadísticamente la composición química de la pulpa de aguacate en todas las variables (grasas totales, proteínas, cenizas y fibra), resultando iguales estadísticamente, el color final de la pulpa seca era de color verde brillante con lo que se comprueba que no hay signos de pardeamiento enzimático o no enzimático; por lo tanto éstos resultados coinciden con las afirmaciones anteriores de que liofilización no afecta a las propiedades nutricionales ni las organolépticas de los productos.

Los resultados son consistentes con el hecho de que el cambio de estado ocurrido durante la sublimación del agua, minimiza la posibilidad de pérdida de macronutrientes por arrastre desde el interior de la célula; en contraste con otros métodos de transformación, que funciona con agua en estado líquido, hay una mayor probabilidad de daño a la estructura celular como es el caso de la deshidratación osmótica (Castañeda y col., 2014).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Actualmente en la ciudad de Morelia, Michoacán, existe la empresa Mexicana Sí o Sí Alimentos SAPI de C.V. que desarrolla productos liofilizados diversos a nivel industrial y con la cual se llevó a cabo este proyecto.

2.3.1. Aplicaciones del aguacate y guacamole liofilizados

Tabla 5. Aplicaciones del aguacate liofilizado en la industria (Sí o Sí alimentos SAPI de CV, 2014).

Aguacate		
Aplicaciones en la industria de los alimentos	Aplicaciones en la industria cosmética	Aplicaciones en la industria de salud y nutracéutica
Como ingrediente para la formulación de varios productos: salsas, dips, guacamoles, licuados, snacks, mezclas estables, aderezos, saborizante de chips.	Se usa solo o en combinación con otros ingredientes para producir mascarillas naturales para la cara, el cuerpo y cabello para uso en el hogar y spas.	Suplementos alimenticios y nutracéuticos.
Como ingrediente de recetas de base de aguacate en restaurantes, hoteles, cruceros, etcétera.		Cápsulas de polvo de aguacate para reducir el colesterol y triglicéridos.
Se puede usar donde la refrigeración no está disponible: listo para usar en desastres naturales y en lugares distantes, tales como plataformas petrolíferas, bases militares y campamentos.		Alimentos para bebés.
Se puede preparar una variedad de platos mexicanos, cocina, postres, helados, ensaladas, aderezos, coberturas, etc. O puede utilizarse como una decoración en recetas gourmet.		

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Tabla 6. Aplicaciones del guacamole liofilizado.

Guacamole		
Campamentos	Alimentación de emergencia	zonas militares, plataformas petrolíferas y lugares "lejanos"
Los productos liofilizados son ampliamente utilizados en todo el mundo por las familias y profesionales que van de campamento. Debido a los nutrientes sorprendentes, el gran sabor, su larga vida útil, su capacidad para ser llevada sin peso y sin refrigeración, y la rehidratación rápida que se puede hacer en cualquier lugar.	Los productos liofilizados son también ampliamente utilizados en todo el mundo para asegurarse de que los alimentos no falten en el caso de una emergencia o una desafortunada situación. Además de su conveniencia, el guacamole liofilizado es uno de los muy pocos productos que le dará al cuerpo los ácidos grasos esenciales que necesita para un correcto funcionamiento.	El transporte de alimentos a los lugares que están lejos es una actividad de alto costo. Dado que el guacamole liofilizado no contiene agua, no necesita ser refrigerado, y tiene todos los nutrientes de sus componentes originales, se satisfacen las más altas exigencias de consumo de alimentos en las minas, plataformas petrolíferas y de lugares lejanos.

Fuente: Sí o Sí alimentos SAPI de CV (2014).

3. ENVASADO

3.1. Atmósferas modificadas

A través de los años se ha buscado alargar la vida de anaquel de los alimentos y al mismo tiempo preservar sus características de calidad e inhibir el crecimiento de los microorganismos de forma efectiva. La industria alimentaria se ha visto en la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías de conservación, como lo son el uso de los empaques con atmósferas modificadas (AM).

La vida de anaquel de un alimento puede ser incrementada modificando la composición gaseosa del aire, por ejemplo. Aumentando o disminuyendo el contenido de O₂ y/o aumentando la concentración de CO₂. Las concentraciones de N₂ pueden ser diversas, ya sea para desplazar oxígeno, o para actuar como gas inerte en empaques flexibles, evitando el colapso de estos (Vazquez-Aguilar & Gomez-Sanchez, 2007).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

La técnica de conservación en AM consiste en empaquetar los productos alimenticios en materiales con barrera a la difusión de los gases, en los cuales el ambiente gaseoso ha sido modificado para disminuir el grado de respiración, reducir el crecimiento microbiano y retrasar el deterioro enzimático con el propósito de alargar la vida útil del producto (Ospina, 2008). A continuación se resumen en la Tabla 7 las principales ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas en los alimentos (Welti-Chanes y col., 2005).

Tabla 7. Principales ventajas y desventajas del uso de atmósferas modificadas para la conservación de alimentos.

Ventajas	Desventajas
Incrementa la vida de almacenamiento del 50 al 400 %.	Aumenta los costos de empaque.
Reduce pérdidas económicas.	Emplea control de temperatura.
Permite comercializar y distribuir los productos a grandes distancias.	Requiere formulaciones de gases específicas para cada producto.
Mantiene los productos con alta calidad.	Los beneficios se pierden una vez abierto el empaque.
Mejora la presentación- visibilidad clara del producto.	El volumen de empaque aumenta.
Disminuye o elimina el uso de conservadores químicos.	
• En frutas y hortalizas	• En frutas y hortalizas
Retarda la maduración.	Si las concentraciones de CO ₂ son más altas que las que el producto tolera puede tener daño fisiológico.
Reduce la producción y la sensibilidad al etileno.	Si las concentraciones de O ₂ son bajas puede haber respiración anaerobia y producirse malos olores debido a la acumulación de etanol y acetaldehído.
Retarda el ablandamiento.	
Puede reducir el daño por frío.	

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

3.2. Relación del oxígeno con la alteración de los alimentos

El oxígeno constituye el 21% de la atmósfera terrestre y, en condiciones normales, es el gas más importante que está en contacto con los alimentos ya que participa en su alteración facilitando el crecimiento de microorganismos aerobios, el enranciamiento oxidativo de los lípidos y reacciones enzimáticas indeseables. También puede modificar el color y el bouquet y destruir nutrientes sensibles al oxígeno como es el caso de las vitaminas.

En presencia de oxígeno, se multiplican en los alimentos bacterias con gran capacidad alterante (por ejemplo, varias especies de *Pseudomonas*), mohos y levaduras. En aerobiosis se produce el enranciamiento oxidativo debido a la oxidación de los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados con formación de peróxidos o hidro-peróxidos, que posteriormente se polimerizan y descomponen dando origen a la formación de aldehídos, cetonas y ácidos. El enranciamiento oxidativo, además destruye las vitaminas liposolubles, particularmente las vitaminas A y E. Finalmente, el oxígeno favorece la acción de enzimas presentes de forma natural en los alimentos como catalasa y peroxidasa que son responsables del pardeamiento de verduras y hortalizas troceadas. A continuación se presenta la Tabla 8, que de acuerdo a García y col. (2001) describe las necesidades de oxígeno de algunos microorganismos.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Tabla 8. Necesidades de oxígeno de algunos microorganismos patógenos y alterantes de los alimentos.

Microorganismo	Necesidades de O₂ para su crecimiento	Patógenos alimentarios	Alterantes de los alimentos
Aerobio	Es imprescindible	<i>Bacillus cereus</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Vibrio parahaemolyticus</i>	<i>Pseudomonas sp.</i> <i>Acinetobacter/Moraxella</i> <i>Micrococcus</i> Mohos
Microaerófilo	Se requieren bajos niveles	<i>Campilobacter jejuni</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	<i>Lactobacillus</i>
Facultativo	Hay crecimiento en ausencia y presencia de O ₂	<i>Salmonella</i> <i>Staphylococcus</i>	<i>Brocothrix thermosphacta</i> <i>Shewanella putrifaciens</i> <i>Bacillus sp.</i> <i>Enterobacteriaceae</i> Levaduras
Anaerobio	Se inhibe su presencia	<i>Clostridium perfringens</i> <i>Clostridium botulinum</i>	

3.3. Utilización del nitrógeno en la tecnología de atmósfera modificada

El N₂ es el principal componente del aire, en una proporción del 78% en volumen. En condiciones normales (20 °C y 1 atm de presión) se encuentra en fase gaseosa. Es un gas incoloro, inodoro e insípido que se obtiene por destilación fraccionada del aire al igual que el oxígeno.

El N₂ posee propiedades destacables, que hacen que sea considerado un gas ideal para las aplicaciones de envasado y conservación de alimentos: ser inerte en condiciones normales, ser incoloro, inodoro, libre de olores, inmisible (Bell Export S.A., 2016), y que además, desplaza al O₂ en el espacio de cabeza del envase con el fin de evitar el desarrollo de microorganismos aerobios y los problemas de oxidación. También actúa como gas en atmósfera protectora tecnologías de envasado de relleno ya que previene el colapso del

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

envase cuando tiene lugar una disolución excesiva de dióxido de carbono en los tejidos del alimento (García y col., 2001).

Tabla 9. Ventajas y desventajas del uso de nitrógeno en atmósferas modificadas.

N₂	
Propiedades físicas	Inerte, insípido, insoluble.
Ventajas	Desplazamiento de O ₂ . Inhibición de aerobios. Evita la oxidación de las grasas.
Desventajas	Aumenta los costos de empaque. Aumenta el volumen del empaque. En altas concentraciones (cerca del 100%), produce crecimiento de microorganismos anaerobios.

3.4. Utilización de absorbedores de oxígeno para conservación de alimentos

El O₂ en el envase puede acelerar la alteración de muchos alimentos, y su presencia puede deberse a:

- La elevada permeabilidad del material del envase
- El aire retenido en el alimento o en el material del envase
- Pequeñas filtraciones debidas a un sellado no eficaz y una evacuación inadecuada.

La aplicación de absorbedores de oxígeno es una de las mejores formas de control directo del oxígeno presente en el espacio de cabeza del envase. La disminución del oxígeno a concentraciones lo más bajas posibles, sin llegar a glicolisis anaerobia, implica la reducción de la tasa de respiración del producto, retrasa la contaminación microbiológica, la maduración y la senescencia de los productos hortofrutícolas. Las tecnologías de absorción de oxígeno se basan en la oxidación de compuestos como polvo de hierro, ácido ascórbico, dienos fotosensibles, enzimas (glucosa oxidasa y etanol oxidasa), ácidos grasos insaturados, etc., materiales normalmente combinados e introducidos en bolsitas de un material permeable

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

al oxígeno. Los sistemas basados en polvo de hierro mezclado con ácido ascórbico o enzimas son los más utilizados (Catalá y col., 2009).

Como principales ventajas de este sistema destacan: facilidad de uso, previenen el crecimiento microbiano, evita el desarrollo de sabores, aromas y colores indeseables en alimentos, mantiene la calidad del producto sin usar aditivos, menores costes en equipos generadores de gases, así como en productos químicos para prevenir daño por insectos. En cambio, su uso no es posible en alimentos líquidos. Para ser efectivos, se han de utilizar con envases lo más impermeables posible al oxígeno siendo los de aluminio, EVOH y PVDC, los más adecuados (Caride & Meñino, 2010).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Tabla 10. Absorbedores de oxígeno comerciales.

Absorbedores de oxígeno		
Nombre comercial	Fabricante	País del fabricante
Ageless	Mitsubichi Gas Chemical Co.	Japón
Amosorb 2000	BP Amoco Chemical	Estados Unidos
Amosorb 3000	BP Amoco Chemical	Estados Unidos
ATCO	Standa Industrie	Francia
Bioka	Bioka Ltd.	Finlandia
Darex	Grace Performance Chemicals	Estados Unidos
Freshlizer	Toppan Printing Co.	Japón
FreshMax	Multisorb Technologies Inc.	Estados Unidos
FreshPax	Multisorb Technologies Inc.	Estados Unidos
Keplon	Keplon Co.	Japón
Modulan	Nippon Kayaku Co.	Japón
Negamold	Freund Industrial Co.	Japón
OS2000	Sealed Air Corporation	Estados Unidos
Oxbar	Crown Cork and Seal	Estados Unidos
Oxyguard	Toyo Seikan Kaisha	Japón
Oxysorb	Pillsbery Co.	Estados Unidos
Oxyeater	Ueno Seiyuki Co.	Japón
Smartcap	Advanced Oxygen	Estados Unidos
Pure seal	Technologies Inc.	Estados Unidos
Sanso-cut	Finetch Co.	Japón
Sansoless	Hakuyo Co.	Japón

Fuente: García y col., (2001).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

4. VIDA DE ANAQUEL

Esencialmente la vida de anaquel de un alimento se define como el tiempo en el cual éste conservará sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas y nutricionales (Chica & Osorio, 2003). Esto significa que el alimento:

- Debe seguir siendo seguro para el consumo, es decir, no debe causar intoxicación alimentaria a causa del crecimiento de bacterias patógenas, o la producción de toxinas (bacterias y hongos) en los alimentos durante el almacenamiento.
- No se ha deteriorado en calidad o estropeado de cualquier forma que el consumidor encontraría inaceptable.
- No ha perdido cantidades significativas de ningún nutriente que figuran en la etiqueta (Ministry for Primary Industries, 2014).

El tiempo de vida de anaquel depende de muchos aspectos, y de igual forma, un estudio de vida de anaquel se puede enfocar hacia la evaluación de la importancia de uno o más de éstos aspectos como son: la influencia del empaque, la composición de la atmósfera en el espacio de cabeza, condiciones de almacenamiento como temperatura y humedad relativa, algún aditivo, el uso de un antioxidante en especial, etc.

4.1. Cambios ocurridos durante la vida de anaquel

Oscurecimiento no enzimático: Con este concepto se designa a un complejo conjunto de reacciones químicas, que afectan a ciertos componentes de los alimentos, de modo principal a proteínas y azúcares, después de varias etapas y conducen a la formación de pigmentos poliméricos de colores pardos o negros, que reciben el nombre de melanoidinas (Bello, 2000). En algunos casos este tipo de reacción es deseado y provocado intencionalmente. Sin embargo, cuando se produce en forma involuntaria se generan algunos aspectos indeseables, como sabores desagradables y cambios en el color (Araya, 2012).

Existen 3 rutas principales para el pardeamiento no enzimático:

- **Reacción de Maillard**: Bajo la denominación de reacción de Maillard se incluye un complejo sistema de reacciones químicas que tienen lugar durante tratamientos térmicos, entre los grupos carbonilo y amino libre presentes en los alimentos, induciendo la formación de pigmentos pardos y componentes aromáticos en las últimas etapas de reacción (Villalobos, 2013). Las reacciones de Maillard son las que se encuentran con mayor frecuencia en los alimentos, durante el almacenamiento o como consecuencia de tratamientos tecnológicos o caseros (Lupano, 2013).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

- Oxidación del ácido ascórbico: El ácido ascórbico es la lactona gama de un ácido hexurónico que contiene una estructura enol entre los carbonos 2 y 3. Este compuesto es muy inestable y rápidamente se oxida en presencia de aire, transformándose en ácido dehidroascórbico, que a su vez puede pasar a furfural por el mecanismo de Strecker, con la consecuente liberación de CO₂ (Figura 4) (Hernández, 2009). Este proceso se da en alimentos ácidos (pH 2-3.5), y al calentarse se puede producir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno. Según palabras de Villalobos (2013), esta oxidación tiene lugar en frutas en las que los grupos amino pueden reaccionar con el ácido ascórbico, y son relativamente escasas. Tal es el caso de los cítricos en especial el limón y el pomelo.

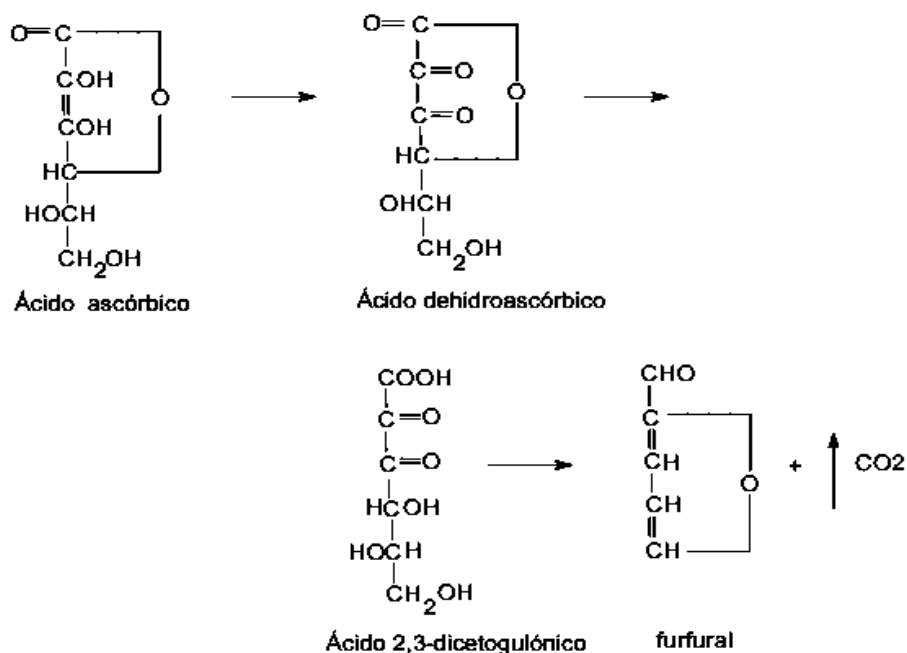


Figura 4. Formación de furfural a partir de la vitamina C.

- Caramelización: es la reacción de pardeamiento de los azúcares que son calentados por encima de su punto de fusión en ausencia de proteínas o aminoácidos. Esta se ve favorecida por condiciones alcalinas o ácidas y se usa para la coloración comercial de caramelos y para obtener diferentes sabores (Lab-Ferrer, 2004). Cuando se trata de disacáridos tiene lugar una hidrólisis previa, luego se abre el anillo hemiacetalico y los monosacáridos resultantes se transforman en enoles. Seguidamente se produce una deshidratación del enol dando lugar a la formación de dobles enlaces y compuestos cíclicos. Los anillos insaturados pueden condensarse para dar polímeros pardos con dobles enlaces conjugados.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Pardeamiento enzimático: El rápido pardeamiento de alimentos y de muchas frutas y verduras como manzana, plátano, aguacates, papas y berenjenas, es un problema al que se enfrenta la tecnología de alimentos (Hernández, 2009), una alteración que se manifiesta con el cambio de color, sabor e incluso pérdida nutricional es la que se conoce como pardeamiento enzimático, reacción catalizada por la enzima polifenoloxidasas (PPO); son un grupo de enzimas que tienen el cobre como grupo prostético, son oxidorreductasas, donde el oxígeno es un aceptor de hidrógeno (Restrepo, 2012). Los aguacates contienen una clase de compuestos llamados fenoles. Estos fenoles pueden ser convertidos a quinonas cuando se expone al oxígeno del aire, el proceso anterior se lleva a cabo por la enzima descrita anteriormente (Figura 5). Algunas de estas quinonas son tóxicas para ciertas bacterias, y es así que el proceso de alguna forma es beneficioso para el fruto. Sin embargo, las quinonas pueden también reaccionar con ellas mismas para formar cadenas de polímeros que son los causantes de la coloración oscura. Este proceso de oscurecimiento ocurre en muchas otras frutas, pero en el aguacate ocurre tan rápidamente debido a que contienen una cantidad considerable de la enzima PPO. Los compuestos poliméricos que provocan el oscurecimiento son los pigmentos de melanina (Bunning, 2014). El pardeamiento no sucede en el aguacate intacto, no sólo porque la pulpa no está expuesta a oxígeno, sino también a que los compuestos fenólicos se almacenan en la vacuola de las células del fruto, mientras que las enzimas se encuentran en el citoplasma. Por lo tanto, se requiere tanto daño a estas estructuras celulares como la exposición al oxígeno para que se produzca el pardeamiento.

Los factores más importantes que afectan a la velocidad del pardeamiento son las concentraciones de enzima activa y de compuestos fenólicos, el pH (el pH óptimo para la actividad de la PPO del aguacate es entre 5.5 a 6.5), la temperatura y la disponibilidad de oxígeno en el tejido (Rodríguez, 2010).

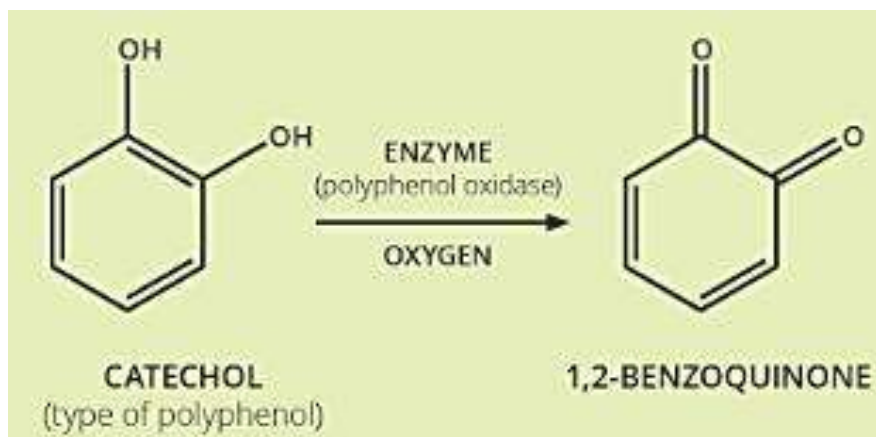


Figura 5. Oxidación de los derivados catecol para dar o-quinonas.

Fuente: Brunning (2014).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Pérdida de vitaminas. Las vitaminas son un grupo heterogéneo de sustancias, sin un mecanismo de destrucción común. En cualquier caso, diversas vitaminas hidrosolubles (C, B1) y liposolubles (A, E) son sensibles al oxígeno y a la luz. Con el aumento del uso de vitaminas añadidas en muchos alimentos, como los cereales para desayuno y las bebidas isotónicas, los niveles de vitaminas declarados en el etiquetado pueden ser utilizados como indicadores de caducidad. De hecho, los productores suelen añadir una concentración superior de cada una de las vitaminas que constan en la etiqueta para compensar su degradación a lo largo de la vida útil. Esa diferencia entre la formulación y lo declarado en la etiqueta se conoce como “antienvjecimiento” del producto (Rodríguez, 2010).

La oxidación de los componentes lipídicos de un alimento. Conocida como rancidez oxidativa, es una de las reacciones que deteriora y afecta en forma más importante la calidad de un producto. La rancidez oxidativa es iniciada por radicales libres del oxígeno o por el ataque del oxígeno molecular a radicales libres pre-formados en los ácidos grasos poliinsaturados que forman las grasas y aceite (Córdon y col., 2007).

La oxidación de las grasas y aceites provoca el desarrollo de olores y aromas no deseables (“a rancio”) en los alimentos y el rechazo (o una menor aceptación) por parte del consumidor. La oxidación rancia disminuye la calidad nutritiva del alimento debido a que los radicales libres y los peróxidos generados destruyen los ácidos grasos poliinsaturados y las vitaminas liposolubles. Estos productos intermedios también reaccionan con los enlaces sulfonados de las proteínas, disminuyendo su calidad. Así mismo, se conoce que diversas sustancias presentes en la grasa oxidada tienen efectos tóxicos. Entre ellas se incluyen los ácidos grasos peroxidados y sus metabolitos, las sustancias poliméricas y los esteroides oxidados (Rodríguez, 2010).

Daño microbianos. La acción de los microorganismos es un medio común de deterioro de los alimentos y la causa más común de enfermedades transmitidas por alimentos. El deterioro microbiano es una preocupación importante para los alimentos perecederos, como frutas frescas, verduras, carnes, aves, pescado, productos de panadería, leche y jugos. Los posibles microorganismos alterantes de alimentos incluyen bacterias, hongos (mohos y levaduras), virus, y parásitos. El crecimiento de la mayoría de los microorganismos puede ser prevenido o hacerse más lento mediante el ajuste de la carga microbiana inicial, ajuste de la temperatura de almacenamiento, lo que reduce la actividad de agua, disminuyendo el pH, la utilización de conservantes, y el uso de un embalaje adecuado. Algunos microorganismos simplemente causan el deterioro de los alimentos, mientras que otros pueden causar enfermedades o incluso la muerte si es consumido (Steele, 2004).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

4.2. Factores que afectan la vida útil de un producto

Los factores que influyen en la vida útil son intrínsecos; las características del producto, por ejemplo, acidez, la humedad, etc o extrínsecos; características externas, como, temperatura de almacenamiento, embalaje, etc. (Ministry for Primary Industries, 2014).

Los factores intrínsecos que tienen impacto en la vida útil incluyen:

La formulación. Involucra la selección de las materias primas más apropiadas e ingredientes funcionales que asegurarán la integridad del alimento para la vida útil requerida. Con respecto a la vida de anaquel, los factores claves incluyen contenido de humedad, Aw, pH y adición de agentes antimicrobianos y antioxidantes (Chica & Osorio, 2003).

La naturaleza y calidad de las materias primas. La composición de las materias primas es determinante para las reacciones de deterioro que se llevarán a cabo en el producto (Carrillo & Reyes, 2007), materias primas de buena calidad con un bajo número de microorganismos presentes ayudará a asegurar productos con una vida útil consistentemente aceptable. Si las materias primas a veces están muy contaminadas, esto debe ser tomado en cuenta durante el procesamiento. Si los números de microorganismos o bacterias patógenas son muy variables esto puede tener un impacto en el proceso y en consecuencia, la vida útil. En este caso considerar el establecimiento de límites microbiológicos (Ministry for Primary Industries, 2014).

La disponibilidad de oxígeno y el potencial redox dentro del alimento. Esto puede tener un efecto importante sobre cual tipo de deterioro y que microorganismos patógenos crecen en la comida. Esto también afecta a reacciones de oxidación-reducción que causan rancidez, la pérdida de vitaminas, pardeamiento y el cambio de sabor resultando en el deterioro del producto. Los mohos necesitan oxígeno para crecer y ellos se encuentran por lo general en las superficies de los alimentos, pero van a crecer en las grietas dentro de los alimentos (Ministry for Primary Industries, 2014).

Los factores extrínsecos que tienen impacto en la vida útil incluyen:

Empaque. En la preservación de los alimentos, el empaque tiene la función de “protección” contra contaminantes que están en el ambiente y contra daños físicos, fuerzas, quebraduras. Las características del empaque influyen en el transporte de sustancias desde o hacia el interior del alimento que a su vez pueden afectar la calidad del alimento.

Condiciones de almacenamiento. El lugar donde se almacenen los productos terminados, así como el tiempo en que estos se distribuyan puede acortar la vida útil de un alimento, si esto no se realiza en condiciones apropiadas. Debe cuidarse que el transporte de los productos se haga en unidades de transporte con enfriamiento, si el transporte así lo requiere. Aunque los

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

productos alimenticios tengan una buena estabilidad física, química o microbiológica, si estos no se tratan en las condiciones que indica el fabricante, es posible que disminuya la vida útil de los productos (Carrillo & Reyes, 2007).

Procesos aplicados al alimento. Si bien los procesos de calor aplicados se pueden usar para inactivar organismos, en procesos de calor más leves se inactivan sólo algunas bacterias y una proporción puede sobrevivir. Mientras más bacterias haya en las materias primas, mayor es el número de bacterias que sobreviven y acortan la vida útil, es por eso que es importante validar el proceso mediante condiciones del peor de los casos. En general, mientras más intenso es el proceso, más largo puede ser el tiempo de conservación (Ministry for Primary Industries, 2014).

4.3. Estimación de la vida de anaquel

La vida media es un importante aspecto de todos los alimentos. Para su determinación se requiere tener un buen nivel de conocimiento del producto. Esto incluye cultivo, aditivos manufactura, distribución mayorista, distribución minorista y consumidor, además, como lo indican Estrada & Hernandez (2015); es necesario en primer lugar identificar y/o seleccionar la variable cuyo cambio es el primero que identifica el almacenamiento del producto y los límites de calidad establecidos tanto por el consumidor como por las normas que rigen propiamente los alimentos. La metodología para estimar la vida de anaquel es muy variada y se describe a continuación.

4.3.1. Empleo de valores de referencia

La vida útil de un nuevo producto puede estimarse basándose en la información publicada en diferentes bases de datos, como las del ejército de los EE.UU. o por Labuza en: Shelf-life dating of foods (1982), pero el problema en este caso es que estos datos son muy limitados, por lo que no tienen información adicional salvo para productos similares, además, la mayoría de estos datos tienen derecho de autor y no pueden ser usados para la predicción de la vida útil, salvo dentro de la misma empresa para líneas similares sin necesidad de realizar pruebas experimentales (Montoya & Restrepo, 2010).

4.3.2. Estimación mediante asignación de “turn over”

Un segundo planteamiento es usar los tiempos de la distribución conocidos para productos similares en la vida de anaquel para un nuevo producto. Esto también no requiere de ninguna comprobación si se toma algún riesgo. Si se está ingresando dentro del área de un nuevo producto, adquiriendo o rompiendo los códigos de los productos similares de la competencia ayudarían a determinar el tiempo de distribución. Se necesitarían determinar los datos reales

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

del tiempo de almacenamiento en los hogares del consumidor para obtener una mejor estimación. Si no existe ningún producto similar este método no puede usarse.

4.3.3. Pruebas de abuso de distribuciones

Este método de pruebas de abuso de distribuciones puede emplearse en el caso de estar seguros de la vida útil de un producto o si este ya se encuentra en el mercado. En este caso, el producto es recogido del punto de venta y se mantiene en el laboratorio simulando las condiciones caseras (Montoya y Restrepo, 2010).

4.3.4. Empleo de quejas o reclamos de los compradores

Otro acercamiento para evaluar la vida útil que no requiere ningún estudio inicial es usar las quejas o reclamos de los consumidores como una base para determinar cuál es el problema que está ocurriendo. En los Estados Unidos de América la mayoría de las empresas manejan un número telefónico gratuito de atención al consumidor en los empaques, y la información recogida a través de este, se carga a una base de datos sistematizada que incluye el tipo de queja, localización, etc. A partir de estos datos, el departamento de I&D puede obtener una idea sobre el problema que está ocurriendo y el modo en que se presenta. Normalmente se acepta que por cada queja o reclamo reportado, entre 50–60 casos no son reportados. Estos clientes representan una proyección de tres años de pérdida de volumen de venta. A partir de estos datos, pueden calcularse los costos en ingredientes, proceso, empaque o si los cambios de la distribución serían económicamente factibles para mejorar la vida útil. Este acercamiento global puede usarse en conjunto con cualquiera de los tres métodos descritos anteriormente (Cabeza, 2013).

4.3.5. Pruebas de vida útil en tiempo real

Evalúa la degradación de las propiedades sensoriales del producto, en condiciones reales de tiempo y almacenamiento.

Las pruebas de vida útil en tiempo real ofrecen excelentes datos, pero presentan, en algunos casos, el inconveniente del tiempo prolongado para la obtención del resultado. Entre las consecuencias están que el dato obtenido es puntual y se obtiene en un lapso que puede no ser práctico para la empresa (Araya, 2012). Para la determinación de la vida útil de un alimento deberán considerarse las variables microbiológicas, físico-químicas y sensoriales que mayor influencia tendrán sobre la calidad del producto.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

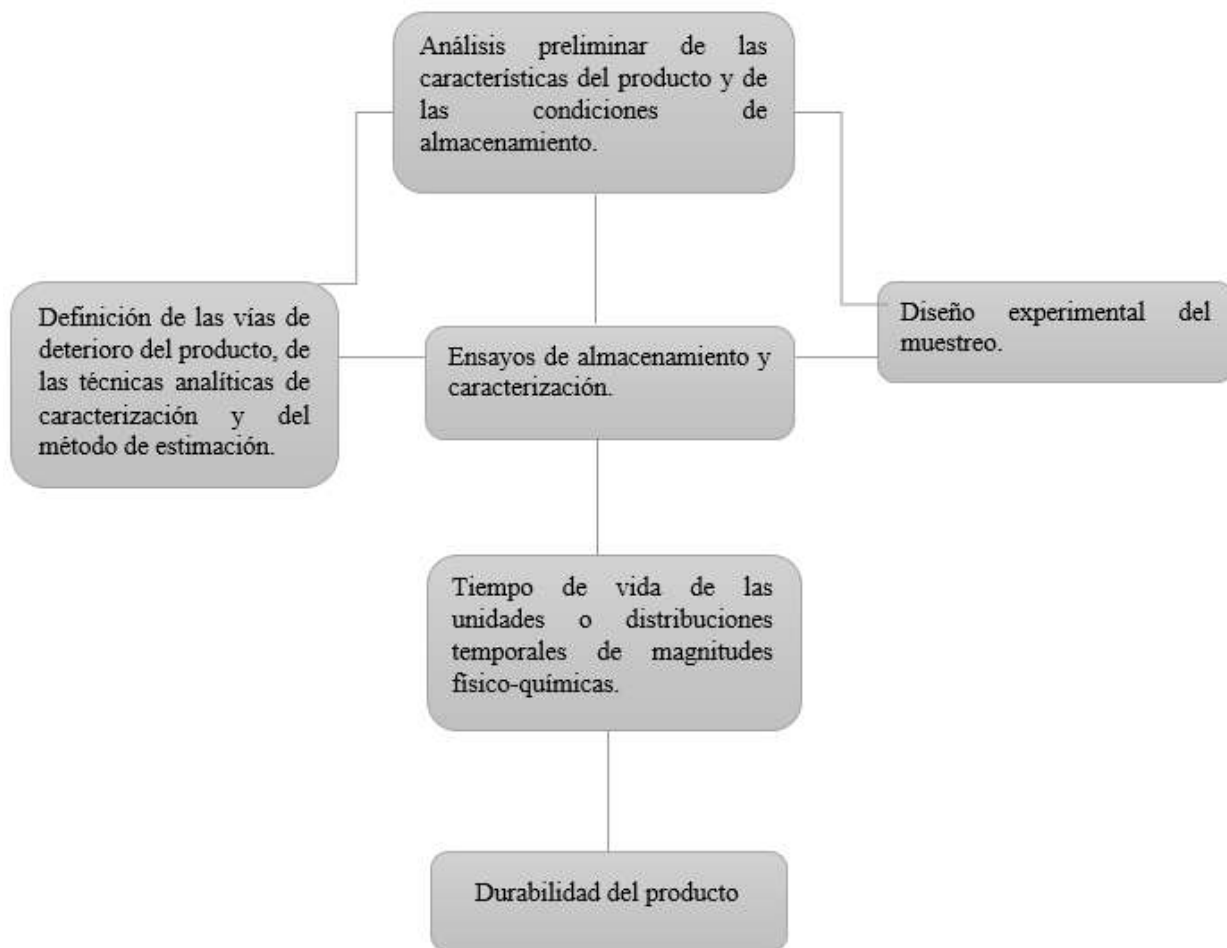


Figura 6. Procedimiento para el diseño de la vida de anaquel.

4.4. Vida de anaquel acelerada

Los estudios de vida en anaquel acelerada o “Accelerated Shelf Life Testing (ASLT)” pueden ser utilizados para estimar con aceptable exactitud la vida en anaquel de un producto que de otra forma tomaría un tiempo largo determinar.

El objetivo es almacenar la combinación producto-empaque bajo condiciones abusadas de prueba, examinar el producto periódicamente hasta que ocurra el final de la vida en anaquel y luego usar estos resultados para proyectar la vida en anaquel del producto bajo condiciones reales de distribución (Labuza & Schimidit, 1985).

Para las pruebas de vida útil acelerada se deben tomar en cuenta no solamente la selección de las temperaturas para realizar las pruebas, sino que debe establecerse el diseño estadístico experimental, realizar las respectivas mediciones por duplicado o triplicado para evaluar las desviaciones de las muestras, y así, evaluar de manera más apropiada la vida útil. Esto sin

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

dejar de lado el hecho de que existe siempre un error asociado con la naturaleza del sistema biológico que generalmente es complejo (García y col., 2011).

Los métodos acelerados de estimación de la vida de anaquel de alimentos se basan en la aplicación de los principios de la cinética química sobre el efecto que las condiciones ambientales como temperatura, presión, humedad, gases de la atmósfera y luz, tienen sobre la velocidad de la reacción

La variable que más afecta la velocidad de las reacciones de deterioro es la temperatura; los métodos que aceleran el deterioro por efecto de ésta se basan en el cumplimiento de la ley de Arrhenius; la ecuación para calcular el efecto de la temperatura sobre la vida media es:

$$t_S = t_0 * e^{-\frac{E_A}{R} \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_S} \right]}$$

Donde: t_S es el tiempo de vida de anaquel a la temperatura T_S , t_0 es el tiempo a la temperatura T_0 , R es la constante de los gases ideales, y E_A es la energía de activación para la reacción de deterioro (Muñoz, 2003).

4.4.1. Prueba acelerada Q_{10}

El factor de aceleración Q_{10} es una manera práctica y confiable de predecir el efecto de las variaciones de temperaturas de almacenamiento en un alimento, el cual indica el número de veces que se modifica la velocidad de una reacción de deterioro cuando la temperatura es variada en 10 °C. Los investigadores establecen que el modelo Q_{10} puede ser usado para describir que tan rápida puede ir una reacción, incluyendo las altas temperaturas (Rondón y col., 2004), además, permite calcular la vida útil real a partir de datos obtenidos de forma acelerada.

López y col., (2013) afirman que la tasa Q_{10} es qué tan rápido se llega a los límites críticos de las variables de respuesta que califican la vida de anaquel cuando la temperatura de almacenamiento es incrementada en comparación con las muestras control. Si la temperatura ideal de almacenamiento de un producto es 2 °C, para calcular la vida de anaquel ahora almacenado a 12°C, se evalúa usando la siguiente ecuación:

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

$$Q_{10} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{\left(\frac{10}{T_2-T_1}\right)}$$

$T_1 < T_2$

Donde:

Q_{10} = Incremento en la velocidad de reacción

R_2 = Velocidad de reacción a la temperatura 2

R_1 = Velocidad de reacción a la temperatura 1

T_2 = Temperatura 2

T_1 = Temperatura

Este método no está exento de desventajas. Debe tenerse cautela en la interpretación de los resultados obtenidos y su extrapolación a otras condiciones (Montoya & Restrepo, 2010). Otra gran desventaja es que puede haber error en la evaluación analítica o sensorial. Generalmente, cualquier medición debe tener una variabilidad de menos del 10% para minimizar los errores en la predicción, además, si altas temperaturas son usadas, una desnaturalización de las proteínas puede darse en el alimento. Esto puede resultar en un incremento o decremento en la velocidad de reacción de ciertas cadenas laterales de aminoácidos, provocando errores en la predicción de la vida de anaquel a temperaturas moderadas.

4.4.2. Fórmulas para calcular la vida de anaquel de un alimento mediante el concepto Q_{10}

Según Rodiles (2015), se pueden aplicar diferentes fórmulas para obtener la vida de anaquel de un alimento mediante el concepto de Q_{10} . Los datos para aplicar la fórmula correspondiente se obtienen de graficar los cambios en el atributo de calidad contra el tiempo en días.

$$\frac{dA}{d\theta} = kA^n$$

Donde:

A = Atributo de medida

$dA/d\theta$ = Cambio del atributo A con respecto al tiempo

k = Constante de velocidad de la reacción.

n = Orden de la reacción (0,1,2)

En las reacciones de orden 0, la velocidad de la reacción no depende del valor de la propiedad del alimento, por lo tanto, el atributo de calidad varía de forma lineal con el tiempo. En las

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

reacciones de orden 1, normalmente se basa en los cambios con respecto al tiempo, ya que la velocidad de la reacción depende de la concentración de la propiedad del alimento (el atributo de calidad varía de forma exponencial con el tiempo).

Entonces, las reacciones de orden 0 corresponden a ecuaciones de tipo lineal, y las de 1^{er} orden a ecuaciones de tipo exponenciales, las cuales pueden ser transformadas a lineales rectas mediante la aplicación de logaritmos (base 10 o neperiano).

$$\text{Orden 0} \quad A = A_o - K_c \theta$$

$$\text{Orden 1} \quad \ln A = \ln A_o - K_1 \theta$$

Donde:

A = Atributo

θ = Tiempo

K_c = Constante de velocidad orden 0; equivalente a la pendiente

K_1 = Constante de velocidad orden 0; equivalente a la pendiente

4.5. Análisis sensorial como herramienta en estudios de vida de anaquel

Carrillo y col. (2007) describen la evaluación sensorial como un grupo de técnicas que mide las respuestas de humanos a los alimentos y minimiza potencialmente los efectos de sesgo de identidad y otra información que influencia la percepción del consumidor.

En estudios de vida de anaquel, las pruebas descriptivas son las más usadas para determinar la intensidad de las características sensoriales de un producto e identificar los parámetros del fin de la vida de anaquel. Es con frecuencia el método óptimo para determinar la vida de anaquel, pero es muy importante que estos datos sean correlacionados con pruebas de percepción del producto por parte de los consumidores. De otra manera, el producto podría ser evaluado por el panel experto como caducado pero todavía ser aceptable para los consumidores (López y col., 2013). Las pruebas sensoriales que se usan de forma más común son las pruebas de discriminación o diferencia, descriptivas y afectivas. Cada una de ellas responde a una pregunta de interés en relación a la calidad del producto a continuación se presenta la Tabla 11 con los principales métodos de prueba en evaluación sensorial.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Tabla 11. Clasificación de métodos de prueba en evaluación sensorial.

Clase	Pregunta de interés	Tipo de prueba	Características de los panelistas
Discriminación o diferencia	¿Son los productos diferentes en alguna forma?	Analítica	Tener agudeza sensorial, orientados a métodos de prueba, requiere un panel algunas veces entrenado.
Descriptiva	¿Cómo difieren los productos en características sensoriales específicas?	Analítica	Tener agudeza sensorial y motivación, requiere un panel entrenado o altamente entrenado.
Afectiva	¿Qué tanto gustan los productos o cuales productos son los preferidos?	Analítica	Puede usarse un panel no entrenado, que conozca el producto a evaluar.

Fuente: Carrillo y col. (2007).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

II. JUSTIFICACIÓN

La liofilización es un proceso de deshidratación que mantiene una alta calidad nutricional y de propiedades estructurales en los alimentos. Presenta dos características importantes: la ausencia de aire que junto a la baja temperatura previene el deterioro por oxidación; y el secado a una temperatura inferior a la ambiente, lo cual minimiza daños al producto final (Márquez & Vergara, 2009). Los factores anteriores además del bajo contenido acuoso en los productos, resulta en la obtención de alimentos con una mayor vida de anaquel comparado con los alimentos frescos.

Desde el punto de vista microbiológico, los alimentos deshidratados tienen una vida de anaquel duradera, sin embargo, en alimentos de alto contenido lipídico, la vida útil generalmente es menor comparado con el daño microbiológico, ya que las reacciones de oxidación se continúan llevando a cabo en función del tiempo, aunque muy lentamente. Es por ello que se hace necesario realizar estudios de vida de anaquel acelerada con alto contenido lipídico, para predecir su vida útil, y cómo el modificar la atmósfera interna del envase puede aumentar su vida útil en almacén. Es por ello, que en este estudio de investigación se propone utilizar la liofilización como un método de deshidratación en alimentos con alto contenido lipídico y estudiar su vida de almacén mediante pruebas de vida de anaquel acelerada.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

III. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y validar las técnicas para realizar pruebas de vida de anaquel acelerada de productos liofilizados con alto contenido de lípidos, las cuales se realizarán en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y posteriormente se hará su transferencia a la empresa Sí o Sí SAPI de CV para que pueda implementar internamente dichas pruebas.

2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la vida de anaquel acelerada de dos productos liofilizados con alto contenido lipídico a temperatura de 55 °C con diferentes condiciones de envasado.
- Identificar la o las variables críticas que tengan una relación directa con la pérdida progresiva de la calidad del producto.
- Efectuar la transferencia de tecnología a la empresa Sí o Sí SAPI de CV.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

IV. HIPÓTESIS

La utilización de pruebas de vida de anaquel acelerada en productos liofilizados con alto contenido de lípidos permitirá predecir la vida útil de los productos en términos de su aceptación sensorial, estabilidad oxidativa y crecimiento microbiano.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LOCALIZACIÓN

Este trabajo se desarrolló en en la Ciudad de Morelia, Mich., México, en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Alimentos de la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

2. MATERIA PRIMA

En esta tesis se trabajó con la empresa SíoSío Alimentos SAPI de CV., la cual proporcionó dos productos liofilizados, los cuales deben mantenerse en confidencialidad, por lo que se les denominará:

- ✓ Producto 1 liofilizado. Se utilizó el producto 1 liofilizado con tamaño de partícula semi-fino, fabricado y proporcionado por la empresa SíoSío Alimentos SAPI de CV., ubicada en Morelia Michoacán.
- ✓ Producto 2 liofilizado. Se utilizó producto 2 liofilizado elaborado a partir de aguacate michoacano variedad Hass fabricado y proporcionado por la empresa SíoSío Alimentos SAPI de CV., ubicada en Morelia, Michoacán.

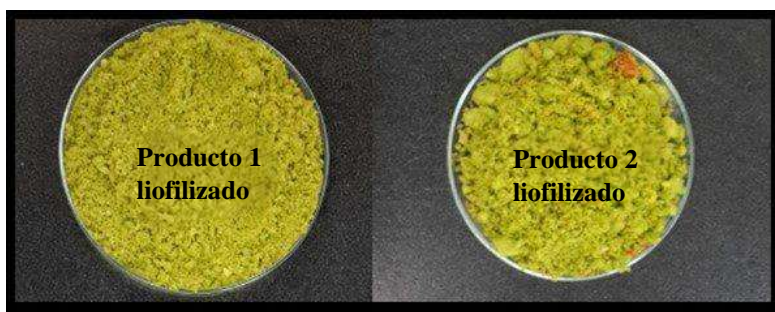


Figura 7. Materia prima a evaluar.

3. METODOLOGÍA

3.1. Vida de anaquel

Los estudios de vida de anaquel acelerada se basaron en el concepto de Q_{10} , donde se señala que un aumento de 10 °C a una determinada temperatura aumenta dos veces la velocidad de reacción, incluyendo en este caso las reacciones de deterioro de alimentos almacenados.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Los estudios de vida de anaquel acelerada incluyeron como variables de respuesta el análisis sensorial que se basó en una escala hedónica de 9 puntos donde se evaluó color, olor, sabor, textura y aceptación general; análisis fisicoquímicos como pH, acidez (%), índice de peróxidos, humedad, rancidez oxidativa, actividad de agua y análisis microbiológico que incluyeron mesófilos aerobios, hongos y levaduras, coliformes totales y enterobacterias.

Considerando que la temperatura ambiente estándar es de 25 °C, una temperatura de 55 °C tendrá un Q_{10} de 3 unidades, dado que las pruebas se llevaron a cabo durante 42 días a 55 °C esto es equivalente a 336 días a 25 °C (0.9 años, 11.2 meses) y a una temperatura de 45 °C tendrá un Q_{10} de 2 unidades, es decir, equivalente a 168 días a 25 °C (0.4 años, 5.6 meses).

$$1 \text{ día a } 45 \text{ °C} = 4 \text{ días a } 25 \text{ °C} = (2)^2$$

$$1 \text{ día a } 55 \text{ °C} = 8 \text{ días a } 25 \text{ °C} = (2)^3$$

3.2. Productos a evaluar

- Producto 1 liofilizado: AGC (producto 1 con atmósfera convencional), AGO (producto 1 con absorbedor de nitrógeno) y AGN (producto 1 con atmósfera de nitrógeno).
- Producto 2 liofilizado: GUC (producto 2 con atmósfera convencional), GUO (producto 2 con absorbedor de nitrógeno) y GUN (producto 1 con atmósfera de nitrógeno).

Se emplearon diferentes tipos de empaqueo usando bolsas laminadas de 16 oz que contenían 250 g de cada producto respectivamente; estos empaques fueron proporcionados por la empresa SíoSío SAPI de CV y se evaluó la influencia que tuvieron diferentes atmósferas que permanecieron en contacto con los productos durante la vida de anaquel de los materiales liofilizados 1 y 2, los tres empaques con las diferentes atmósferas fueron los siguientes:

- Empaque laminado con atmósfera convencional utilizada en la empresa SíoSío SAPI de CV.
- Empaque laminado con atmósfera con absorbentes de oxígeno basados en sílica Oxi-Guard® se colocaron dentro de cada bolsa entre el producto, dos sobres de absorbentes de oxígeno (1 sobre A-30CC, 1 sobre A-20CC) necesarios para el volumen de aire residual dentro del empaque 250 cc, y se selló inmediatamente, realizado en la empresa SíoSío SAPI de CV.
- Empaque laminado con atmósfera con gas nitrógeno empaclado en el Centro de Innovación Tecnológica y Servicios para la Industria Alimentaria de la Universidad Autónoma de Guadalajara, México.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.



Figura 8. Empaque utilizado.

A=Empaque convencional. B= Empaque con absorbente de oxígeno. C= Empaque con gas nitrógeno

3.3. Análisis sensorial

Tabla 12. Escala hedónica empleada en análisis sensorial.

ESCALA HEDÓNICA	COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA
Me gusta muchísimo				
Me gusta mucho				
Me gusta moderadamente				
Me gusta un poco				
Me es indiferente				
Me disgusta un poco				
Me disgusta moderadamente				
Me disgusta mucho				
Me disgusta muchísimo				

Se realizaron pruebas panel para detectar el grado de aceptación en los parámetros de color, olor, sabor y textura en ambos productos liofilizados, después de haberlos rehidratado; el producto 1 (65 g de agua y 35 g de producto 1, semi fino liofilizado) y el producto 2 liofilizado (67 g de agua y 33 g de producto 2 liofilizado). Se aplicó una prueba afectiva a 20 panelistas no entrenados, utilizando una escala hedónica de nueve puntos que fue desde Me gusta muchísimo que indicó un 100% de aceptación, a Me disgusta muchísimo con

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

aceptación del 0%. La cual también nos permitió comparar el grado de aceptación de los productos liofilizados empacados en las diferentes atmósferas.

3.4. Análisis fisicoquímicos

3.4.1. Determinación de pH

Método potenciométrico (NMX-F-317).

Se reconstituyeron 30 g de producto 1 (65% de agua y 35% de producto 1 liofilizado) y el producto 2 liofilizado (67% agua y 33% de producto 2 liofilizado) respectivamente, en un vaso de precipitados de 100ml. Se calibró el potenciómetro marca Hanna® HI-223 con los buffers pH 7 y 4, una vez calibrado el potenciómetro se introdujo el electrodo en la muestra reconstituida y se realizó la lectura.

3.4.2. Extracción de aceite

Para la determinación de porcentaje de acidez, índice de peróxidos y de rancidez, el aceite fue extraído de las muestras de producto 1 liofilizado y producto 2 liofilizado.

Los aceites, de ambos productos liofilizados, se extrajeron mediante el método de contacto directo. Se colocaron 100 g respectivamente de cada producto en un contenedor de papel filtro y se colocaron en un frasco ámbar con el solvente de extracción (éter) en relación 8:1. Se dejó en contacto la muestra de los productos liofilizados con el éter durante 24 h a temperatura ambiente y se extrajo su aceite con un rota vapor marca Hahnvapor®. El aceite obtenido se almacenó en un frasco ámbar y este se utilizó para las diferentes determinaciones de porcentaje de acidez, índice de peróxidos y rancidez oxidativa.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.



Figura 9. Extracción de aceite.

3.4.3. Determinación del porcentaje de acidez

Método oficial de la AOAC 940.28. Ácidos grasos libres en aceites crudos y refinados.

En un matraz Erlenmeyer se pesaron 7 g de aceite en una balanza analítica marca Sartorius®, se le agregaron 250 ml de alcohol (previamente neutralizado agregando 2 ml de fenolftaleína y suficiente NaOH 0.1 N hasta una coloración rosa claro). Se agregaron 2 ml de fenolftaleína al 1% en etanol como indicador y se tituló con una solución de NaOH 0.1N exactamente valorada y con vigorosa agitación hasta alcanzar el punto de equivalencia con la coloración rosa que permaneció ≥ 1 min.

El porcentaje de ácidos grasos libres se expresó en términos de ácido oleico; los ml de NaOH 0.1 N usados para la titulación correspondieron a este porcentaje.

$$\% \text{ Acidez} = \frac{V \cdot 0.0282 \cdot 100 \cdot N}{P}$$

Dónde: 1ml de la solución de NaOH equivale a 0.0282 g de ácido oleico. P= peso de la muestra en g. V= volumen de NaOH gastados en la titulación en ml. N= Normalidad del NaOH.

3.4.4. Determinación de índice de peróxidos

NMX-F-154-1987. Alimentos y grasas vegetales o animales. Determinación de índice de peróxidos.

Se pesaron 5 g de aceite en un matraz Erlenmeyer en una balanza analítica marca Sartorius® y se adicionaron 30 ml de la solución ácido acético-cloroformo (1.5:1). Se agitó suavemente hasta que se disolvió toda la muestra de aceite con el solvente, y se adicionaron 0.5 ml de la

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

solución saturada de KI (128 g de KI en 100 ml de agua); se agitó y se dejó reposar durante 1 min, después se adicionaron 30 ml de agua destilada y se tituló con tiosulfato de sodio al 0.002 N, se agitó vigorosamente hasta tener una coloración ligeramente amarilla. Se adicionaron 0.5 ml de almidón al 1 % como indicador para tener una coloración azul y se continuó titulando sin dejar de agitar hasta la desaparición del color.

Se realizó una prueba en blanco en las mismas condiciones en las que se efectuó la de la muestra.

$$\text{Índice de Peróxidos } \left(\frac{\text{meqO}_2}{\text{Kg}} \right) = \frac{S \cdot N \cdot 1000}{M}$$

Dónde: S=ml de tiosulfato de sodio gastados en la titulación, y corregidos con el blanco.
N=Normalidad del tiosulfato. M= peso de la muestra.

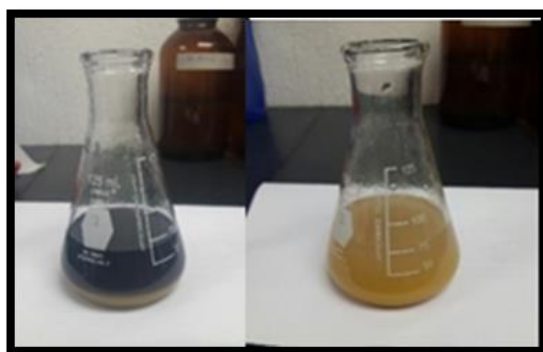


Figura 10. Determinación de índice de peróxidos.

3.4.5. Rancidez oxidativa

NMX-F-222-1975. Determinación de rancidez en aceites y grasas vegetales o animales. (Método de Kreiss).

En un tubo de ensayo perfectamente limpio y seco, se vertieron con una pipeta 10 ml de la muestra de aceite de los productos liofilizados, se agregaron 10 ml de ácido clorhídrico concentrado y se tapó con tapón de goma, se agitó vigorosamente por espacio de 30 seg, adicionando a la mezcla 10 ml de solución de Floroglucinolal al 0.1% en éter, se tapó para evitar alguna posible proyección y se agitó enérgicamente. Posteriormente se dejó en reposo y se observó el color; la formación de un color rojo intenso, indica la rancidez de la muestra.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

3.4.6. Determinación de humedad

Método AACC de 2000.

Se colocó la cápsula de porcelana para cada muestra durante 1 h a 105 °C en una estufa marca Felisa®, y posteriormente se puso en un desecador durante 30 min donde se atemperó y se pesó la cápsula, una vez que la cápsula estuvo a peso constante, se pesaron 3 g de muestra de los productos liofilizados 1 y 2, y se colocaron en la estufa durante 4 h, se sacaron las cápsulas de la estufa y se colocaron en el desecador durante 30 min y se pesaron nuevamente.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{Pm - Ps}{M} \times 100$$

Dónde: Pm = peso de la cápsula y la muestra húmeda en gramos. Ps = peso de la cápsula y la muestra seca en gramos. M = peso de la muestra húmeda en gramos.

3.4.7. Determinación de humectabilidad

Método estático modificado y descrito por Ceballos (2008).

Se colocó una cantidad constante de producto liofilizado (1 g) sobre una placa de vidrio que cubría un vaso de precipitados de 100 ml, el cual contenía 100 ml de agua destilada. Se puso en contacto el polvo con el agua retirando rápidamente la placa y se midió el tiempo en segundos requerido para que se sumergiera la última partícula de muestra de la superficie.

3.4.8. Determinación de actividad de agua

Este parámetro se determinó en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Querétaro, México, utilizando un equipo Aqualab® que emplea sensores de punto de rocío, en donde se colocó la muestra en el equipo y se realizó la lectura a una temperatura aproximada de 25 °C.

3.5. Análisis microbiológicos

El análisis microbiológico se llevó a cabo en placas Petrifilm® de la siguiente manera:

- Preparación de la solución reguladora de fosfatos: Se disolvieron 34 g de fosfato de potasio monobásico en 500 ml de agua destilada. Se ajustó el pH a 7.2 con hidróxido de sodio 1N y se aforó hasta 1L. Esta solución se esterilizó a 121 °C durante 15 min. Se tomaron 125 ml de la solución concentrada y se llevó a 1 L con

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

agua (solución de trabajo). Se distribuyó en porciones de 9 ml y se esterilizó a 121 ± 1 °C durante 15 min (NOM-110-SSA1-1994).

- Preparación de la muestra: La preparación de la muestra se realizó de acuerdo a lo establecido en la NOM-110-SSA1-1994. Preparación y Dilución de Muestras de Alimentos para su Análisis Microbiológico. Se tomó un 1 g de muestra de productos liofilizados 1 y 2 y se diluyó con la solución reguladora de fosfatos en una proporción 1:10.
- Inoculación: se puso la placa Petrifilm® en una superficie plana. Se levantó el film superior. Con una pipeta colocada de forma perpendicular a la placa Petrifilm®, se colocó 1 g de la muestra en el centro del film inferior. El film superior se bajó con cuidado evitando introducir burbujas de aire. Después se colocó el aplicador para alta sensibilidad en el film superior sobre el inóculo, y se distribuyó la muestra ejerciendo una ligera presión sobre el mango del aplicador.

Se utilizaron placas Petrifilm® para el conteo de:

- Mesófilos aerobios
- Coliformes totales
- Enterobacterias
- Hongos y levaduras

- Incubación

-Mesófilos Aerobios	48 h \pm 3 h a 35 °C \pm 1 °C	(AOAC método oficial 991.14)
-Coliformes totales	24 h \pm 2 h a 35 °C \pm 1 °C	(AOAC método oficial 990.12)
-Enterobacterias	24 h \pm 2 h a 35 °C \pm 1 °C	(Compendium de métodos para la examinación microbiológica de los alimentos)
-Hongos y levaduras	5 días a 25 °C \pm 1 °C	(AOAC método oficial 997.02)

3.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las determinaciones fueron analizados estadísticamente utilizando el programa JMP6.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. ANÁLISIS SENSORIAL

1.1. Aceptación general

La vida de anaquel de los productos estuvo basada en el análisis sensorial de 20 panelistas que fueron alumnos de la Facultad de Químico Farmacobiología, en donde el final de la vida de anaquel de los productos se basó cuando la aceptación general de los productos fue de un 60 %. Los productos AGC y AGO se dejaron de evaluar al día 21 debido a comentarios negativos relacionados a cambios sensoriales de los productos, por parte de los panelistas y para los productos AGN, GUC, GUO y GUN el último análisis se efectuó el día 28 de igual manera debido a comentarios negativos por parte de los panelistas.

En la Figura 11 se observa el porcentaje de aceptación de la muestra de AGC, en donde el final de la vida de anaquel fue igual a 11.15 días a 55 °C, que representan 89.2 días a 25 °C (2.9 meses), el producto de partida tenía un mes de haber sido elaborado por lo que la vida de anaquel total estimada para este producto fue de 3.9 meses.

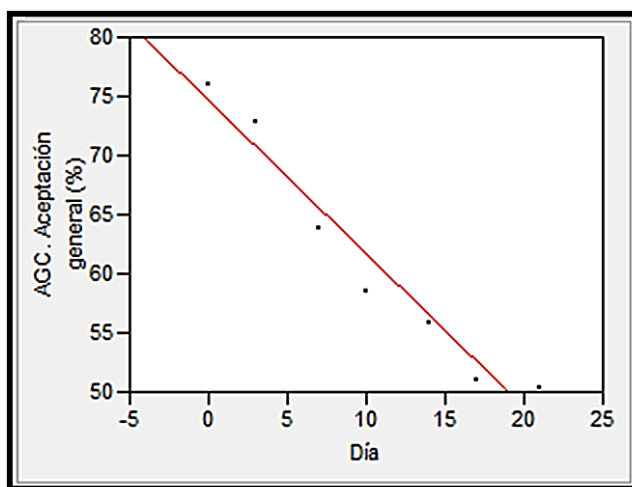


Figura 11. Aceptación del producto AGC.

$$\text{Ecuación: AGC. Aceptación general (\%)} = 74.663295 - 1.3090703 \text{ Día} \quad R^2 = 0.94$$

En la Figura 12 se presenta el porcentaje de aceptación de la muestra AGO en donde el final de la vida de anaquel fue igual a 7.7 días a 55 °C, que representan 61.6 días a 25 °C (2.05 meses), el producto de partida tenía un mes de elaboración por lo que la vida de anaquel total estimada para este producto fue de 3.05 meses.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

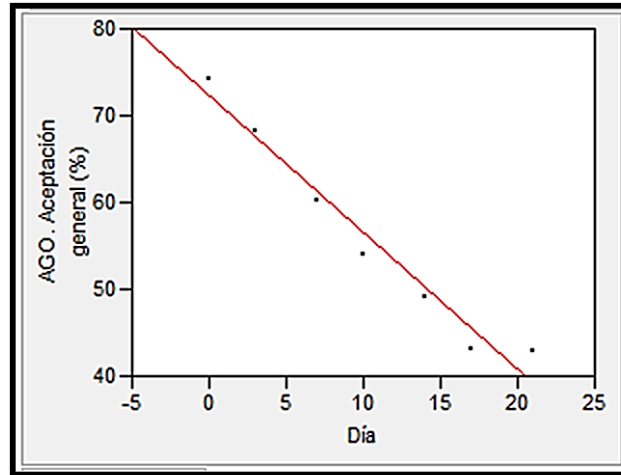


Figura 12. Aceptación del producto AGO.

Ecuación:

$$\text{AGO. Aceptación general (\%)} = 72.242026 - 1.5839122 \text{ Día}$$

$$R^2 = 0.96$$

En la Figura 13 se presenta el porcentaje de aceptación de la muestra de AGN en donde el final de la vida de anaquel fue igual a 34.4 días a 55 °C, que representan 275.2 días a 25 °C (9.1 meses), el producto de partida tenía un mes de elaboración por lo que la vida de anaquel total estimada para este producto fue de 10.1 meses.

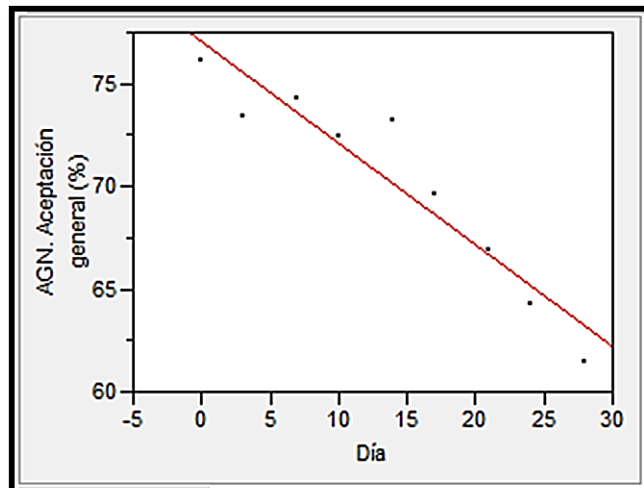


Figura 13. Aceptación general del producto AGN.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Ecuación:

AGN. Aceptación general (%) = 77.011958 - 0.4942953 Día

$R^2=0.89$

Como se observa en la Tabla 13, en el producto AGN se obtuvieron mejores resultados en el análisis sensorial, triplicando su vida de anaquel en comparación con el producto AGC, esto pudo deberse a que al estar en una atmósfera inerte las reacciones químicas y microbiológicas disminuyeron drásticamente, en cambio el producto AGO disminuyó en un 30% aproximadamente su vida de anaquel en comparación con el producto AGC, lo cual pudo estar relacionado a que este producto llevo un proceso de molienda donde permitió una mayor entrada de oxígeno al producto y además al romper la estructura del producto por la molienda la gran cantidad de aceite que contiene el alimento queda expuesta en mayor medida al oxígeno, esto y la elevada temperatura a la que fueron sometidos estos productos (55 °C) durante la evaluación de su vida de anaquel, pudieron haber influido resultando en características sensoriales desfavorables para el producto como una mayor oxidación del mismo.

Tabla 13. Vida de anaquel del producto 1 empacado en diferentes atmósferas.

	AGC	AGO	AGN
Vida de anaquel	3.9 meses	3.05 meses	10.1 meses

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

En la Figura 14 se presenta el porcentaje de aceptación de la muestra de GUC en donde el final de la vida de anaquel fue igual a 22.8 días a 55 °C, que representan 182.4 días a 25 °C, por lo que la vida de anaquel del producto fue de 6.08 meses.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

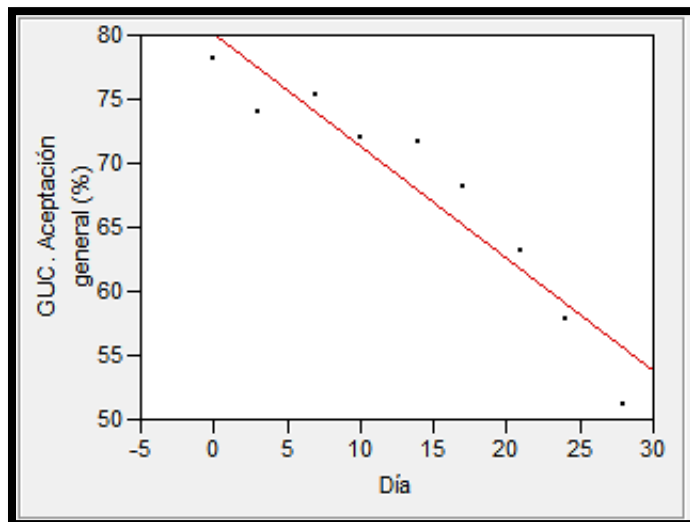


Figura 14. Aceptación general del producto GUC.

Ecuación: $GUC. Aceptación\ general\ (\%) = 80.029384 - 0.8779996\ Día$

$R^2=0.90$

En la Figura 15 se presenta el porcentaje de aceptación de la GUO en donde el final de la vida de anaquel fue igual a 28.6 días a 55 °C, que representan 228.8 días a 25 °C por lo que la vida de anaquel del producto fue de 7.6 meses.

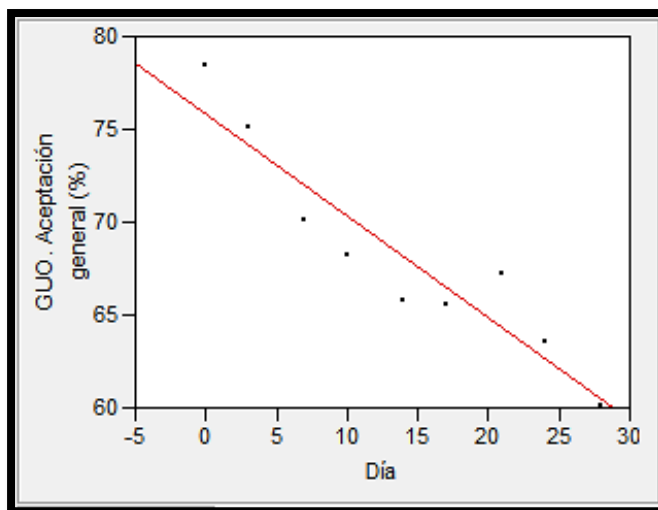


Figura 15. Aceptación general del producto GUO.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Ecuación: GUO. Aceptación general (%) = 75.834414 - 0.5526994 Día

$R^2=0.87$

En la Figura 16 se muestra el porcentaje de aceptación de la muestra de GUN en donde el final de la vida de anaquel fue igual a 38.18 días a 55 °C, que representan 310.4 días a 25 °C, por lo que la vida de anaquel del producto fue de 10.3 meses.

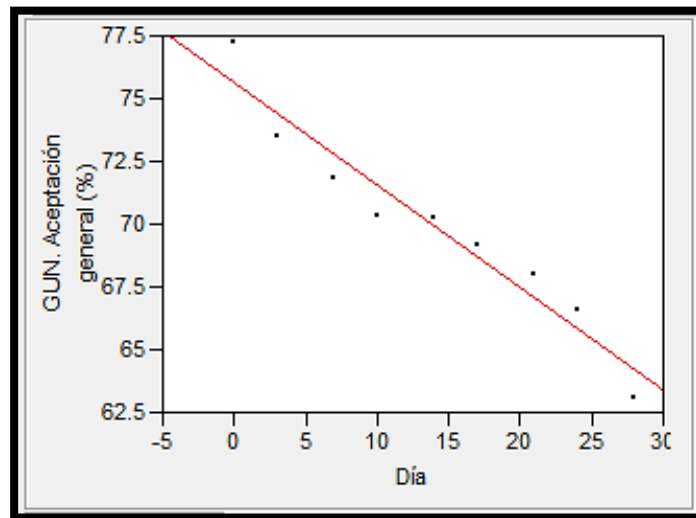


Figura 16. Aceptación general del producto GUN.

Ecuación: GUN. Aceptación general (%) = 75.639427 - 0.4095249 Día

$R^2=0.92$

En la Tabla 14 se presentan los resultados obtenidos del análisis sensorial respecto a la vida de anaquel. Se observa que se incrementó un 66 % la vida de anaquel del producto GUN con respecto al producto GUC, y el GUO incrementó un 25 % con respecto al producto GUC.

En el producto 2 GUO no se presentó una disminución de la vida de anaquel como sucedió en el producto 1 AGO esto debido probablemente a que el producto 2 a diferencia del producto 1 no es sometido a un proceso de molienda y por tanto no presenta grandes modificaciones en su estructura que pueda afectar su calidad.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Tabla 14. Vida de anaquel de producto 2 empacado en diferentes atmósferas.

	GUC	GUO	GUN
Vida de anaquel	6.08 meses	7.6 meses	10.3 meses

GUC= liofilizado empacado convencionalmente. GUO= liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= liofilizado empacado con gas nitrógeno.

1.2. Análisis sensorial. Color

En la Figura 17 se observa la comparación en cuanto a la aceptación de color de los diferentes productos. En el producto 1 liofilizado se vislumbra una mayor aceptación por AGN seguido de AGC y por último el producto AGO. En cuanto al producto 2 liofilizado presenta una aceptación muy semejante a la aceptación de color de los tres productos; GUC, GUO y GUN. En general se observa una disminución en el porcentaje de aceptación conforme pasan los días; esto probablemente se deba a distintas razones:

-Como lo reportan Ortíz y col. (2003), el aguacate experimenta como consecuencia de la acción del calor, la degradación de la clorofila hacia colores parduscos lo cual repercute en una menor aceptación del color por parte de los panelistas

-El pardeamiento enzimático, reacción catalizada por la enzima polifenoloxidasas que se encuentra ampliamente distribuida en las plantas (Restrepo, 2012), el oscurecimiento debido a esta enzima (PPO) es inducido por un daño físico a las células en las cuales están presentes compuestos monofenólicos, que al interactuar con el oxígeno atmosférico y las enzimas endógenas (PPO) son hidrolizados a orto-di fenoles y oxidados a orto-quinonas, compuestos que pueden condensarse y reaccionar no enzimáticamente para producir pigmentos oscuros. Como se mencionó anteriormente el pH óptimo para la actividad de la PPO es entre 5.5 a 6.5, puesto que el pH determinado de los productos está entre estos valores, se cree que esta enzima tiene gran responsabilidad en el oscurecimiento del producto y por lo tanto en la disminución de la aceptación por parte de los consumidores.

-La enzima peroxidasa es capaz de oxidar los substratos fenólicos a quinonas, encontrándose síntomas severos de pardeamiento de pulpa a mayor actividad de esta enzima (Restrepo, 2012).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

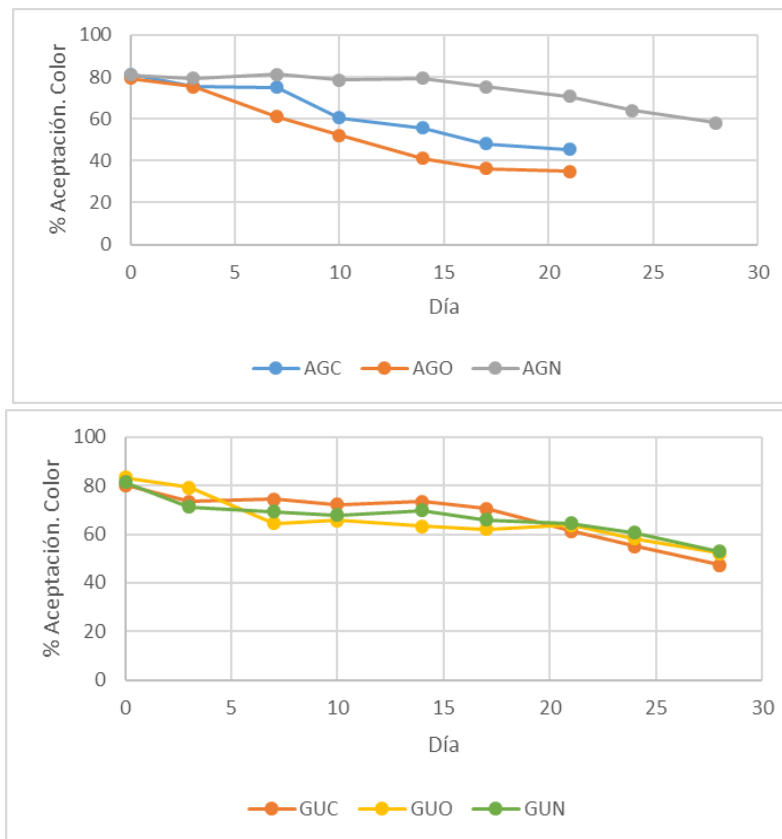


Figura 17. Aceptación Color. Producto 1 y 2 Liofilizado.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

1.3. Análisis sensorial. Olor

En la Figura 18 se observa la comparación en cuanto a la aceptación de olor de los diferentes productos, en el producto 1 liofilizado se muestra una mayor aceptación por el producto AGN seguido de AGC y por último el producto AGO. En cuanto al producto 2 liofilizado presenta una aceptación muy semejante en cuanto al color de los tres productos GUN > GUO > GUC. En general se observa una disminución en el porcentaje de aceptación con el paso de los días, esto puede deberse a que la rancidez hidrolítica de las grasas libera ácidos grasos poliinsaturados, a los cuales la lipoxigenasa oxida, los productos tienen un importante contenido de ácido linoleico por lo que se debe de considerar entonces que la lipoxigenasa tiene la posibilidad de llevar a cabo su acción catalítica en el producto, produciendo así diferentes olores desagradables debido a la liberación de aldehídos y cetonas volátiles.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

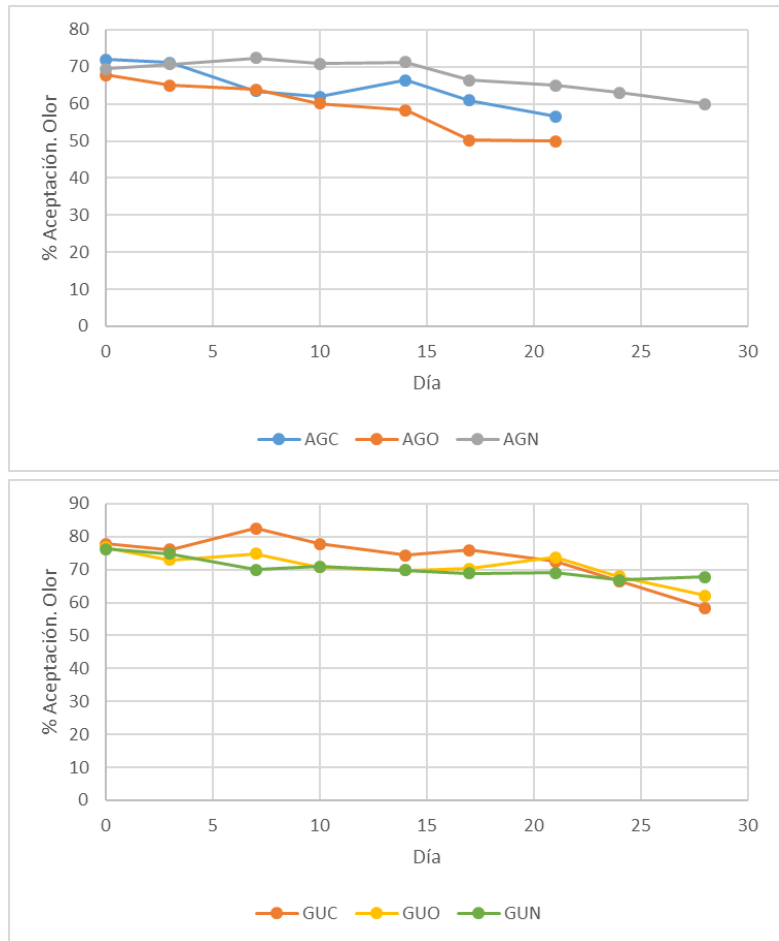


Figura 18. Aceptación Olor. Producto 1 y 2 Liofilizados.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

1.4. Análisis sensorial. Sabor

En la Figura 19 se observa la comparación en cuanto a la aceptación de sabor de los diferentes productos, para el producto 1 liofilizado se obtiene una mayor aceptación por el producto AGN y aceptación menor y similar para AGC y AGO. En cuanto al producto 2 liofilizado presenta una aceptación muy semejante en cuanto al sabor de los tres productos siendo mayor para GUN y GUO con respecto a GUC. De forma general se observa un decaimiento en el

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

porcentaje de aceptación conforme pasan los días, esto puede deberse al igual que se mencionó en el parámetro olor, a que la rancidez hidrolítica ocasionada por la hidrólisis de las grasas libera ácidos grasos y su posterior degradación a compuestos menores volátiles de olor desagradable, y en muchas grasas, la presencia de estos compuestos volátiles ocasionan un sabor tan desagradable, que puede malograr el producto totalmente.

Los sabores oxidados son el efecto inmediatamente reconocible de la oxidación de los lípidos en los alimentos. Se ha determinado la identidad química de ciertos productos “rancios” de la oxidación de lípidos. Estos son en su mayoría compuestos carbonílicos de cadena corta, formados como resultado de la descomposición de peróxidos.

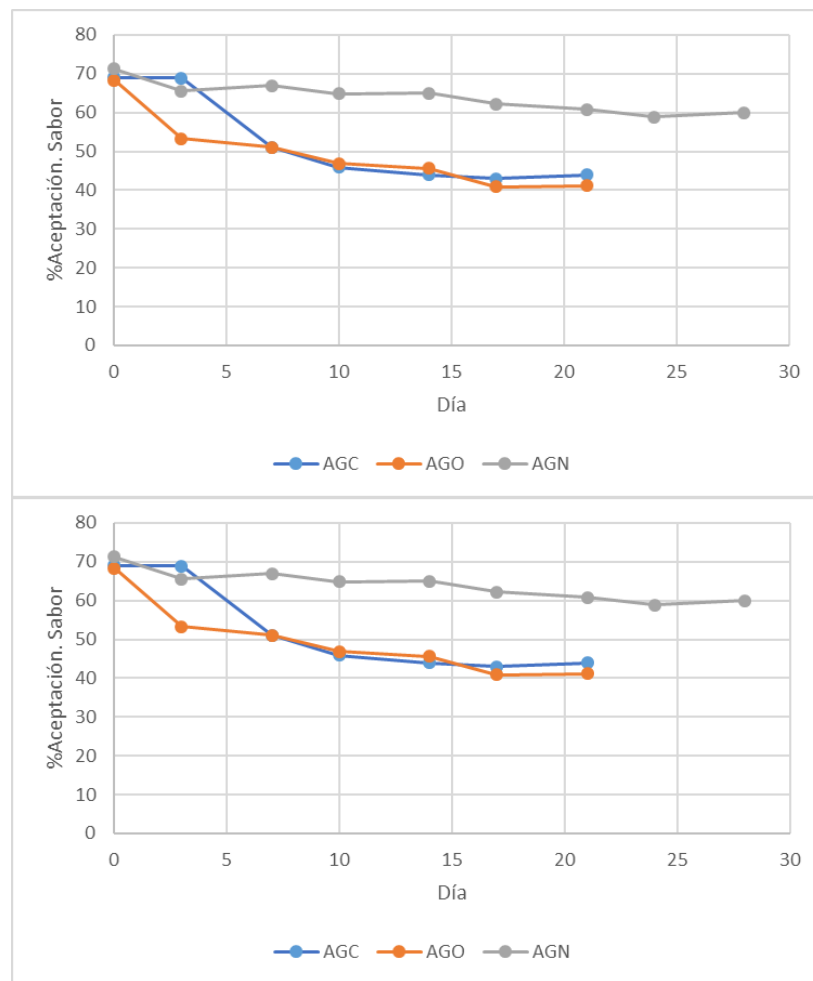


Figura 19. Aceptación Sabor. Producto 1 y 2 Liofilizado.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

1.5. Análisis sensorial. Textura

En la Figura 20 se observa la comparación en cuanto a la aceptación de textura de los diferentes productos, para el producto 1 AGN seguido por producto 1 AGC y una menor aceptación para producto 1 AGO. En cuanto al producto 2 liofilizado presenta una aceptación muy semejante en cuanto a la aceptación de la textura de los tres productos siendo mayor para el producto GUN seguido del producto GUO y una menor aceptación en textura para GUC. La disminución en la aceptación de la textura puede deberse a la reacción que se lleva a cabo entre las proteínas y los productos de la oxidación de lípidos presentes en el alimento. El mecanismo de interacción implica que los compuestos monocarbonilos formados por autooxidación de ácidos grasos no saturados, se condensan fácilmente con los grupos NH_2 libres de proteínas lo cual resulta en una pérdida de solubilidad y consistencia de las proteínas, además, los productos de la oxidación de lípidos interactúan con proteínas y otros componentes de los alimentos, reduciendo su calidad nutricional.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

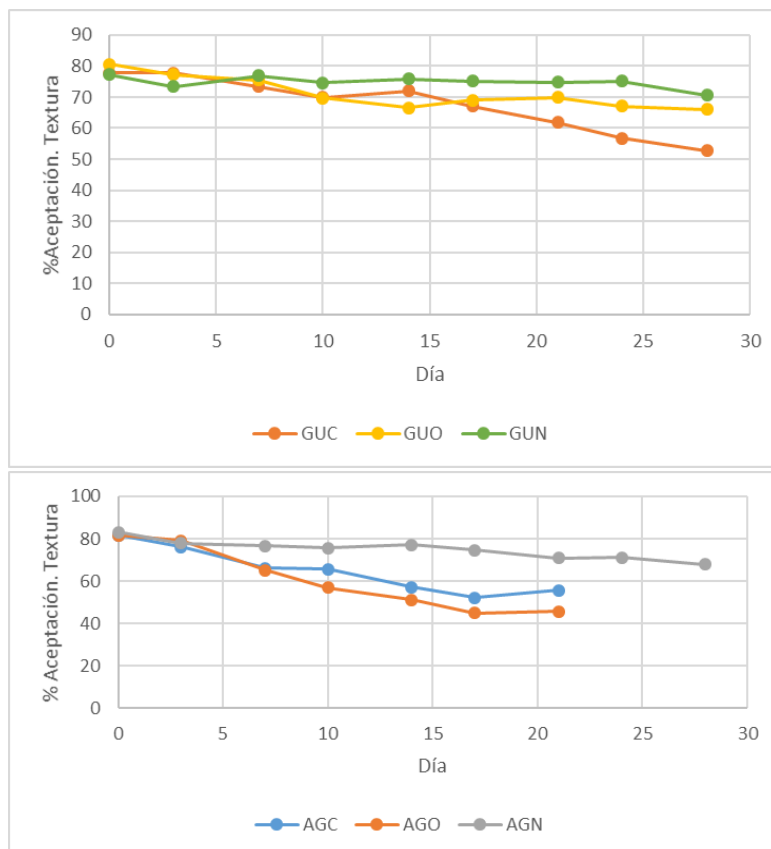


Figura 20. Aceptación Textura. Producto 1 y 2 Liofilizado.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

En las gráficas anteriores se observa que las características sensoriales color, olor, sabor y textura tanto el producto 1 como el producto 2 liofilizado empacados con gas nitrógeno AGN y GUN recibieron un mayor porcentaje de aceptación por parte de los panelistas, la gran mayoría de estos hicieron comentarios favorables respecto a estos productos como fueron que tenían mejor textura y sabor las cuales se conservaron durante su almacenamiento.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

2.1. Determinación de pH

En la Figura 21 se observan los cambios de pH en los productos liofilizados. En la Tabla 15 se muestra el pH al inicio de la vida de anaquel del producto 1 liofilizado, está en 6.5 aproximadamente disminuyendo a alrededor de 5.95 en los productos AGC y AGO, y para el producto AGN disminuyó hasta 5.58, recordando que este producto es el que mayor vida de anaquel tuvo con respecto al análisis sensorial. En cuanto al producto 2 liofilizado inicia con un pH entre 6.4 y 6.5 y al final de la vida de anaquel de cada producto presenta un pH entre 5.45 y 5.70 para los tres productos: GUC, GUO y GUN. El pH de todos los productos cambio durante el almacenamiento lo cual influyó en la disminución de la vida de anaquel de los mismos, ya que este descenso de pH fue debido a cambios químicos en el producto, tal como lo fue el incremento de ácidos grasos libres que influyen en una mayor acidez y por tanto rancidez de tipo hidrolítica en el producto. Los vegetales deshidratados pueden presentar pérdida de componentes volátiles y formación de ácidos orgánicos. Estos cambios tienden a modificar la actividad del ion hidrógeno del sistema, con una disminución de pH (Araya, 2012). Por lo tanto el pH es un parámetro fundamental en la determinación de la vida útil, dado que nos muestra a través del tiempo un deterioro de la calidad del producto (Montoya & Restrepo, 2010).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

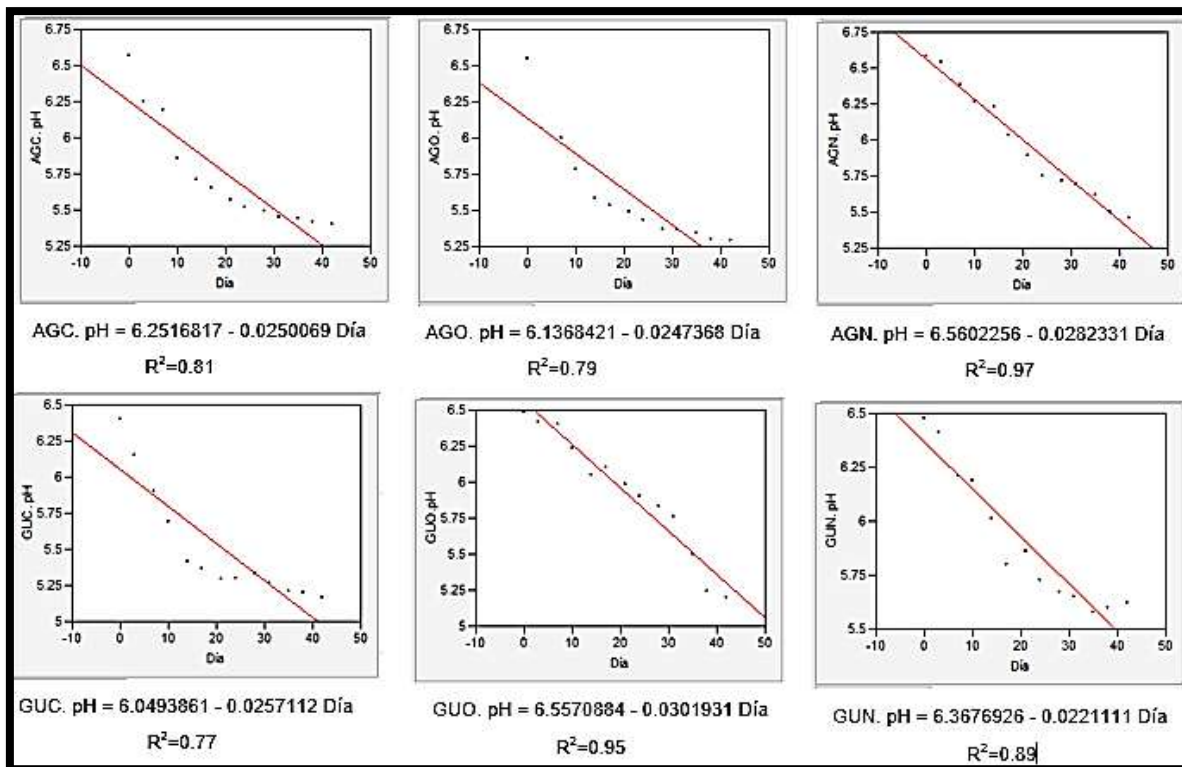


Figura 21. Variación de pH durante la vida de anaquel.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Tabla 15. Comparación de pH inicial y final de la vida de anaquel.

	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	6.57	6.55	6.58	6.40	6.48	6.48
Final vida de anaquel	5.97	5.94	5.58	5.46	5.69	5.52

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

2.2. Determinación de porcentaje de acidez

En la Figura 22 se observan los cambios del porcentaje de acidez en los productos 1 y 2 liofilizado. En la Tabla 16 el porcentaje de acidez al inicio de la vida de anaquel del producto 1 liofilizado esta entre 0.041 y 0.048% para los tres productos: AGC, AGO y AGN. En cuanto al producto 2 liofilizado inicia con un porcentaje de acidez menor que el producto 1 liofilizado que esta entre 0.02 y 0.03% y al final de la vida de anaquel de cada producto presenta un porcentaje de acidez entre 0.063 y 0.083%. Este cambio en la acidez del producto se debe a la rancidez hidrolítica, la cual provoca un incremento de ácidos grasos libres por acción de una enzima que habitualmente es una lipasa o esterasa, estas enzimas rompen los enlaces éster entre el glicerol y los ácidos grasos, con lo que se liberan ácidos grasos y se aumenta la acidez, esto influye en cambios de pH, disminución de parámetros sensorial y por tanto un factor determinante en la evaluación de la vida de anaquel.

Según la NMX-F-052-SCFI-2008 ACEITES Y GRASAS- ACEITE DE AGUACATE-ESPECIFICACIONES el aceite de aguacate debe contener como máximo 1.5% de ácidos grasos libres (ácido oleico), por lo que se observó que hubo un mínimo en la formación de ácidos grasos libres ya que ambos productos (1 y 2) están aún muy por debajo del valor permitido.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

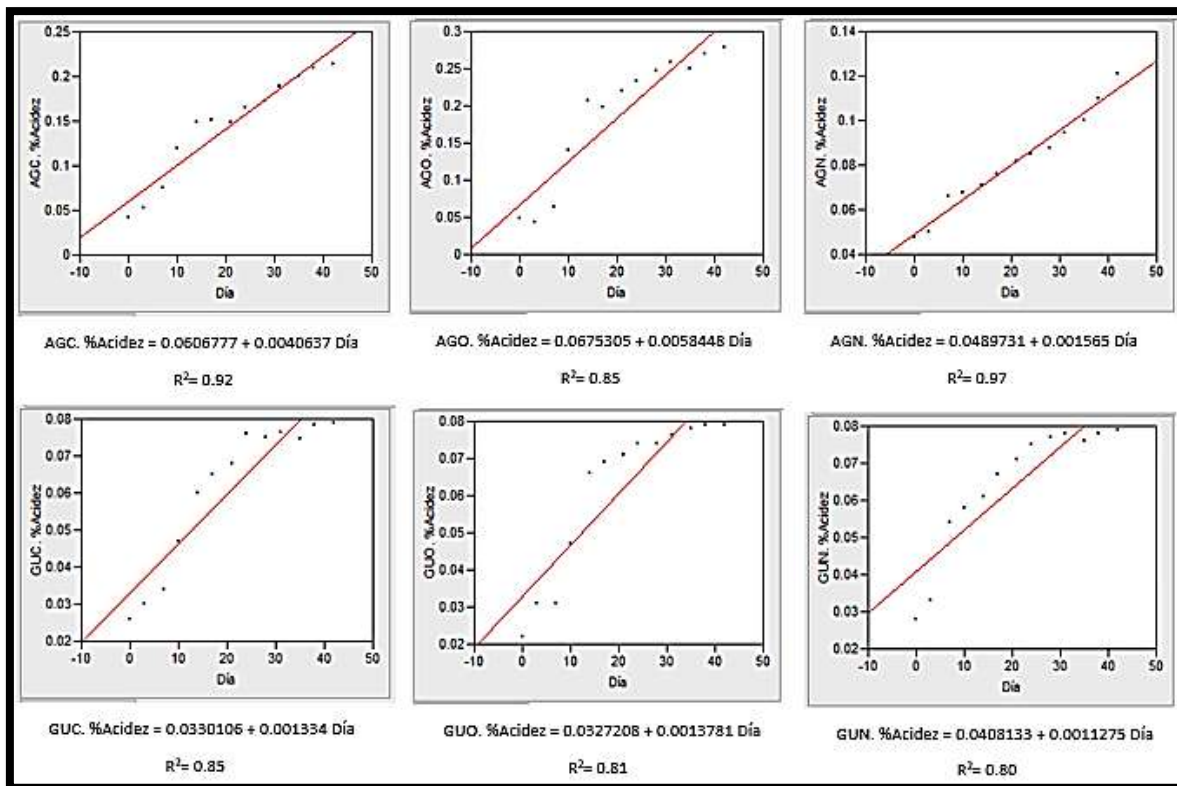


Figura 22. Variación de % de acidez durante la vida de anaquel.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Tabla 16. Comparación de % acidez inicial y final de la vida de anaquel.

	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	0.041	0.042	0.048	0.026	0.022	0.028
Final vida de anaquel	0.106	0.112	0.102	0.063	0.072	0.083

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

2.3. Determinación de índice de peróxidos

En la Figura 23 se observa la variación del índice de peróxidos (IP) en las diferentes muestras: en el producto 1 AGC alcanza un mayor incremento en IP en el día 10, alrededor de 10 meqO₂/kg, dentro de los parámetros de calidad para este tipo de aceites, establecidos por el Codex Stan 19-1981, así como la NMX-F-052-SCFI-2008, el valor máximo de peróxidos debe ser de 10 meqO₂/kg, a diferencia de lo observado en el producto AGO y AGN que están por debajo de este valor al final de su vida de anaquel, en cuanto al producto 2 GUC, GUO y GUN presentan un alrededor de 5 meqO₂/kg al final de su vida de anaquel. Ya que el IP establece un grado de avance de la oxidación de sus ácidos grasos insaturados, podemos determinar que tanto el empaque con absorbedor de oxígeno como con gas nitrógeno son efectivos en el producto 1 y en el 2 ya que influyen en disminuir la oxidación de lípidos, esto no lo podemos afirmar para el producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno (AGC) debido a que presentó un incremento en el índice de peróxidos.

Los peróxidos son reactivos, producen nuevos radicales libres que alimentan la reacción, se polimerizan, se oxidan, sintetizan epóxidos que generan aldehídos, cetonas, ácidos y otros compuestos de bajo peso molecular, esta reactividad provoca que la cantidad de peróxidos vaya declinando.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

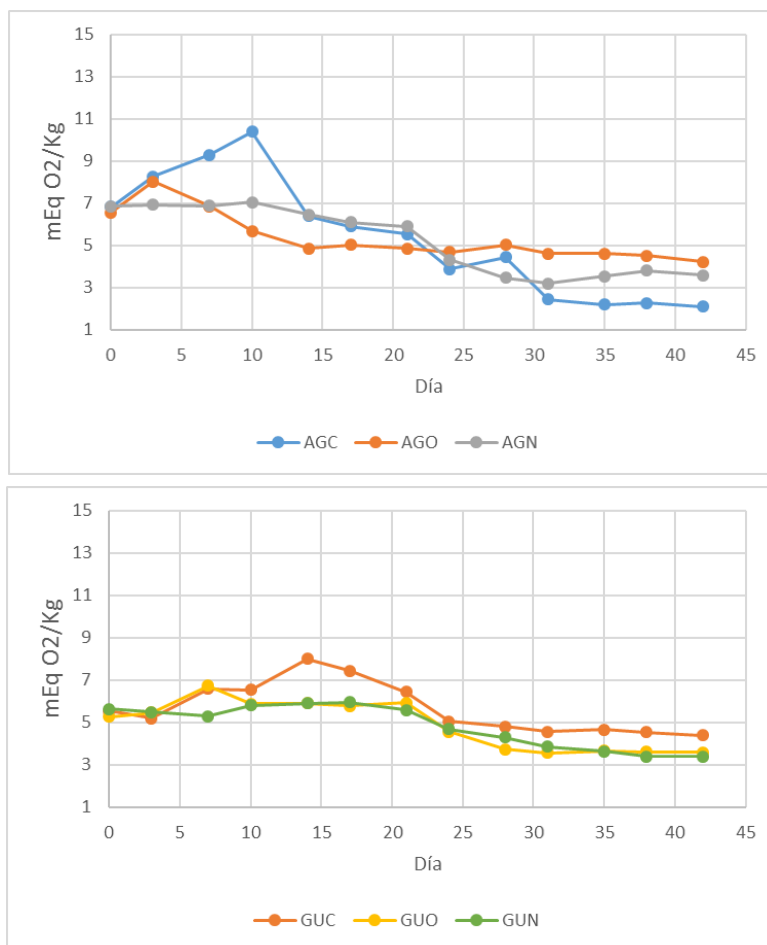


Figura 23 Variación de índice de peróxidos durante la vida de anaquel.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

2.4. Determinación de rancidez oxidativa

Ésta técnica se basa en la producción de una coloración rojiza debido a la reacción extremadamente sensible entre la floroglucina y un compuesto presente en las grasas o aceites rancios: el aldehído epidrónico, lo anterior en un medio ácido (HCl). La intensidad del color rojo, en la capa acuosa, es proporcional al grado de enranciamiento.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

En la Tabla 17 se muestra que tanto en el producto 1 como en el 2 liofilizados no hubo evidencia de una rancidez oxidativa durante la vida de anaquel en los tres diferentes empaques, esto debido a que el producto no llegó a un grado de deterioro avanzado en la oxidación de lípidos en la cual se produjera el compuesto secundario de oxidación necesario para dar positivo en el test de Kreiss, el aldehído epidrínico. Los resultados concuerdan con los obtenidos en la prueba del índice de peróxidos, ya que en ellos se muestra que los productos apenas están comenzando la etapa de inducción de oxidación al presentar como valor más alto 10 MeqO₂/kg en el producto 1 AGC.

Tabla 17. Rancidez oxidativa inicial y final de la vida de anaquel.

	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Final vida de anaquel	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

2.5. Determinación de humedad

En la Figura 24 se observan los cambios del porcentaje de humedad en: los productos 1 AGC, AGO y AGN, 2 GUC, GUO y GUN, la humedad oscila entre un 0.5 y 2.0% para todos los productos, la cual es una característica favorable ya que no se producen diferencias significativas entre los distintos tipos de atmósferas, esto sugiere que el empaque es suficientemente hermético como para no permitir transferencia de agua con el entorno y por tanto la baja humedad tiene un influencia negativa en el crecimiento de microorganismos y deterioro químico, lo anterior es benéfico desde un punto de vista nutricional, sensorial y de inocuidad.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

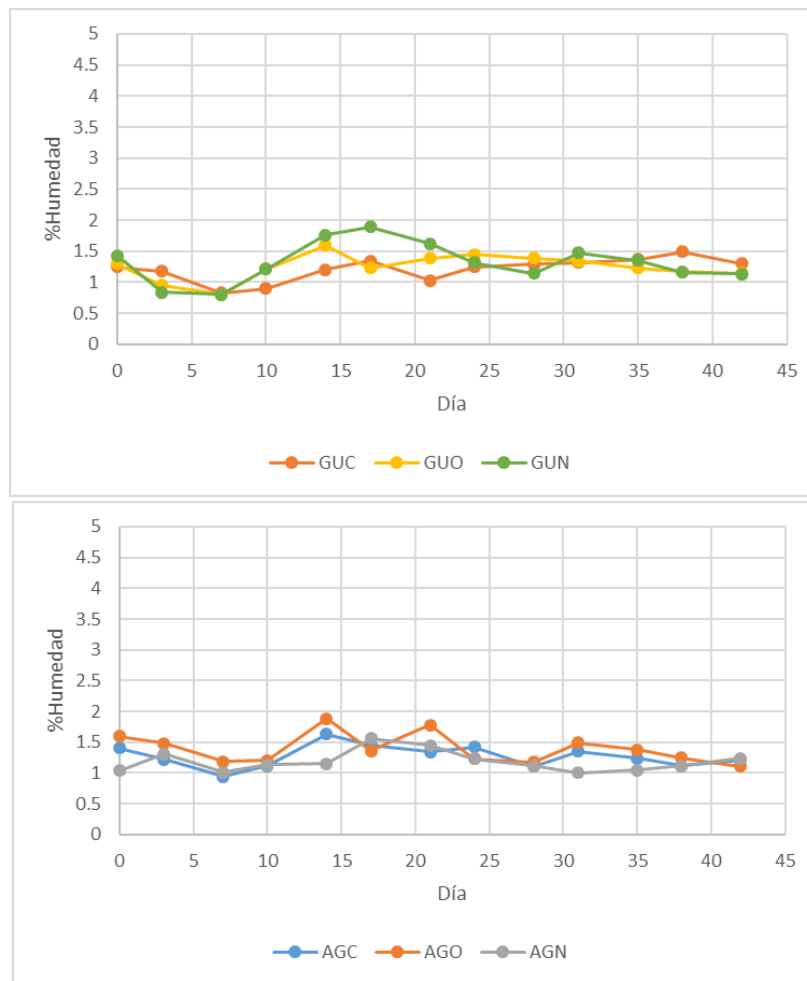


Figura 24. Variación de % de humedad durante la vida de anaquel.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

2.6. Determinación de actividad de agua

La fracción de agua libre presente en un alimento y que está disponible para el crecimiento de microorganismos y para intervenir en otras transformaciones es la llamada actividad de agua (a_w), es en base a este valor que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto. Refleja el grado de interacción con los demás constituyentes, además de que se relaciona con la formulación, la migración de humedad en el almacenamiento y muchos otros factores (Badui, 2006).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

La A_w presentada por los 6 productos: AGC, AGO, AGN, GUO, GUN y GUC está en un rango entre 0.24 y 0.36, este valor de actividad de agua es muy favorable debido a que según Lobo (2014), la velocidad de oxidación de lípidos será mínima cuando la A_w este en el rango de 0.2 a 0.35. Por el contrario, valores más altos o más bajos de este rango también aumentan la velocidad de oxidación de lípidos y también se producen otros procesos de deterioro. La actividad de agua presentada por los productos se encuentra en valores iniciales de actividad enzimática (comienza en valores mayores o iguales a 0.2 de A_w) y pardeamiento no enzimático (alcanza su velocidad máxima de desarrollo en valores de A_w entre 0.5 y 0.7), evitando en gran medida el avance de deterioro del producto y por tal motivo estos productos liofilizados tienen una vida de anaquel muy larga.

Tabla 18. Actividad de agua inicial y final de los diferentes productos.

	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel (A_w)	0.30	0.36	0.29	0.30	0.24	0.26
Final de vida de anaquel (A_w)	0.35	0.38	0.43	0.33	0.31	0.32

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

2.7. Determinación de humectabilidad

Se define la humectabilidad como el tiempo necesario que requiere cualquier tipo de polvo para ser mojado por un líquido y que empiece la penetración de agua en la superficie. Generalmente, depende del tamaño de partícula, la densidad, la porosidad, la carga de la superficie, área de la superficie, rugosidad de la superficie, la composición de la superficie y la actividad superficial de las partículas de alimentos (Ceballos y col., 2012).

En los resultados obtenidos se observa en general un tiempo de humectabilidad muy bajo para todos los productos (entre 4.04 seg y 7.05 seg), esto debido a que durante el proceso de liofilización se forman cristales de hielo en su estructura y estos al evaporarse dejan como resultado una estructura porosa en la que penetra el agua rápidamente.

En la Figura 25 se muestra el grado de humectabilidad de los diferentes productos durante la vida de anaquel evaluada. En la Tabla 19 se presenta la humectabilidad del producto 1 AGC,

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

AGO y el AGN, se aprecia que tienen un tiempo de humectación menor al producto 2 debido a que la velocidad de humectación está relacionada directamente con el área superficial. Al ser el área, una función inversa al tamaño de partícula, cuanto menor sea éste, más rápido se humectará, y recalando que el producto 1 a diferencia del 2 lleva un proceso de molienda y por lo tanto un tamaño de partícula más pequeño los resultados concuerdan con lo anterior. Para el producto GUC, el GUO, y el GUN durante la vida de anaquel se presenta entre 4 y 7 seg el incremento en tiempo en el producto 2 es debido a sus diversos tamaños de partículas presentados por las verduras que contiene el producto ya que no tuvo el proceso de molienda como lo tuvo el producto 1.

Se ha reportado para otros productos liofilizados como pulpa de fruta de guanábana con una humectabilidad entre 21 y 86 seg (Ceballos y col., 2012), lo que está por encima de lo reportado en este trabajo. Inclusive durante el periodo de almacenamiento esta propiedad no se ve muy afectada encontrándose aun así tiempos menores de humectabilidad que lo reportado por estos autores, sin embargo, como se pudo observar el parámetro de humectabilidad impacta en la calidad sensorial del alimento y por tanto su vida de anaquel.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

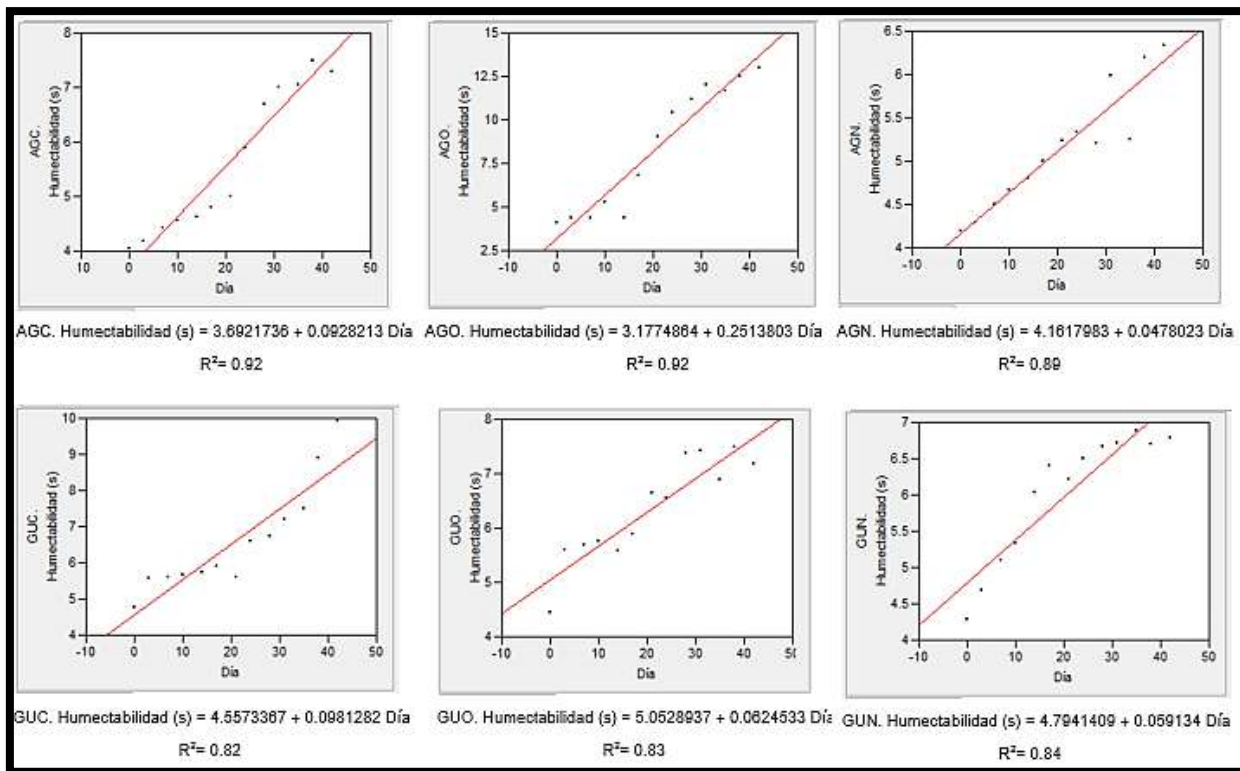


Figura 25. Variación de la humectabilidad durante la vida de anaquel.

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Tabla 19. Humectabilidad inicial y final de la vida de anaquel.

	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	4.04	4.13	4.19	4.76	4.45	4.28
Final vida de anaquel	4.73	5.12	5.8	6.79	6.84	7.05

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En la Tabla 20 se presenta el análisis microbiológico realizado en los productos liofilizados 1 y 2 almacenados en los tres tipos de atmósferas. Se muestra que la cantidad de coliformes totales, enterobacterias y hongos y levaduras es >10 UFC/g desde el inicio de la vida de anaquel hasta el final de esta, lo que indica la seguridad microbiológica en cuanto a estos microorganismos. En cambio se observa la presencia de mesófilos aerobios al inicio de la vida de anaquel, los cuales disminuyen drásticamente en atmósfera con gas nitrógeno en ambos productos empacados con gas nitrógeno (AGN, GUN), seguido por el empaque donde tiene absorbentes de oxígeno (AGO, GUO). Debido a que este tipo de microorganismos necesitan oxígeno para su supervivencia y al modificar la atmósfera en la que se encuentran estos inevitablemente comienzan a morir lo cual es favorable para estos productos ya que se evita cualquier tipo de modificación en el alimento por parte de estos microorganismos, a diferencia del empaque convencional (AGC, GUC), ya que la cantidad de mesófilos también tiene una tendencia disminuir en cuanto al número, aunque es menor comparada con los alimentos que son empacados con absorbentes de oxígeno o con gas nitrógeno. La baja presencia de microorganismos en los productos se debe a los valores de actividad de agua que presentan, ya que según Badui (2006), las bacterias proliferan a una $A_w > 0.91$, las levaduras >0.88 y los hongos >0.80 y todos los productos tuvieron actividades de agua menores a las necesarias para la proliferación de microorganismos.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Tabla 20. Análisis microbiológico inicial y final de la vida de anaquel.

Mesófilos aerobios (UFC/g)						
	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	180	160	200	1200	1400	1200
Final vida de anaquel	130	40	<10	140	30	<10
Coliformes totales (UFC/g)						
	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Final vida de anaquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Enterobacterias (UFC/g)						
	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Final vida de anaquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Hongos y levaduras (UFC/g)						
	AGC	AGO	AGN	GUC	GUO	GUN
Inicio vida de anaquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Final vida de anaquel	<10	<10	<10	<10	<10	<10

AGC= producto 1 liofilizado empacado convencionalmente. AGO= producto 1 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. AGN= producto 1 liofilizado empacado con gas nitrógeno. GUC= producto 2 liofilizado empacado convencionalmente. GUO= producto 2 liofilizado empacado con absorbentes de oxígeno. GUN= producto 2 liofilizado empacado con gas nitrógeno.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

4. TRANSFERENCIA DE TÉCNICAS A SÍOSÍ ALIMENTOS

Una vez establecido que la mejor atmósfera para el almacenamiento de los productos liofilizados con alto contenido lipídico fue el empaque con atmósfera de gas nitrógeno, al incrementar la vida de anaquel de ambos productos liofilizados, se utilizó este tipo de empaque para la evaluación de la vida de anaquel de distintos productos con alto contenido lipídico y usando como variables de respuesta parámetros sensoriales, fisicoquímicos y microbiológicos estandarizados en la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH, dichos métodos se describieron anteriormente, y de esta manera se realizó la transferencia de tecnología a la empresa SíoSí Alimentos SAPI de CV.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

5. VALORES DE REFERENCIA DE LOS DIFERENTES ANÁLISIS EVALUADOS

A continuación se mencionan los valores de referencia usados para los diferentes análisis evaluados, así como los determinados en este trabajo que serán de utilidad para futuros análisis de vida de anaquel de este tipo de productos.

Tabla 21. Valores de referencia usados para las pruebas de vida de anaquel acelerada.

Parámetro	Valor	Referencia
Aceptación sensorial general (%)	Mínimo 60	Establecido como mínimo de aceptación para el producto que incluye atributos de color, olor, sabor y textura. Realizado por 20 panelistas.
pH	Disminución de 1 unidad	Propuesto en este trabajo para seguir conservando atributos sensoriales aceptables.
Acidez (% oleico)	-Máximo 0.65 -Máximo 0.1	-NMX-F-052-SCFI-2008. -Límite propuesto en este estudio para seguir conservando propiedades sensoriales aceptables.
índice de peróxidos (MeqO₂/kg)	Máximo 10	-CODEX STAN 19-1981. -NMX-F-052-SCFI-2008.
Rancidez oxidativa (reacción de Kreiss)	Negativa	NMX-F-223-1985
Humedad (%)	Menor a 5	Establecido en este trabajo y con ello para evitar daño microbiológico y químico en el alimento.
Actividad de agua	Máximo 0.4	Se considera 0.4 como la actividad de agua crítica para productos deshidratados para controlar el crecimiento microbiano y también otras reacciones de deterioro (Badui, 2006).
Mesófilos Aerobios	<5000 UFC/g	NOM-093-SSA1-1994
Coliformes totales	<50 UFC/g	NOM-093-SSA1-1994
Enterobacterias	<100 UFC/g	R.D.3484/2000
Mohos y levaduras	<100 UFC/g	NTS N° - MINSA/DIGESA-V.01.

VII. CONCLUSIONES

- La atmósfera en la cual se obtuvieron mejores resultados tanto en cualidades sensoriales, como parámetros fisicoquímicos y análisis microbiológicos fueron los productos que estuvieron empacados con gas nitrógeno, ya que esta atmósfera disminuyó en gran medida las reacciones de deterioro químico como fueron la rancidez oxidativa y la rancidez hidrolítica además de la inhibición de mesófilos aerobios, lo cual repercutió en conservar mejores cualidades sensoriales de los productos incrementando la vida de anaquel de ambos productos liofilizados, siendo aproximadamente de 10.1 meses para el producto 1 liofilizado (AGN) y de 10.3 meses para el producto 2 liofilizado (GUN); comparado el empaque convencional el cual presentó una vida de anaquel menos favorable en ambos productos, siendo de 6.08 meses para el producto 2 liofilizado (GUC) y de 3.9 meses para el producto 1 liofilizado (AGC).
- En cuanto al empaque con absorbentes de oxígeno este tipo de tecnología sólo fue benéfica en el producto 2 liofilizado con absorbentes de oxígeno (GUO) con una vida de anaquel de 7.6 meses, ya que el producto 1 liofilizado con absorbentes de oxígeno (AGO) presentó un valor de vida de anaquel de solo 3 meses. Dado que los fabricantes de los absorbedores advierten que su uso no es recomendado en productos con un alto contenido de aceite y a que no especifican la máxima temperatura a la que se puede someter el sobre, es posible que este tipo de preservante no haya sido utilizado correctamente, es decir, que la temperatura a la que se sometió haya sido muy alta o que la cantidad de aceite contenido en los productos haya resultado en un mal funcionamiento del absorbedor.
- Los resultados en todas las pruebas fueron menos favorables en el producto 2, por lo que se concluye que la molienda a la que este es sometido es un punto crítico, ya que este proceso propicia el rompimiento de las membranas celulares, pérdida de estructuras y como consecuencia un mayor contacto con el oxígeno del medio que desencadena una serie de reacciones y activación de enzimas que afectan la calidad final del producto.
- Las reacciones de deterioro en los productos alimenticios impresionaron negativamente a los consumidores debido a la asociación que hacen entre su aspecto, su calidad nutricional y su degustación.
- La transferencia de la tecnología de evaluación de vida de anaquel a la empresa SíoSí SAPI de CV se llevó a cabo satisfactoriamente, ya que se pudieron evaluar la vida de anaquel de otros productos que fabrica la empresa con las variables de respuesta que se establecieron en este estudio, y de esta manera asegurar la estabilidad de sus productos en el mercado nacional e internacional.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Araya Rebolledo, D. R. (2012). *Determinación de la vida útil de arroz preparado espárrago lider elaborado por empresas Tucapel s.a mediante pruebas aceleradas* (Tesis de licenciatura). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Arriaga Rubi, M. F., Franco Malvaíz, A. L., Rebollar Rebollar, S. (2013), Situación actual del cultivo del aguacate (Persea americana). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(1), 93-101.
- Arriola-Guevara, E., García-Herrera, T., Guatemala-Morales, G. M., Nungaray-Arellano, J., & González Reynoso. (2006). Comportamiento del aguacate hass liofilizado durante la operación de rehidratación. *Revista mexicana de ingeniería química*, Vol. 5, 51-56. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/620/62009910/index.html>.
- Badui Dergal, S, (2006), *Química de los alimentos*, México D.F., México: Pearson Educación.
- Bell Export S.A. (2016). Nitroair. Argentina. Obtenido de <http://nitroair.com.ar/index.html>.
- Bello Gutierrez, J. B., (2000), *Ciencia bromatológica. principios generales de los alimentos*, Madrid, España: Díaz de Santos.
- Brunning, A. (2014). *Compound Interest*. United States: Chemunicate. Obtenido de <http://www.compoundchem.com>.
- Cabeza Herrera , E. A. (2013). Academia. California, E.U: Obtenido de https://www.academia.edu/992792/Aplicaci%C3%B3n_de_la_Microbiolog%C3%ADa_Predictiva_en_la_determinaci%C3%B3n_de_la_vida_%C3%BAtil_de_los_alimentos.
- Caride, A., & Meñino, J. L. (2010, Noviembre). La interacción envase-alimento para la mejora de los procesos de conservación: envases activos. *Boletín de medio ambiente*. España: asociación nacional de fabricantes de conservas de pescados y mariscos.
- Carrillo Inungaray, M. L., & Reyes Munguía, A. R. (2007), Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2(3). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5063620.pdf>.
- Castañeda-Saucedo, M. C., Valdés-Miramontes, E. H., Tapia-Campos, E., Delgado Alvarado, A., Bernardino-García, A. C., & Rodríguez-Ramírez, M. R. (2014), Effect of freeze-drying and production process on the chemical composition and fatty acids

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

profile of avocado pulp. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(4). Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v41n4/art09.pdf>.

Catalá, R., Hernandez, P., López, G., & Gavara, R. (2009), Materiales para el envasado de frutas y hortalizas con tratamientos mínimos. *Revista Horticultura Internacional*(69). Obtenido de http://www2.horticom.com/revistasonline/extras/extra09/60_65.pdf.

Ceballos, A., Giraldo, G. I., & Orrego, C. (2012), Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of Food Engineering*, 111(2), 360-365.

Ceballos Peñaloza, A. M. (2008). Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Chica Cardona, B. A., & Osorio Saldarriaga, S. L. (2003). Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno bioentado (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Córdon, J. A. (2007). Tesis. Determinación acelerada de la vida en anaquel de la rosquilla hondureña (Tesis de licenciatura). Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano, Honduras.

Córdova Aguilar, K., & Martínez Flores, H. E. (2013). Beneficios a la salud del aceite de aguacate. *Saber mas*, 2(9), 15-17.

Davenport, A., & Dreher, M. (2013), Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738-750.

Estrada Garcia, I., & Hernandez Austria, E. (2015), Determinación de vida de anaquel en confitados. *Revista de Tecnología e Innovación*, 2(3), 392-400.

Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2009). La composición química, Capacidad antioxidativa y valor nutritivo de la semilla de variedades de aguacate (2). Recuperado de <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202006.02.pdf>

García Baldizón, C., Chacón Valle, G., & Molina Córdoba, M. E. (2011), Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas de temperatura. *Ingeniería*, 21(2), 31-38. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/7Vidadeanaquel_14223.pdf.

García Iglesias, E., Gago Cabezas, L., & Fernandez Nuevo, J. L. (2001). *tecnologías de envasado en atmosferas protectoras*. Madrid, España: Fundación para el conocimiento madri+d.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Ginn, L. (2015). Health Guidance. United States:Healthguidance.org. Obtenido de <http://www.healthguidance.org/entry/16445/1/The-Numerous-Benefits-of-Avocado.html>.

González Montoya, M. (2012). Estudio de la composición química y efecto hipocolesterolémico e hipolipidémico in vivo de un aguacate liofilizado (Tesis de licenciatura). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacan, México.

González Sánchez, P., & Escudero Álvarez, E. (2006), La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2), 261-72. Obtenido de <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v21s2/original6.pdf>.

Hernández Valdez, C. E. (2009). *Acción y efectos de la polifenoloxidasas en alimentos*. Orizaba, Veracruz, México: Universidad Veracruzana.

Karelovic Martínez, F. I. (2012). Influencia del método de congelamiento en el daño microestructural de arándanos liofilizados (Tesis de licenciatura). Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Lab-Ferrer. (2004). *Departamento de fisicoquímica de la UNAM*. Obtenido de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/9awypardnoenz_14225.pdf

Labuza, T. P.,(1982), *Shelf-Life Dating of Foods*, Westport, CT: Food & Nutrition Press.

Labuza, T. P., & Schmidt, M. K., (1985), accelerated shelf-life dating of foods. *Food Technology*, 39(9), 57-134.

Lobo Gomez, J. (2014). *Academia*. Obtenido de Actividad Acuosa y Alimentos: https://www.academia.edu/14058853/Actividad_Acuosa_y_alimentos.

López Hernández, L. H., Braña Varela, D., & Hernández Hernández, I. (2013). *Estimación de la vida de la vida de anaquel de la carne*. Ajuchitlan: SAGARPA.

Lupano, C. E. (2013). Modificaciones de las proteínas. *Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento*. Buenos Aires, Argentina: Edulap. 36-37.

Márquez Aquino, D., & Vergara Balderas, F. (2009), Cinética de deshidratación por liofilización de maíz para la elaboración de botanas. *Temas selectos de ingeniería en alimentos*, 3(2). 39-50.

Ministry for Primary Industries. (2014). How to Determine the Shelf life of food. Recuperado de: [/www.mpi.govt.nz/document-vault/3414](http://www.mpi.govt.nz/document-vault/3414).

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Montoya Gómez, C. A., & Restrepo Ángel, A. (2010). Implementación y diseño de procedimiento para determinación de vida útil de quesos frescos, chorizos frescos y aguas en bolsa (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.

Moreno Acosta, M. C. (2011). Evaluación y escalamiento del proceso de extracción de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Muñoz, J. A. (2003). Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa decafé s.a. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Olaeta, J. A. (2003). Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. *Proceedings V World Avocado Congress*. España. 749-754. Obtenido de: http://www.avocadosource.com/WAC5/papers/wac5_p749.pdf

Orellana, J. A. (2007). Determinación acelerada de la vida en anaquel de la rosquilla hondureña (Tesis de licenciatura). Zamorano, Honduras.

Orrego Alzate, C. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Manizales, Caldas, Colombia: Artes Gráficas Tizan Ltda.

Ortega, J. A. (2010). Estudio del campo eléctrico sobre la isomería de los ácidos grasos del aguacate (Tesis de doctorado). Instituto Politécnico Nacional. Tlaxcala, México.

Ortiz, A., Mora, R., Santiago, T., & Dorantes, L. (2003). Obtención de una pasta de aguacate mediante tratamiento térmico. *Proceedings V World Avocado Congress*. España. 761-768. Obtenido de: www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p761.pdf.

Ospina Meneses, S. M. (2008). La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*, 5(2), 112-123.

Pérez Rosales, R. V. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis*, 0.

Ramírez Navas, J. (2007). Liofilización de alimentos. *ReCiTeIA*, 6(2), 1-39. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/259620189_Liofilizacion_de_alimentos

Rangel Marrón, M. (2014). *Liofilización del guacamole* (Tesis de maestría). Universidad de las Américas. Puebla, México.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Restrepo Ángel, A. F. (2010). Implementación y diseño de procedimiento para determinación de vida útil de quesos frescos, chorizos frescos y aguas en bolsa (Tesis de licenciatura). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira.

Restrepo Suárez, A. M. (2012). Alternativas para la conservación de aguacate (Persea americana Mill, variedad Hass) en la inhibición del pardeamiento enzimático (Tesis de Doctorado). Corporación universitaria lasallista. Caldas, Antq.

Rodiles López, J. O. (2015). *Curso de vida de anaquel Q10*. Morelia, Michocán, México.

Rodríguez Gómez, J. M. (2010). *Consecuencias higiénicas de la alteración de los alimentos*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Rondón , E., Pacheco Delahaye , E., & Ortega, F. (2004), Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1), 68-83. Obtenido de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182004000100007.

SAGARPA. (2011). *Monografía de Cultivos: Aguacate*. México: Subsecretaría de fomentos a los gronegocios.

Salazar-García, S., Zamora-Cuevas, L., & Vega-López, R. J. (2004). Actualización sobre la Industria del Aguacate en Michoacán, México. *California Avocado Society, USA*, 87, 45-54.

Sí o Sí alimentos S A P I DE CV. (2014). *Sí o Sí*. Obtenido de <http://www.avocadopowder.com/siosi/>.

SIAP. (2014). *Aguacate Persea Americana*. México. Obtenido de <http://www.siap.gob.mx/aguacate/>.

Steele, R. (2004). *Understanding and measuring the shelf-life of food*. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Torres Preciado, V. H. (2009), La competitividad del aguacate mexicano en el mercado estadounidense. *Revista de Geografía Agrícola*, (43), 61-79. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/757/75715608005.pdf>.

Tovar, M. Á. (2003). Valor nutrimental de la pulpa fresca de aguacate hass. *Actas V Congreso Mundial del Aguacate, México*, 741-748. Obtenido de: http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p741.pdf.

Desarrollo, validación y transferencia de técnicas de estudios de vida de anaquel acelerada específicamente para productos liofilizados con alto contenido de lípidos.

Vazquez-Aguilar , M. M., & Gomez-Sanchez, A. I. (2007), Tecnología de empaçado en atmósferas modificadas: principios, desarrollo en investigación y aplicaciones. *Temas selectos de ingeniería de alimentos, 1*, 66-79.

Verti, M. V. (2007). Libro: el aguacate: oro verde de México, orgullo de Michoacán. *VI Congreso Mundial del Aguacate, Chile*.

Villalobos Portillo, D. I. (2013). Evaluación física y química para evitar la oxidación en la pasta de aguacate mínimamente procesada (Tesis de licenciatura). Universidad Dr. José Matias Delgado. La libertad, El salvador.

Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2005). Segundo Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de alimentos. *Métodos, criterios y modelación para la selección de películas plásticas en atmósferas modificadas*. Montevideo, Uruguay.