

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**APROVECHAMIENTO INTEGRAL DEL AGUACATE HASS CON
SÍNTOMAS DE ANTRACNOSIS**

**OPTIMIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE LIOFILIZACIÓN PARA LA
OBTENCIÓN DE GUACAMOLE EMPLEANDO ENFRIAMIENTO
RÁPIDO CON NITRÓGENO LÍQUIDO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL**

MARÍA JOSÉ ROMERO ABARCA

maria.romero02@epn.edu.ec

DIRECTOR: CATERINE ISABEL DONOSO QUIMBITA

caterine.donoso@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2024

CERTIFICACIONES

Yo, María José Romero Abarca declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

María José Romero Abarca

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por María José Romero Abarca, bajo mi supervisión.

Caterine Isabel Donoso Quimbita
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

María José Romero Abarca

Caterine Isabel Donoso Quimbita

DEDICATORIA

Con profundo cariño le dedico este trabajo a mis amados padres y a mi hermano, que con su amor, apoyo y sacrificio han sido una guía en momentos buenos y malos de mi vida. Su ejemplo de dedicación y entrega han sido mi inspiración constante. Doy gracias a mi familia en general, por su constante fuente de inspiración y aliento en este trayecto recorrido.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia por su apoyo total, en el trayecto de mi vida universitaria, sobre todo a mi madre que me ha brindado su amor incondicional y me ha inspirado para vencer los obstáculos a lo largo de mi vida.

A mis distinguidos profesores, por brindarme todo su conocimiento a lo largo de la carrera, sobre todo a mi directora del proyecto la Ing. Caterine Donoso, que por su constante paciencia, orientación y sabiduría ha sido fundamental en el desarrollo y culminación de este trabajo. Igualmente, a la Ing. Karla y Paty por su colaboración y apoyo durante el desarrollo del trabajo.

A mis amigos, en especial a Stephanie, Morelia y Ginger por sus palabras de aliento, motivación en momentos buenos y malos, agradezco profundamente su compañía, risas y tiempo compartido. Sin duda su amistad ha sido un pilar fundamental en mi vida.

También a Hacienda Verde, en especial a la señora Lucía, por brindarnos la oportunidad de desarrollar el proyecto aprovechando los subproductos provenientes del cultivo de aguacate.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	3
2 MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 Optimización de procesos	3
2.2 Liofilización	5
2.3 Técnicas de enfriamiento en la industria alimentaria	8
2.4 Guacamole.....	12
2.5 Efecto de la congelación en la calidad nutricional del aguacate	16
2.6 Determinación de la calidad del aguacate	17
2.7 Análisis sensorial	23
2.8 Colorimetría del guacamole	26
3 METODOLOGÍA.....	27
3.1 Recepción de la materia prima.....	27
3.2 Obtención de aguacate en polvo.....	27
3.3 Obtención del perfil de ácidos grasos.....	28
3.4 Análisis bromatológico del aguacate en polvo.....	30
3.5 Microscopía óptica	33
3.6 Difracción de rayos X.....	33
3.7 Obtención de guacamole en polvo	34
3.8 Análisis microbiológico del guacamole en polvo.....	35
3.9 Análisis sensorial de guacamole en polvo rehidratado	37
3.10 Medición de color.....	38

3.11	Análisis estadístico	39
4	RESULTADOS	39
4.1	Análisis proximal de aguacate en polvo	39
4.2	Perfil de ácidos grasos de aguacate en polvo	43
4.3	Vista microscópica	46
4.4	Difracción de rayos X.....	47
4.5	Análisis microbiológico de guacamole en polvo	49
4.6	Análisis sensorial de guacamole en polvo rehidratado	50
4.7	Colorimetría de guacamole en polvo	52
4.8	Optimización del método de enfriamiento	54
5	CONCLUSIONES	55
6	RECOMENDACIONES.....	56
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
8	ANEXOS	64
	ANEXO I. Formato de encuestas de análisis sensorial	64
	ANEXO II. Tabla de números aleatorios.....	66
	ANEXO III. Resultados de análisis bromatológico.....	67
	ANEXO IV. Resultados de perfil de ácidos grasos	68
	ANEXO V. Resultados de análisis sensorial	74
	ANEXO VI. Resumen de análisis estadísticos.....	75
	ANEXO VII. Resultados obtenidos del análisis colorimétrico.....	77
	ANEXO VIII. Resultados obtenidos del análisis microbiológico	78

RESUMEN

El Ecuador es un país que por sus condiciones climáticas tropicales es apto para el cultivo de aguacates, sin embargo, existen una gran cantidad de aguacate que se desecha debido a que no cumplen las condiciones necesarias para su comercialización, estos aguacates descartados son utilizados como abono orgánico o alimento para animales. A pesar de ello, se puede hacer uso de este tipo de aguacates, mediante procesos como la liofilización de la pulpa para la obtención de productos en polvo, con estas operaciones se puede mejorar el transporte o la exportación del aguacate generando un valor agregado para esta industria.

Este estudio tiene como propósito el análisis de las características presentes en la pulpa de aguacate obtenido mediante diferentes técnicas de enfriamiento como es la congelación convencional y la ultracongelación a diferentes tiempos de liofilización, con el fin de optimizar las técnicas de los distintos tratamientos empleados. Las diferencias entre los dos tratamientos aplicados se midieron en características bromatológicas, perfil lipídico, difracción de rayos X y vista microscópica de la pulpa de aguacate liofilizada. De acuerdo con estas características, se desarrolló el guacamole liofilizado, del cual se realizó un análisis microbiológico para observar la inocuidad del alimento y un análisis sensorial para la evaluación de atributos y la aceptación del producto.

Del análisis se observó que tanto el método de enfriamiento como el tiempo de liofilización afectan a las características del aguacate en polvo. En general, la ultracongelación ayuda a preservar de mejor manera la estructura de la célula de aguacate en comparación con la congelación, este resultado se observó mediante microscopía y difracción de rayos X. Por otro lado, los resultados obtenidos mediante la optimización del proceso, indica que la mejor condición para conservar las características bromatológicas como: las cenizas (3.830%), proteínas (4.490%) y grasas (31.256%) es el método de ultracongelación a un tiempo de liofilización de 69.818 h. Por último, de la elaboración del guacamole, se obtuvo que el guacamole tradicional presenta mejores características en cuanto a atributos y preferencia con respecto al guacamole picante.

PALABRAS CLAVE: liofilización, congelación, ultracongelación, guacamole.

ABSTRACT

Ecuador, with its tropical climate conditions, offers an ideal environment for avocado cultivation. However, a significant amount of avocados are discarded because they don't meet the necessary conditions for commercialization. These discarded avocados are often utilized as organic fertilizer or animal feed. Nevertheless, there is potential to utilize these avocados through processes such as lyophilization of the pulp to obtain powdered products, thereby improving avocado transport or exportation and adding value to the industry.

This study aims to analyze the characteristics of avocado pulp obtained through different cooling techniques such as conventional freezing and ultra-freezing at various lyophilization times, in order to optimize the techniques of the different treatments employed. Differences between the two applied treatments were measured in terms of bromatological characteristics, lipid profile, X-ray diffraction, and microscopic examination of lyophilized avocado pulp. Based on these characteristics, lyophilized guacamole was developed, which underwent microbiological analysis to assess product safety and sensory analysis to evaluate attributes and product acceptance.

The analysis revealed that both the cooling method and lyophilization time impact avocado powder characteristics. Ultra-freezing generally better preserves avocado cell structure compared to conventional freezing, as observed through microscopy and X-ray diffraction. On the other hand, optimization of the process indicated that the best condition for preserving bromatological characteristics such as ash content (3.830%), proteins (4.490%), and fats (31.256%) is ultra-freezing with a lyophilization time of 69.818 hours. Finally, from the production of guacamole, it was found that traditional guacamole presents better characteristics in terms of attributes and preference compared to spicy guacamole.

KEYWORDS: freeze-drying, freezing, ultra-freezing, guacamole.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Debido a su clima tropical, Ecuador es un país adecuado para el cultivo de aguacate, a diferencia de otros países puede producir este fruto durante todo el año. Hasta septiembre del 2022 se ha exportado alrededor de 781 ton con destino a España y Colombia (SIPA, 2023).

El aguacate es apetecido por su sabor y sus cualidades nutricionales presentes en diversas secciones del fruto; el porcentaje mayoritario corresponde a la pulpa con un valor entre el 52.9% y el 81.3% del volumen total del fruto. La estructura de la pulpa de aguacate está compuesta mayoritariamente por humedad, seguida de lípidos, carbohidratos, proteínas, cenizas y fibra (Jimenez et al., 2020). Además, contiene vitaminas como: E, B1, B2 y D, compuestos bioactivos como polifenoles, carotenoides y esteroides, además posee ácidos grasos monoinsaturados de los cuales el principal es el ácido oleico (Othman et al., 2018).

Gracias a los compuestos mencionados anteriormente, el aguacate posee varias propiedades biológicas y terapéuticas, entre las cuales se encuentran propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, anticancerígenas, entre otras (Jimenez et al., 2020). A pesar de todos los beneficios que brinda esta fruta, se pueden obtener desperdicios debido a daños físicos, como golpes, o biológicos, como la antracnosis. Según INTAGRI (2017), estas pérdidas representan aproximadamente entre el 20 y el 30% de la producción. Para aprovechar la pulpa de aguacate, se elaboran productos como pasta, puré o guacamole (Duarte et al., 2016).

El guacamole está compuesto por la pulpa de aguacate y condimentos como sal, cebolla, limón, pimienta y tomate. La salsa puede ser preparada de forma tradicional, es decir, elaborado a mano, o procesado para su comercialización (Daiuto et al., 2011). Dentro del proceso para la obtención de guacamole en polvo se puede utilizar la técnica de liofilización, que consiste básicamente en un secado por sublimación, el cual permite al alimento conservar sus características organolépticas responsables del sabor y aroma (Orrego, 2008).

Debido a la gran cantidad de aguacates que se desperdician, se desarrolla un proyecto de vinculación por parte de la Escuela Politécnica Nacional, el cual pretende optimizar una técnica de liofilización para la obtención de guacamole liofilizado empleando enfriamiento rápido con nitrógeno líquido. Para la obtención del producto, se utilizará un liofilizador de marca LYOVAC GT2, el cual trabaja con condiciones de operación de 50 mPa y -40 °C con muestras en forma de cubos de 1 cm de lado (Marcillo, 2022), según Castañeda et al. (2014), la liofilización se lleva a cabo durante 72 h.

Para el enfriamiento de la muestra, previo a la liofilización, se realizará mediante la congelación normal a una temperatura aproximada de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con ultracongelación mediante nitrógeno líquido. Cuando la muestra se trata con nitrógeno líquido, en ésta se forman pequeños cristales de hielo, con el fin de inhibir la actividad enzimática y prevenir la oxidación de la pasta de aguacate; el enfriamiento rápido se da en un tiempo mínimo de contacto para asegurar la solidificación del agua, este tiempo varía entre 2 a 5 min (García et al., 2006).

Para la determinación de la composición proximal del liofilizado de pulpa de aguacate se utilizará las metodologías descritas en la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), dentro de estas se encuentra el análisis de humedad, extracto etéreo (grasa), lípidos, cenizas y proteínas.

Se determinará un perfil de ácidos grasos del producto liofilizado con el fin de conocer el ácido graso mayoritario, este análisis se realizará en un cromatógrafo de gases. Adicionalmente, se realizará una difracción de rayos X y se observará mediante microscopía la estructura del aguacate, con el fin de observar las diferencias entre los métodos de enfriamiento. Por último, se elaborará el guacamole y se realizará una evaluación sensorial para evaluar los atributos del producto. A partir del guacamole en polvo se realizará un ensayo microbiológico de acuerdo con el procedimiento determinado por la normativa de la FDA para asegurar la inocuidad del producto final.

1.1 Objetivo general

Analizar las características y condiciones óptimas de liofilización y congelación para la obtención de pulpa de aguacate liofilizado, así como una caracterización química del resultado obtenido.

1.2 Objetivos específicos

1. Definir las características de operación del proceso de liofilización siendo estas temperatura, presión y tiempo.
2. Establecer las condiciones de operación del proceso de ultracongelación.

3. Comparar las características organolépticas y el perfil de ácidos grasos de la pasta de aguacate liofilizado en los diferentes tiempos de liofilización y métodos de enfriamiento.

1.3 Alcance

La ejecución del presente proyecto se realizó en 3 fases. En la primera fase se realizó la búsqueda bibliográfica sobre las condiciones de operación, como presiones, tiempos y temperaturas de los procesos, tanto del liofilizado como de la congelación y ultracongelación. Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre la composición del guacamole con especias y también de la caracterización química de ácidos grasos y el análisis proximal del liofilizado, para lo cual se utilizó las metodologías descritas en la AOAC. La segunda fase estuvo definida por pruebas experimentales, para ello primero se estableció un contacto con el proveedor de aguacate (Hacienda Verde), posteriormente se evaluaron las condiciones de operación definitivas para el proceso de liofilización y ultracongelación, se aplicaron las metodologías para el análisis bromatológico y perfil lipídico. Como parte de la segunda etapa, se realizó un análisis de difracción de rayos X y se observó la muestra mediante el microscopio óptico para la pulpa de aguacate en polvo, además, se analizaron las características microbiológicas y sensoriales del guacamole liofilizado.

El componente experimental se realizó en el laboratorio de Postcosecha y la planta piloto del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB), por último, se elaboró un perfil de ácidos grasos con la ayuda del Laboratorio de cromatografía de gases. En la última etapa se evaluaron los resultados obtenidos, tanto del análisis proximal del producto liofilizado, como la comparación del contenido lipídico de la pasta de aguacate liofilizada.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Optimización de procesos

La optimización de procesos se refiere a la técnica mediante la cual se realiza un análisis detallado de actividades involucradas en una operación, con el propósito de identificar las condiciones ideales, el camino más eficiente y los recursos necesarios para alcanzar el

máximo rendimiento. Con esta técnica se busca cumplir con los objetivos establecidos para los procesos (Granizo, 2018).

Existen varias técnicas para la optimización de procesos como son: el diseño de experimentos, polinomios ortogonales y metodología de superficie de respuesta, dichos modelos estadísticos poseen un papel importante en el mejoramiento de procesos y productos (Kapur & Feng, 2006).

Diseño de experimentos

Los experimentos son operaciones que se utilizan para descubrir la estructura y funcionamiento de procesos, estas operaciones implican la observación, hipótesis y experimentación secuencial. Algunas aplicaciones de esta metodología se presentan en la agricultura, en ciencias biológicas y físicas. Es fundamental comprender el procedimiento que se sigue para la aplicación de este método.

Primero se debe tener claro cuál es el problema, los objetivos y el alcance del experimento, luego se debe seleccionar la variable de respuesta que es una medida clave del desempeño del proceso. Posteriormente se eligen los factores que afectan a la variable, niveles y rangos de cada factor. Se procede a seleccionar el diseño del experimento, éste depende del número de factores, los niveles y las repeticiones para proporcionar la varianza experimental. Por último, se realiza la experimentación y el análisis de resultados (Kapur & Feng, 2006).

Metodología de superficie de respuesta

La base de esta metodología radica en el análisis estadístico y matemático requerido para el desarrollo, mejora y optimización de procesos. Algunas de sus aplicaciones principales incluyen la creación, desarrollo y formulación de nuevos productos, al igual que la mejora de diseños de productos existentes. De manera general, se utiliza en situaciones donde varias variables de entrada influyen en una característica de calidad del producto, esta característica se la denomina respuesta (Myers et al., 2009).

La metodología de superficie de respuesta posee tres etapas: el diseño, el modelado y las técnicas de optimización.

El diseño y el modelo dependen del comportamiento esperado en la variable de respuesta, estas dos etapas se idean al mismo tiempo. El modelo, puede presentar dos formas: de primer orden y de segundo orden. Mediante la optimización, se puede obtener información sobre los valores ideales de las variables de respuesta. Para la búsqueda del valor óptimo,

esta metodología presenta tres técnicas de optimización que son: el cribado y la búsqueda en primer y segundo orden (Dosantos, 2022).

Polinomios ortogonales

Es un método que se utiliza para observar los ceros y puntos críticos de los procesos involucrados en la ingeniería y la física. Estos se basan en un conjunto de ecuaciones que forman una base ortogonal en el espacio de Hilbert, los cuales son importantes en mecánica cuántica, teoría de probabilidades y estadística (Benayas, 2018).

2.2 Liofilización

La liofilización se emplea para conservar alimentos mediante el secado al vacío de productos congelados (Nguyen, 2016). Esta técnica se fundamenta en la remoción de agua en estado sólido, es decir, primero el alimento pasa por un enfriamiento previo, en donde el agua contenida se cristaliza a baja temperatura y por medio de alto vacío, el hielo se sublima directamente sin derretirse, a este proceso se lo denomina sublimación y se puede observar por debajo del punto triple del agua (611.73 Pa y 0.001 °C) en su diagrama de fases mostrado en la Figura 2.1 (Berk, 2018).

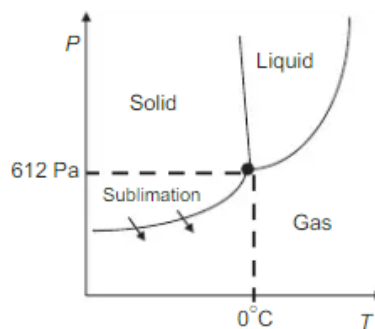


Figura 2.1. Representación de las distintas fases del agua (Berk, 2018)

El procedimiento de deshidratación mediante liofilización ocurre en tres etapas:

- **Congelamiento de la materia prima:** Se refiere a la cristalización del agua contenida en el alimento. La ventaja de congelar los alimentos antes de la liofilización es que se pueden limitar los cambios químicos y bioquímicos dentro del material, a la vez que facilita la migración del vapor de agua del material seco (Nowak y Jakubczyk, 2020).

- **Secado primario:** Llamado también secado por sublimación, ya que en este proceso el producto congelado se calienta en condiciones de vacío para eliminar el hielo por sublimación, en esta etapa se elimina alrededor del 90% del agua contenida en el alimento, es decir, el agua libre y parte del agua unida al alimento (Garcia-Amezquita et al., 2016).
- **Secado secundario:** Durante esta etapa se elimina parte del agua que no está congelada en el alimento llegando a porcentajes de humedad entre el 1% y 3%, esta etapa se logra aumentando la temperatura y reduciendo la presión dentro de la cámara, lo cual toma alrededor de 50% del tiempo del proceso de liofilización (Garcia-Amezquita et al., 2016).

Todas las etapas descritas anteriormente se pueden observar en la Figura 2.2 en las que se describen las etapas del proceso de liofilización.

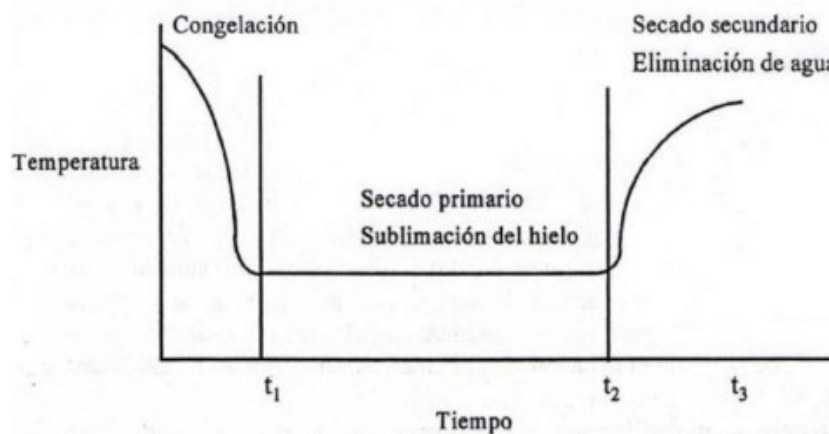


Figura 2.2. Fases de la liofilización (Maleno, 2019)

Para tener un mayor control del proceso de liofilización, en la Figura 2.3 se representan los componentes del equipo, los cuales incluyen una cámara, un sistema de enfriamiento, una bomba de vacío y un condensador. El sistema de refrigeración proporciona la energía necesaria para el secado primario o secundario o a su vez se puede utilizar para enfriar y calentar los productos que se encuentren dentro de la cámara. La cámara es un espacio hermético en donde se coloca la materia prima que se desea liofilizar, esta puede estar diseñada de diferentes formas, generalmente se encuentra como una cámara con estantes. El condensador se encarga de recoger el vapor producto de la sublimación del agua, y los transforma nuevamente en hielo, este hielo acumulado se elimina descongelado al final del proceso. Por último, la bomba de vacío se encarga de proporcionar la baja presión durante el secado primario y secundario, generalmente estas bombas son mecánicas y están

lubricadas con aceite, las bombas usadas deben mantener esta presión por largos períodos de tiempo (Toivola, 2023).

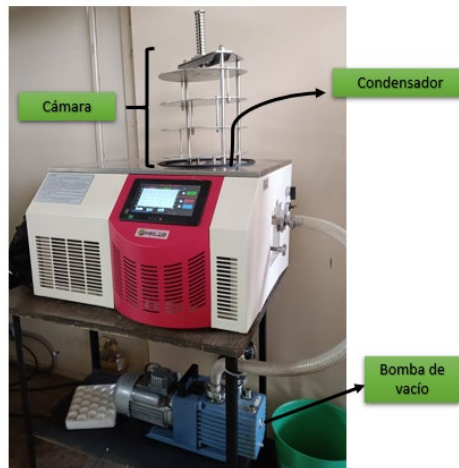


Figura 2.3. Partes principales del liofilizador

En el mercado se encuentran diferentes tipos de liofilizadores, que se pueden categorizar según el tipo de cámara de producto o según el tamaño y el uso que se le va a dar. Según el tipo de cámara estos pueden ser para productos pre-congelados, liofilizadores con estantes o una combinación de las anteriores; por otro lado, según el tamaño se puede clasificar como liofilizadores para laboratorios, para planta piloto o para industrias (Ramirez, 2006).

Ventajas y desventajas

La técnica de liofilización presenta varias ventajas y desventajas para la industria de alimentos.

Uno de los principales beneficios de liofilizar alimentos es la calidad del producto final, ya que permite conservar su valor nutricional, además que permite disminuir el peso, con lo cual se facilita el almacenamiento y el transporte de los alimentos (Kumar, 2019). Es ideal para productos que son sensibles al calor, debido a que la temperatura a la que se expone el alimento está por debajo de las temperaturas en las que algunas sustancias experimentan alteraciones químicas (Montes, 2016).

El principal inconveniente son los altos costos energéticos, que dependen de los alimentos que se desea procesar y del tiempo del proceso (Hurtado, 2015). Otra desventaja es que, debido a las fuerzas iónicas, las proteínas contenidas en el producto pueden llegar a desnaturalizarse y desestabilizarse (Bhosale et al., 2021).

2.3 Técnicas de enfriamiento en la industria alimentaria

En la industria alimentaria existen varias técnicas de enfriamiento para la conservación de alimentos ya que protege la calidad de los mismos, es decir, retarda la actividad molecular y microbiana de alimentos, ampliando su vida útil (Waghmare et al., 2020).

Las tecnologías de congelamiento se dividen en tres: congelación mecánica, congelación criogénica y congelación por impacto. En la industria alimentaria, una de las primeras técnicas en utilizarse fue la congelación mecánica, ésta funciona normalmente por la circulación del refrigerante (amoníaco) que retira el calor del alimento, luego este calor se transporta a un condensador y se disipa en aire o agua (Kennedy, 2014).

Los congeladores criogénicos son tecnologías innovadoras, que utilizan el nitrógeno líquido o el dióxido de carbono sólido, por poseer temperaturas bajas, los cuales entran en contacto directamente con el producto (Kennedy, 2014).

En la congelación por impacto el producto es colocado en una cinta que pasa a través de chorros de aire a alta presión. El aire se acumula y se canaliza a través de ranuras hacia los alimentos, con lo cual se obtiene una congelación más rápida que en los congeladores tradicionales (Kennedy, 2014).

En este trabajo se utilizarán la congelación convencional y la ultracongelación como métodos previos al proceso de liofilización.

a) Congelación convencional o lenta

La etapa de congelación desempeña un papel importante en la liofilización, ya que esta fase domina la morfología y la distribución de tamaños de cristales de hielo, esto afecta a la velocidad de secado, la cristalinidad del producto y la reconstitución del producto seco.

El proceso de congelación de alimentos es complejo debido a que contiene solutos además del agua. En la Figura 2.4. se muestra el cambio de la temperatura a lo largo del tiempo denomina curva de congelación.

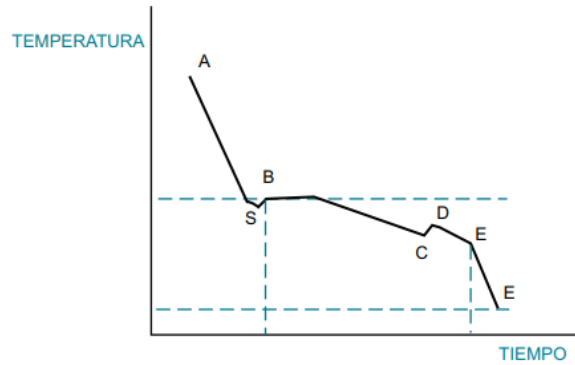


Figura 2.4. Curva de congelación convencional de una solución (Umaña, 2007).

Cada una de las fases que se observan en la Figura 2.4 se describen a continuación:

- AS: El alimento se enfría a una temperatura inferior a su punto de congelación, es decir, por debajo de 0 °C. Alcanzado el punto S, se produce el fenómeno conocido como sobreenfriamiento, debido a que el agua permanece líquida incluso por debajo del punto de congelación hasta aproximadamente -10 °C.
- SB: La temperatura se eleva rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación a medida que los cristales de hielo comienzan a formarse y liberan el calor latente de cristalización.
- BC: En los alimentos, el calor se disipa a una tasa similar a la anterior, pero es el calor latente que se libera durante la formación de hielo lo que mantiene la temperatura casi constante. El punto de congelación disminuye gradualmente debido a que la concentración de solutos aumenta en la proporción no congelada del agua, lo que provoca un ligero descenso en la temperatura. Es durante esta etapa cuando se produce la mayor cantidad de hielo.
- CD: Cuando uno de los solutos alcanza la sobresaturación, comienza a cristalizarse, lo que provoca la liberación del calor latente de cristalización. Este proceso hace que la temperatura aumente hasta alcanzar la temperatura eutéctica específica para ese soluto, que es la temperatura en la cual dos sólidos coexisten en presencia del líquido.
- DE: La cristalización tanto del agua como de los solutos continúa, y la duración total del proceso está determinada por la velocidad con la que se pierde el calor.
- EF: La temperatura de la combinación de hielo y agua disminuye hasta alcanzar la temperatura deseada.

b) Congelación rápida o ultracongelación

La congelación rápida se refiere a una técnica de preservación de alimentos, en la cual el alimento se expone a un refrigerante, como el caso del nitrógeno líquido (-195.8 °C) o el dióxido de carbono (-78 °C), lo que provoca un descenso rápido de la temperatura hasta llegar al punto de cristalización en un periodo corto de tiempo. Esta técnica permite la preservación de las características organolépticas de las materias primas, como la textura y el sabor (Alvarez, 2021). En la congelación criogénica, cuando el refrigerante en ebullición entra en contacto con el alimento, provoca el enfriamiento. El refrigerante utilizado es de pérdida total, es decir, que no se puede recuperar, debido a que éste se libera a la atmósfera (James y James, 2003).

Diferencias entre la congelación y la ultracongelación

La diferencia principal entre estas dos metodologías se debe a la velocidad de congelación mostrada en la Figura 2.5, debido a que en la ultracongelación la formación de cristales de hielo se da de manera uniforme dentro y fuera de las células, lo que lleva a la formación de cristales más pequeños, disminuyendo el daño a la estructura celular del mismo. Por otro lado, en la congelación convencional se da la formación de cristales de hielo de forma rápida en el exterior de las células que, en el interior de las mismas, con lo que se obtiene grandes cristales de hielo que provocan presión y bordes cortantes, por consiguiente, se puede producir daño de los componentes celulares tal como se muestra en la Figura 2.6 (Air Products, 2013).

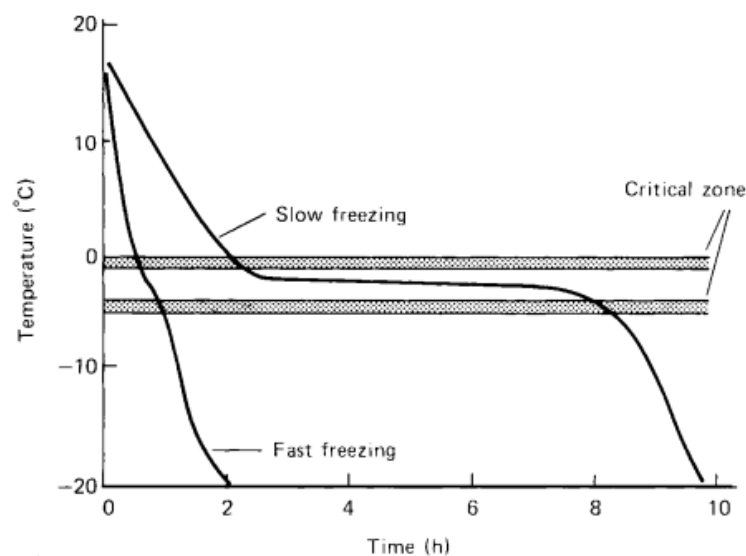


Figura 2.5. Cambios de temperatura con respecto al tiempo

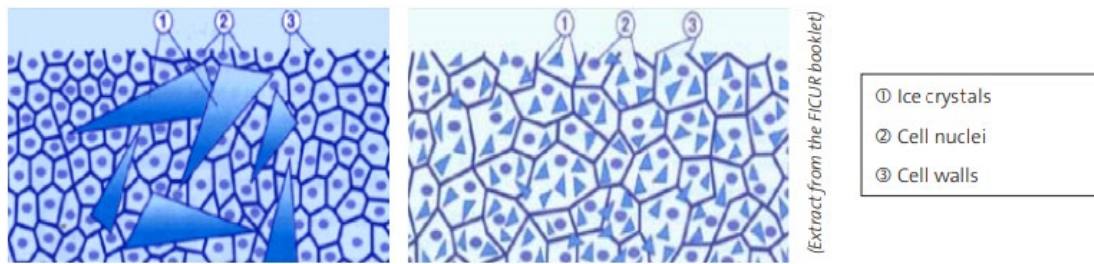


Figura 2.6. Formación de cristales acorde a la cinética de congelación (Air Products, 2013)

Otra diferencia son los efectos que pueden provocar en los alimentos, debido a que cuando la congelación se da de forma convencional o lenta, pueden afectar en la textura y el sabor del mismo, mientras que cuando esta congelación se da de forma rápida las afecciones al producto son menores, cabe mencionar que si las velocidades son muy elevadas estos pueden provocar agrietamientos en los alimentos (Umaña, 2007).

Por último, la ultracongelación en comparación con la congelación tradicional necesita menos gasto de instalación, ya que, para realizar la congelación tradicional se necesita de un refrigerador o congelador que ocupa mayor espacio físico, mientras que para la ultracongelación solo se necesita el recipiente en donde permanece el refrigerante, además que la congelación convencional gasta más energía que la ultracongelación, sin embargo, a largo plazo conllevan un gasto económico elevado (Cama, 2023).

Tipos de congeladores

Existe una gran variedad de congeladores en el mercado que se utilizan para distintos fines, estos se pueden agrupar por categorías en función de la transmisión térmica como (Umaña, 2007):

- **Contacto directo:** El principal método de transferencia térmica por contacto directo es la conducción, en el cual, el producto se pone en contacto directo con la superficie refrigerada. El tipo más común es el congelador de placa de contacto, el refrigerante circula dentro de los canales de las placas, con lo que se asegura una buena transferencia y resultados eficientes en los tiempos de congelación.
- **Por convección por aire:** Los congeladores de ráfaga utilizan aire como medio de la transferencia térmica por convección. Este aire frío circula a una alta velocidad sobre el producto. El aire extrae el calor del producto y luego es pasado por un intercambiador en donde un refrigerante extrae este calor y el aire frío es recirculado nuevamente.

Características y condiciones de operación del proceso de liofilización de alimentos.

Los parámetros del proceso de liofilización deben seleccionarse de manera que no derrita el agua, debido a que el agua líquida es el medio de reacción y cambia las propiedades reológicas del producto, como cambio en la composición, morfología, propiedades físicas de los alimentos y calidad durante el almacenamiento. Se cree que la liofilización es el mejor método de secado, pero una incorrecta selección de las condiciones de operación puede provocar cambios desfavorables en el material, como cambio de color y colapso en la estructura (Nowak y Jakubczyk, 2020).

Una forma de evaluar si la cantidad de calor suministrada es alta, es controlar la temperatura del material liofilizado. Su valor no debe exceder el valor de la temperatura crioscópica para un material determinado o el punto de transición vítrea para un contenido de agua fijado (Nowak y Jakubczyk, 2020).

La velocidad de congelación es importante para la liofilización, la cinética de nucleación del hielo y el crecimiento de los cristales determinan el estado físico y la estructura morfológica del material congelado y como resultado las propiedades del producto liofilizado. La velocidad de congelación adecuada depende del tipo de material. Si se desea preservar las funciones biológicas de la membrana celular, se debe utilizar una congelación rápida, para que los cristales de hielo no las dañen. La presión en la cámara de liofilización debe ser inferior a 610 Pa aproximada al punto triple del agua, en el caso de materiales vegetales, es de alrededor de 63 a 124 Pa a una temperatura de -25 °C a -20 °C e inferior (Nowak y Jakubczyk, 2020).

2.4 Guacamole

El guacamole es una salsa o puré, término que proviene de dos palabras de una lengua azteca conocida como náhuatl que son ahuateatl y molli, éstas significan testículos y mole respectivamente, juntas forman la palabra ahuateamolli, conocida comúnmente como guacamole (López y Césaire, 2021).

Aguacate *Persea americana* Mill. Cv. Hass

El principal ingrediente de esta salsa es el aguacate, éste es originario de regiones tropicales de Centroamérica y México, el aguacate fue de gran importancia en la civilización Maya y Azteca, concretamente el árbol se originó en México y se expandió en sectores

como Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. Es una de las frutas más cotizadas en el mercado mundial, debido a sus beneficios nutritivos y su sabor agradable (Alfonso, 2008). Existen algunas variedades de aguacate que se producen según la zona en la que se encuentra, por ejemplo, en zonas de altura media se producen variedades como Simpson, Hall, y en zonas altas variedades como el Fuerte y el Hass (Garbanzo, 2011). El fruto de la variedad Hass posee una cáscara gruesa y rugosa, presenta un color verde en madurez fisiológica y al madurar este se torna morado tal como se puede apreciar en la Figura 2.7.



Figura 2.7. Índices de madurez de aguacate Hass.

Propiedades nutricionales del guacamole

El guacamole se ha convertido en un alimento importante a nivel internacional, no solo por su sabor exquisito sino también por sus propiedades nutricionales que pueden variar según la receta de guacamole que se prepare.

Generalmente, el guacamole está constituido por aguacate, el cual le confiere la mayoría de las propiedades nutricionales al producto final. En general, el aguacate está compuesto de agua, lípidos, carbohidratos, proteínas, ceniza, fibras y energía. La composición anterior provee al aguacate propiedades nutricionales que pueden ser beneficiosas para la salud, debido a que es un alimento rico en grasas, minerales y vitaminas (Araújo et al., 2018).

Uno de los beneficios importantes del aguacate es que reduce el riesgo de cáncer, ya que contiene folato, que es la forma natural de vitamina B, puede ayudar a combatir el cáncer de colon y próstata. El aguacate previene la osteoporosis mediante su aceite, ya que el aceite contiene vitamina K, que es la vitamina que ayuda a construir los huesos y tejidos. Además, ayuda a tener una digestión normal, ya que contienen un nivel de fibras insolubles que son útiles para eliminar los desechos del cuerpo y prevenir el estreñimiento. Puede tener otras ventajas respecto a la salud como reducir la inflamación en el cuerpo, mantener la presión arterial normal, mejorar la visión, ayudar durante el embarazo y su aceite tiene beneficios para la piel (AFZAL et al., 2022).

El aguacate se destaca por poseer un alto contenido de lípidos, especialmente ácidos grasos como el oleico, cuyo porcentaje en el mesocarpio (pulpa) es del 70 al 80%, el ácido linoleico es otro de los ácidos grasos que se forman en el fruto a medida que se desarrolla, el ácido linoleico posee valores entre el 10 al 11% y el palmítico aproximadamente 7%, también aparecen otros ácidos grasos en menor cantidad como lo son el ácido esteárico, mirístico, linolénico y araquídico (Campos et al., 2011).

Métodos de preparación del guacamole

En un principio el guacamole solía elaborarse mediante aguacate machacado, en el cual se incorporaban ingredientes como el agua, jugo de limón, tomate y chile, sin embargo, con el pasar del tiempo se ha ido variando esta receta adicionando ingredientes como la cebolla, el culantro o el ajo. Las recetas dependen del consumidor, de la zona geográfica en la que se encuentra y de los propósitos comerciales (Patiño et al., 2021).

Por ejemplo, Cortés et al. (2019) estudiaron la optimización de una receta de guacamole mediante el empleo de polvo de aguacate y aguacate fresco, el experimento se realizó con aguacate Hass en conjunto con cebolla roja, pimienta dulce, culantro, ajo y sal, además se utilizaron aditivos como el sorbato de potasio, butilhidroxitolueno, benzoato de sodio, ácido cítrico, eritorbato de sodio y colorante de lima, determinaron factores como la humedad, el pH, el índice de peróxidos, viscosidad y color, con lo cual se llegó a la conclusión de que el polvo de aguacate puede reemplazar parcialmente al aguacate fresco obteniendo un producto estable y de calidad similar a un guacamole comercial (Cortés et al., 2019).

Así como se ha descrito que en el guacamole fresco se pueden utilizar varios ingredientes, también se pueden utilizar en el guacamole liofilizado, de acuerdo con Marrón (2004), describe que preparó el guacamole y posteriormente lo sometió al proceso de liofilización, por otro lado, otros autores preparan aguacate en polvo que al final se rehidrata y se agregan especias para la preparación del guacamole.

Generalidades de las materias primas para la preparación de guacamole

- **Cebolla:** La cebolla le aporta un sabor característico al guacamole, además contiene compuestos nutraceuticos que ayudan a reducir el riesgo de enfermedades; la característica fundamental de la cebolla es que posee propiedades antioxidantes que pueden ayudar a prevenir el pardeamiento u oscurecimiento del aguacate (Souza et al., 2015).
- **Culantro:** El culantro o cilantro conocido en México es una planta que contiene características aromáticas y de sabor que se relacionan con compuestos

polifenólicos, tales como: ácidos ferúlicos, cafeico, gálico y clorogénico, esta planta es reconocida por sus propiedades bioactivas, antibacterianas y antifúngicas, en el guacamole se utiliza para realzar el sabor y aromatizar la receta (Leyva et al., 2023).

- **Tomate riñón:** El tomate riñón perteneciente a la familia de las solanáceas presenta varios compuestos bioactivos que juegan un rol importante debido a que previenen la peroxidación lipídica, esto se da por la presencia de vitamina E, además este posee vitamina C, folatos, flavonoides y taninos, teniendo un efecto inflamatorio y antioxidante (Raiola et al., 2014).
- **Sal de mesa:** El cloruro de sodio se usa como aditivo alimentario, es el ingrediente que le confiere el sabor salado a determinados productos, se usa como conservante (Clapa, 2022).
- **Ácido ascórbico:** Es un aditivo alimentario codificado como SIN 300, es un antioxidante natural o sintético, se obtiene por la extracción de frutas y vegetales, es considerado como vitamina C natural, tiene un nivel de toxicidad baja. Según el Codex Alimentarius, el ácido ascórbico es un regulador de acidez, antioxidantes y se utiliza como agente de tratamiento de harinas (CODEX, 1995).
- **Ají:** Este ingrediente se agrega para que el guacamole adquiera un sabor ligeramente picante, dependiendo de los gustos del consumidor (Loaiza & López, 2013).

Valor comercial

De acuerdo con la información proporcionada por el Servicio de Información y Censo Agropecuario (SICA), en el año 2022 en Ecuador, específicamente en la región sierra se sembraron 6206 ha de aguacate, con una producción de 25905.9 t y ventas de 25684.53, de estos el 98.27% se destinan para autoconsumo y el 1.73% se desperdicia. El 99% de aguacate es para mercado nacional y el 1.00% se destina a mercado internacional (INEC, 2022). Las exportaciones en el 2023 de aguacate alcanzan las 1067.1 t, siendo los principales destinos España, Colombia y Países Bajos (SIPA, 2023).

2.5 Efecto de la congelación en la calidad nutricional del aguacate

El aguacate es el principal componente para la elaboración del guacamole, sin embargo, el principal problema de trabajar los aguacates es que son susceptibles a deterioros, debido a la degradación de lípidos y pardeamiento por las reacciones oxidativas y enzimáticas. Para contrarrestar estos problemas se opta por alternativas, como el secar la pulpa, sin embargo, se han reportado pérdidas del sabor mediante estas técnicas, por ejemplo, se menciona que, al tratar la pulpa con microondas, se observa una disminución de compuestos volátiles responsables del sabor (Cortés et al., 2019).

Los productos vegetales que poseen un alto contenido de aceites son sensibles al proceso de oxidación que puede conducir a la rancidez, esto puede producir sabores indeseables y pérdida de la calidad nutricional. Uno de los mayores problemas es el oscurecimiento de la pulpa de aguacate, que se produce por la rapidez de las reacciones y en consecuencia causan deterioro, tanto físico como químico (Valenzuela, 1996).

a) Pardeamiento Enzimático

La razón principal en el pardeamiento de alimentos que recién fueron cortados, radica en la actividad catalítica de la Polifenol Oxidasa (PPO). Esta enzima es crucial en el proceso de pardeamiento y cuenta con un sitio activo con dos iones de cobre, cada uno de los cuales está unido a tres residuos de histidina. La enzima PPO, al estar en contacto con el oxígeno molecular, promueve la oxidación de los o-difenoles, los cuales se encuentran en los tejidos de frutas y verduras, convirtiéndose en o-quinonas. Posteriormente, estas quinonas se unen con fenoles y se polimerizan, dando lugar a la formación de pigmentos de color marrón oscuro. Este cambio de color afecta directamente a la apariencia del producto que es el primer atributo percibido por el consumidor (Liñan & Puma, 2021).

Para monitorear el pardeamiento enzimático se pueden utilizar diferentes métodos, como los tratamientos térmicos a bajas temperaturas, lo cual reduce la actividad enzimática y disminuye las reacciones metabólicas que prolonga la vida útil del producto. Otra metodología es mediante la adición de químicos o aditivos para el procesamiento, como es el caso del ácido ascórbico, el cual es un antioxidante que es capaz de reducir la o-quinona a difenoles incoloros de baja reactividad (Tantarico & Llontop Rosa, 2019).

b) Rancidez

La rancidez oxidativa se relaciona con la percepción de sabores y olores desagradables, que son causados por la oxidación de las cadenas de ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y linolénico), por el oxígeno atmosférico. La reacción que se presenta en la rancidez oxidativa se produce de manera espontánea, por lo que toma el nombre de autooxidación. Las reacciones que se producen en la rancidez se pueden producir de dos formas: en la primera, los dobles enlaces se rompen mediante la adición de oxígeno, dando origen a la formación de peróxidos. Por otro lado, en el otro mecanismo, el oxígeno induce la liberación de un protón del radical, ocupando su lugar y generando el compuesto denominado hidroperóxido. Los productos resultantes en ambos mecanismos son inestables, lo que conduce a la formación de aromas y sabores extraños. Además, por la oxidación de los lípidos se generan compuestos volátiles que son responsables de sabores desagradables que alteran las características organolépticas de los alimentos (Velasco et al., 2010).

2.6 Determinación de la calidad del aguacate

La determinación de la calidad del aguacate o del guacamole implica tomar en cuenta varios aspectos como: los compuestos que presentan, las características organolépticas como la humedad, las proteínas, las fibras, o hacer una evaluación sensorial de este alimento y análisis microbiológico.

Análisis bromatológico

Los análisis bromatológicos se destinan a evaluar las propiedades de los alimentos y sus componentes. Este proceso es fundamental para identificar las cualidades de los alimentos y asegurar que sean deseables y nutritivos para el consumidor. Las técnicas varían según el alimento y la propiedad a ser medida, existen organizaciones que proponen procedimientos estándar para este tipo de análisis, como es la *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC). Con respecto al aguacate el análisis bromatológico consta de un análisis de humedad, cenizas, proteínas y lípidos (Díaz, 2017).

a) Análisis de humedad

La determinación de humedad se basa en evaporar mediante secado el agua disponible que está contenida en los alimentos, este análisis se puede realizar por distintos métodos como son desecación y liofilización, basándose en el método de la AOAC número 930.15.

Este método indica que mediante una balanza analítica se deben pesar aproximadamente 3 g del material y se lleva a una estufa a una temperatura de 100 °C por 24 h. Después de este período se tapa el recipiente y se lo introduce en un desecador por 5 min, para la medición se registra el peso final y se calcula la diferencia de pesos para determinar el porcentaje de humedad (Pillco et al., 2021).

b) Análisis de cenizas

Las cenizas se refieren a los residuos inorgánicos, tales como óxidos metálicos, carbonatos, fosfatos, sulfatos, silicatos, entre otros, los mismos que permanecen después de la combustión o la oxidación de la materia orgánica en un producto alimenticio. La cantidad de cenizas en los alimentos refleja su contenido mineral, incluyendo elementos fundamentales como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), así como oligoelementos como hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu). Existen dos tipos de incineración, la incineración seca, que es usada para análisis proximal, y la incineración húmeda para el análisis de algunos minerales. Para realizar este análisis se tienen algunos procedimientos descritos por la AOAC como, por ejemplo: los métodos AOAC 900.02, 920.117, 923.03. De manera general, pesar la muestra entre 5 y 10 g en un crisol seco y tarado, colocar los crisoles en una mufla fría, encender durante 13 a 18 h aproximadamente a 550 °C. Apagar el horno y esperar a que la temperatura descienda alrededor de 250 °C. Transferir los crisoles a un desecador mediante pinzas de seguridad, cubrir los crisoles, cerrar el desecador y esperar hasta que estos estén fríos para pesarlos (Nielsen, 2010).

c) Análisis de proteínas

Las proteínas son componentes abundantes en las células y cumplen funciones biológicas importantes. Están compuestas por elementos como el nitrógeno, carbono, oxígeno y azufre; el componente más distinguido de las proteínas es el nitrógeno, por lo que algunos métodos se basan en la medición de este componente para conocer el contenido de proteínas. Algunos de los métodos que se mencionan en la AOAC son Dumas, espectroscopía infrarroja y Kjeldahl (método 955.04) y son los más utilizados para el etiquetado nutricional y evaluación de calidad del producto (Nielsen, 2010).

El método de Kjeldahl se basa en la descomposición de proteínas y otros compuestos orgánicos mediante la acción de ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El método original se basa en tres pasos que son la digestión con ácido sulfúrico, la neutralización del producto anterior, seguida de una destilación con ácido estándar que contiene yoduro y yodato de potasio y, por último, una titulación del yodo liberado con tiosulfato de sodio estándar. Los resultados se expresan como contenido de proteína cruda (Nielsen, 2010).

d) Análisis de lípidos

Las grasas o lípidos se definen como un grupo de compuestos que son insolubles en agua, sin embargo, los ácidos grasos tienen la capacidad de disolverse en solventes orgánicos como éter, benceno, cloroformo y acetona. Las grasas en su composición incluyen carbono, hidrógeno y oxígeno, algunas grasas pueden presentar fósforo y nitrógeno. La importancia de su determinación radica en comprender como las grasas y los aceites afectan tanto a las propiedades funcionales como nutricionales de los alimentos (Márquez, 2014).

Para la determinación de grasas, existen varios métodos descritos en la AOAC como son el método de Goldfish, método de Soxhlet y método de Mojonnier. El método de Goldfish es una extracción continua con solventes, este método se cuantifica por la pérdida de peso de la muestra o a su vez por el peso de la grasa extraída. El método Soxhlet es una extracción semicontinua en la que el solvente se retiene en la cámara de extracción durante 5-10 min; el solvente rodea a la muestra antes de retornar al matraz de ebullición por el efecto de sifón, la cuantificación de las grasas se da igual que en el primer método. Por último, el método Mojonnier es una extracción discontinua que no requiere la eliminación de la humedad de la muestra, para la extracción se utiliza un matraz de Monjonier, en el cual la grasa se extrae con una mezcla de éter etílico y de petróleo, la grasa se seca hasta alcanzar un peso estable (Nielsen, 2010).

Determinación de ácidos grasos en la pulpa de aguacate

Los ácidos grasos son uno de los grupos más importantes en el contenido del aguacate, estos compuestos pueden ser determinados por técnicas como la cromatografía de gases, cromatografía líquida de alta resolución, espectroscopía infrarroja y de masas, entre otras.

La cromatografía es una técnica de separación, identificación y determinación de componentes relacionados en mezclas complejas que, mediante otros métodos, dificulta la separación (Skoog et al., 2008). La cromatografía separa los componentes al distribuirlos entre dos fases que no se mezclan. Una de las fases permanece inmóvil, mientras que la otra se desplaza. El proceso se fundamenta en las propiedades de adsorción de los diferentes componentes, que se refieren a su capacidad para unirse a una superficie porosa. Aquellas sustancias con fuerzas de adhesión débiles se desplazarán más rápidamente, ya que no se adhieren fácilmente a la superficie. Este principio se rige por la naturaleza y solubilidad de las sustancias, creando un equilibrio dinámico entre las fases y el solvente (Ruíz, 2018).

En la cromatografía de gases, el gas se utiliza como fase móvil, mientras que la fase estacionaria se presenta en forma líquida o sólida. La muestra se convierte en vapor y se inyecta en la parte superior de la columna. La elución se lleva a cabo mediante el flujo de una fase móvil compuesta por un gas inerte que no interactúa con las moléculas de la muestra; esta fase simplemente transporta la muestra a través de la columna (Ruíz, 2018).

Para la determinación del contenido de ésteres metílicos como el metil oleato, metil palmitato, entre otros, se presentan distintas normativas que detallan el procedimiento que se debe seguir, una de ellas es la BS EN 14103, la cual se basa en la determinación del porcentaje en masa total de ésteres metílicos de ácidos grasos en las muestras (British Standards Institution, 2020).

Análisis microbiológico

Es importante realizar un análisis microbiológico en los alimentos, debido a que permite que éstos aseguren la calidad y seguridad con el fin de proteger la salud y satisfacción de los consumidores. Estas evaluaciones se realizan a través del criterio microbiológico, el cual determina la aceptabilidad de un producto según la ausencia o presencia de microorganismos, también se mide por la densidad microbiana por unidad de masa o volumen de muestra (NMP/g o cm³ de muestra) (NTS N°071, 2008).

En el Ecuador se realiza el control microbiológico de alimentos con base en la norma técnica Ecuatoriana INEN, en la cual se encuentran descritos los procedimientos para la determinación de coliformes (NTE INEN 1529-7), determinación de *E. Coli* (NTE INEN 1 529-8), *Salmonella* (NTE INEN 1 529-15), mohos y levaduras con base en NTE INEN 1 529-10 (NTE INEN 616, 2006).

Análisis de la estructura celular

a) Microscopía óptica

La microscopía óptica se enfoca en ampliar las imágenes de objetos que son pequeños para visualizarse a simple vista. El microscopio óptico es utilizado para analizar, cómo distintos métodos de enfriamiento y de liofilización afectan a la estructura celular del aguacate en polvo. En la Figura 2.8 se esquematizan los cambios que ocurren a nivel celular a medida que se aplican diferentes velocidades de congelación.

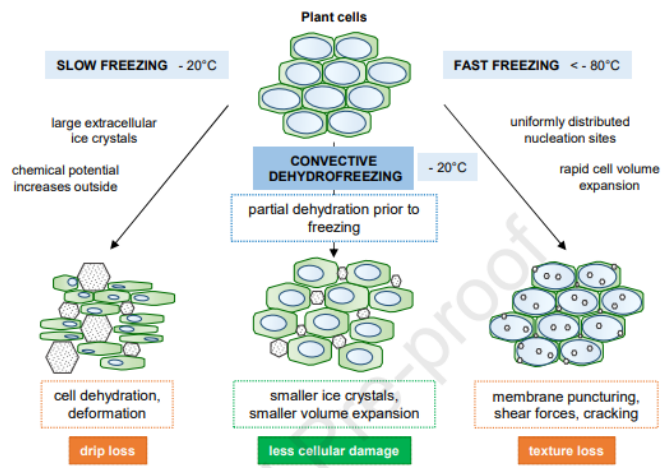


Figura 2.8. Representación esquemática del posible proceso de congelación en las células (Schudel et al., 2021).

b) Difracción de rayos X

La técnica de difracción de rayos X estudia estructuras cristalinas y espaciado atómico, este método se fundamenta en la evaluación de la intensidad difractada de un haz de rayos X, que impacta en la muestra y varía con el cambio del ángulo de incidencia, la dispersión, la polarización y la longitud de onda. En la Figura 2.9 se representa cómo los rayos X que inciden se desplazan a un ángulo θ , los rayos X difractados obedecen la ley de Bragg, representada en la ecuación de la figura (Purohit et al., 2019).

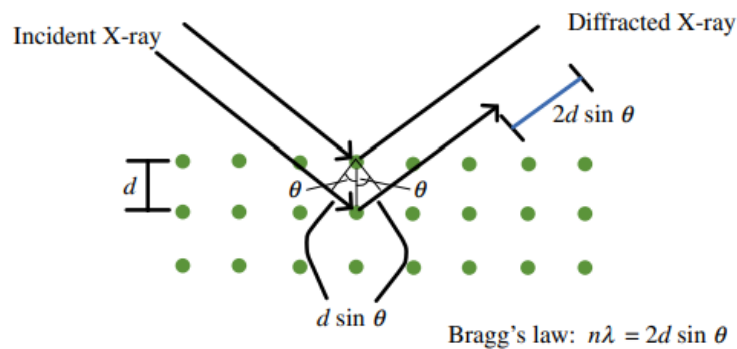


Figura 2.9. Representación esquemática de la difracción de rayos X (Purohit et al., 2019).

Los resultados de la difracción de rayos X permiten comprender tanto el polimorfismo cristalino como la proporción de contenido cristalino y amorfo. De manera general, la cristalinidad se establece al analizar el área situada bajo el pico cristalino y el área total del difractograma. Por otro lado, la determinación del polimorfo cristalino se realiza por medio de la evaluación de la posición del pico en un ángulo específico (2θ), siendo θ el ángulo de dispersión (Purohit et al., 2019).

Es fundamental considerar la estructura molecular presente en los alimentos, que puede ser de forma cristalina, amorfa o mixta. Los polvos cristalinos se identifican por una disposición molecular de largo alcance y una estructura compacta, ejemplificada por sales, azúcares o ácidos orgánicos. En contraste, los polvos amorfos carecen de una disposición ordenada a largo alcance, con moléculas dispuestas de manera aleatoria en una estructura abierta y porosa, lo que facilita la absorción de moléculas externas como agua, gas o compuestos volátiles (Ho et al., 2017).

La obtención de materiales amorfos se logra mediante métodos como el enfriamiento rápido y la deshidratación a través de técnicas como el secado por aspersión y la liofilización. La transformación de fase de los polvos amorfos se ve influenciada por la humedad, la humedad relativa y la temperatura durante la exposición. La estructura mixta se refiere a la coexistencia de regiones amorfas y cristalinas en los polvos, un ejemplo de ello se observa en el secado por pulverización de polvos, en el cual las partículas depositadas en las paredes de la cámara pueden presentar una estructura mixta debido a la exposición prolongada a altas temperaturas y humedad en dichas superficies (Ho et al., 2017).

En la visualización de resultados, en el caso de polvos de frutas, un difractograma que presenta picos difusos y amplios es característico del contenido amorfo, lo cual indica una disposición desordenada de moléculas, mientras que picos nítidos y bien definidos son características de un estado cristalino (Purohit et al., 2019).

Para el caso del aguacate, en el artículo de Merino et al. (2021) se muestran los patrones de difractogramas tanto para la semilla como para la cáscara de aguacate, los cuales se ven en la Figura 2.10, en estos difractogramas se observan que tanto la semilla como la piel del aguacate presentan una estructura amorfa. El autor menciona que, el difractograma de la cáscara es típico de la celulosa I polimórfica, con un rango de 2θ que va desde 15° hasta 22.6° , por otro lado, la semilla presenta un difractograma típico del almidón con cristalinidad tipo B.

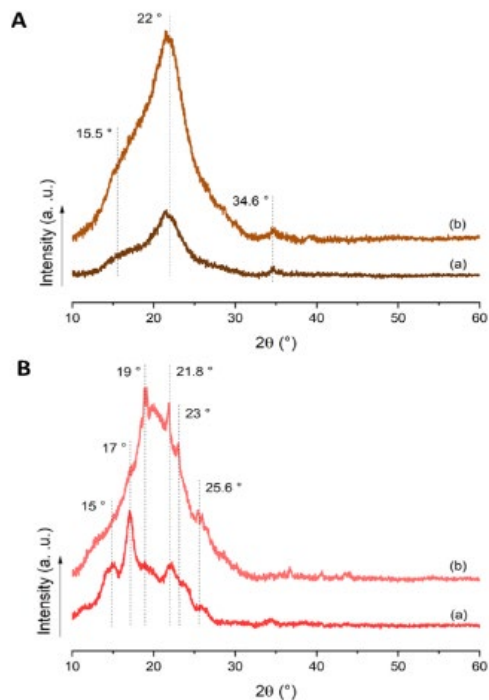


Figura 2.10. Patrones de difractogramas: (A) polvo de cáscara de aguacate y (B) semilla de aguacate (B) (Merino et al., 2021).

2.7 Análisis sensorial

La evaluación sensorial implica el análisis de los alimentos a través de los sentidos, se define como una técnica de medición de igual importancia como lo son los análisis químicos y físicos. Estas pruebas no solo son utilizadas en la industria alimentaria, sino en industrias como la farmacéutica, de pinturas, tintes, entre otros. Las personas que realizan este tipo de evaluaciones llevan consigo las herramientas necesarias que son sus sentidos, es decir, emplean su capacidad visual, táctil, gustativa, auditiva y olfativa (UPAEP, 2014).

Propiedades sensoriales

Los atributos son características sensoriales que se utilizan para la evaluación de los alimentos, entre estas se encuentran: el color, el sabor, la apariencia, la textura, entre otros (Anzaldúa, 1994).

- a) **Color:** Se define como la detección de la luz de una longitud de onda específica que es reflejada por un objeto, el color se define por 3 características: el tono, la intensidad y el brillo. En términos de análisis sensorial, la evaluación del color es subjetiva y se basa en las características visuales de un producto. Los colores

presentes en un producto pueden influir en la percepción del consumidor, convirtiéndose en un estímulo importante durante el proceso de venta.

- b) **Olor:** Consiste en la detección de sustancias volátiles por medio del olfato. Para los alimentos no se ha podido establecer una escala de olores, debido a que se manifiesta de forma única en cada uno.
- c) **Aroma:** Se refiere a la apreciación de sustancias olorosas o aromáticas, luego de haber colocado el alimento en la boca. Estas sustancias se disuelven en la mucosa y viajan a los centros sensoriales del olfato mediante conductos que conectan el oído con la faringe (trompa de Eustaquio). Es el elemento central del sabor.
- d) **Sabor:** El análisis de los sabores básicos de los alimentos, como el ácido, dulce, salado o amargo, implica la detección de propiedades mediante la lengua. Este atributo integra tres componentes: el olor, el aroma y el gusto, por lo que puede convertirse en un análisis más complejo de analizar en comparación con el estudio de cada propiedad de forma individual.
- e) **Textura:** Es una cualidad que puede percibirse por los sentidos del tacto, la vista y el oído, se expresa cuando el alimento experimenta una deformación. Las características de textura se pueden clasificar en mecánicas, geométricas y de composición como se indica en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Tipos de atributos de textura (Anzaldúa, 1994).

Atributos de Textura		
Mecánicos	Geométricos	De composición
Primarios <ul style="list-style-type: none"> • Elasticidad • Dureza • Cohesividad • Adhesividad • Viscosidad Secundarios <ul style="list-style-type: none"> • Fragilidad • Masticabilidad • Gomosidad • Pegosteosidad • Crujido 	<ul style="list-style-type: none"> • Fibrosidad • Granulosidad • Cristalinidad • Esponjosidad • Flexibilidad • Friabilidad • Hilosidad • Tersura • Aspereza 	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Grasosidad • Sebosidad • Resequedad • Acetosidad • Harinosidad • Suculencia • Terrosidad

Pruebas sensoriales

Estas pruebas se basan en las opiniones de los jueces o panelistas, quienes expresan su respuesta o impresión ante un producto, ya sea si les gusta o disgusta, o por la preferencia de un producto sobre otro. Para realizar las pruebas sensoriales, el número de panelistas depende del tipo de prueba que se aplique, puede haber jueces entrenados, es decir, que poseen habilidades para detectar las propiedades sensoriales o algún sabor o textura en particular. Los jueces semi entrenados, son personas que han recibido una formación teórica similar al de jueces entrenados, por lo general participan en pruebas discriminativas sencillas. Por otro lado, los jueces consumidores son personas que no tienen experiencia en pruebas sensoriales ni en el campo de los alimentos, este tipo de jueces solo participan en pruebas afectivas (Anzaldúa, 1994).

Tipos de pruebas sensoriales

Las pruebas sensoriales para el análisis de alimentos se pueden categorizar en los tres grupos presentados a continuación:

- **Pruebas Discriminativas:** En estas pruebas, no es necesario conocer la sensación que percibe una persona del alimento. El objetivo es identificar la diferencia entre dos muestras, para lo cual se utilizan diferentes tipos de encuestas, como son la comparación apareada simple, en la que presentan dos muestras y se solicita a los jueces que diferencien algún atributo en particular. En la prueba triangular, se presentan al juez tres muestras, de las cuales dos son iguales y se pide especificar cuál de las muestras es la que difiere. Por último, en la prueba dúo-trío, igualmente se presentan tres muestras, una de éstas está marcada con una R y se informa que es una muestra de referencia, al juez se le indica que identifique cual es la muestra diferente a la de referencia (Penfield & Campbell, 1990).
- **Pruebas Descriptivas:** El objetivo de estas pruebas se basa en definir las propiedades del alimento, es importante conocer la intensidad de los atributos y no las preferencias o diferencias que existen entre una muestra y otra. En las encuestas para estas pruebas se utiliza la técnica de escalas o puntuación para la calificación de atributos, perfiles de textura o sabor (Anzaldúa, 1994).
- **Pruebas Afectivas:** Se utilizan para establecer la preferencia de un producto sobre otro, si es del agrado del juez y el nivel de aceptación del producto. Para este tipo de pruebas los jueces pueden ser consumidores habituales del producto que se analiza. Existen tres tipos de pruebas afectivas que son las pruebas de grado de

satisfacción, en la cual se da a los jueces dos muestras y se pide identificar la muestra que más le gusta o le disgusta; otro tipo de prueba afectiva es la prueba de preferencia, en la cual solo se le solicita al juez que especifique cuál de las muestras es de su preferencia y que escriba el porqué de su elección. Por último, la prueba de aceptación se refiere al deseo de una persona por obtener un producto, a diferencia de las otras dos, esta prueba se usa para determinar si la formulación de un producto puede competir con una marca comercial (Anzaldúa, 1994).

2.8 Colorimetría del guacamole

La colorimetría se fundamenta en la valoración del color mediante distintos métodos para organizar y medir su tonalidad. Una de las técnicas para la medición del color es la llamada CIELab, en la cual se determina los parámetros “L*” que hace referencia a la luminosidad de la muestra, “a*” que identifica las coordenadas de rojo (+) y verde (-), y por último “b*” que identifica las coordenadas de amarillo (+) y azul (-). Las coordenadas para L* están en el rango de 0 (negro) a 100 (blanco) y las escalas de a* y b* se encuentran en el rango de -128 a 128. En la Figura 2.11. se observa el diagrama relacionado a las coordenadas a* y b* (Nielsen, 2010).

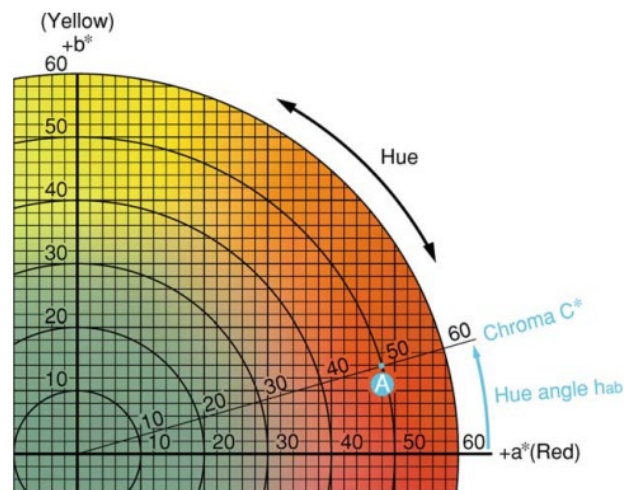


Figura 2.11. Escala cromática (Nielsen, 2010)

3 METODOLOGÍA

3.1 Recepción de la materia prima

En este trabajo se utilizó la variedad de aguacate Hass (*Persea americana*), la cual se obtuvo del proveedor “Hacienda Verde”, ubicado en la provincia de Pichincha, dentro del Cantón Pedro Moncayo, en la parroquia de Malchinguí. La fruta cosechada se entregó en estado de madurez comercial, el cual se identificó gracias a características como el color, brillo y forma del fruto.

Posteriormente, los frutos se transportaron mediante gavetas, para evitar que sufran daños en el trayecto hacia la planta piloto del Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología. Según el procedimiento indicado por OIRSA (2020), los aguacates fueron desinfectados mediante una solución de hipoclorito de sodio con una concentración de 50 ppm durante 5 min, luego fueron secados y distribuidos en gavetas previamente lavadas y desinfectadas con alcohol.

3.2 Obtención de aguacate en polvo

Tratamiento de la pulpa de aguacate

Una vez lavados los frutos, se procedió a extraer la pulpa de manera manual mediante utensilios de cocina como cuchillos y peladores, para pelar la cáscara y extraer la semilla. La pulpa de aguacate obtenida se cortó en cubos de 1 cm de lado, para facilitar los procesos posteriores.

Enfriamiento de muestras

El enfriamiento de la pulpa de aguacate se realizó mediante dos métodos: congelación y ultracongelación. Para cada método se utilizaron 1500 g de cubos de aguacates (total 3 kg) distribuidos en tres bandejas.

- a) **Método de Congelación:** Para llevar a cabo este método, se colocaron aproximadamente 500 g de cubos de aguacate, en tres bolsas herméticas. Cada bolsa se colocó en una refrigeradora durante 3 días a una temperatura de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- b) **Método de Ultracongelación:** Para la ultracongelación se utilizó nitrógeno líquido a una temperatura de $-182.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ medido mediante una termocupla tipo K de marca Extech que mide en un rango de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. La muestra permaneció sumergida en el nitrógeno líquido durante 1.5 min aproximadamente, para asegurar

que la pulpa mantenga su color verde claro original. El proceso de enfriamiento con nitrógeno líquido se realizó en un recipiente plástico con capacidad de 1.25 L. Al igual que en el método de congelación, se distribuyeron 500 g de cubos de aguacate ultracongelados en cada bolsa hermética.

Liofilización del aguacate

Las muestras previamente enfriadas de aguacate se secaron por medio de un liofilizador de marca LYOVAC modelo GT2, bajo condiciones de presión y temperatura constantes de 50 mPa y -40 °C, respectivamente, durante 48, 72 y 96 h. Primero se liofilizaron las muestras de aguacate ultracongelado, debido a que fueron llevadas inmediatamente al liofilizador después del enfriamiento para evitar su descongelación y su posterior deterioro; finalmente, se liofilizaron las muestras de aguacate congelado.

Las muestras de aguacate fueron distribuidas en las tres bandejas de liofilización, asegurando una disposición uniforme para un proceso eficiente. La distribución adecuada de los aguacates facilita la extracción homogénea de la humedad de las muestras, lo que resulta en la obtención de sólidos porosos con color propio del aguacate natural.

El aguacate, después de ser sometido a la liofilización, se trituró en un procesador de café de la marca KitchenAid. Posteriormente, el material triturado fue tamizado con cedazo de cocina sin alcanzar una granulometría fija, se aseguró la eliminación de cualquier partícula no deseada y se garantizó la homogeneidad del producto. El polvo resultante se almacenó en fundas herméticas de polietileno. En esta etapa también se registró el peso posterior a la liofilización a fin de evaluar la pérdida de humedad.

3.3 Obtención del perfil de ácidos grasos

Obtención del aceite de aguacate mediante extracción Soxhlet

En el proceso de extracción con solvente, se pesaron 7 g de aguacate en polvo en una balanza analítica según la proporción másica de solvente: soluto de 20.67. Se agregaron 210 ml de hexano a un balón de 250 ml, y se colocaron cada una de las muestras de aguacate pulverizadas en los cartuchos elaborados a partir de papel filtro y una base de algodón. Los cartuchos se introdujeron en el sifón del equipo Soxhlet. Para el montaje del equipo, se aplicó vaselina en la parte esmerilada del equipo Soxhlet para asegurar un buen sellado entre el balón, el sifón y el condensador. Además, se colocaron núcleos de ebullición en el balón para garantizar una distribución homogénea de la temperatura.

Se activaron las mantas de calentamiento de cada extractor y se reguló la temperatura en un rango de 40 y 60 °C por medio de un termómetro infrarrojo. Las muestras permanecieron en el equipo durante 4 h según el método descrito por la AOAC 2003.06 (2009), como se aprecia en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Método de extracción por Soxhlet.

Finalmente, se procedió a la recuperación del hexano mediante un rotavapor. Los extractos se mantuvieron a una temperatura constante de 50 °C. El extracto se llevó a sequedad total ya que es esencial para asegurar la eliminación del hexano y obtener el componente de interés con la pureza requerida.

Metilación

Según el procedimiento descrito por Carrillo y Mosquera (2017), en cada tubo Falcon se colocaron 3 g de cada muestra de aceite y se añadieron 3 ml de una solución 0.5 M de KOH en metanol. Se calentaron los tubos en agua a ebullición durante 10 min. Posteriormente, se añadieron 4 ml de la solución HCl: Metanol (1:4 v/v) y se llevó a ebullición durante 25 min. Se enfrió la muestra a temperatura ambiente y luego se añadió 6 ml de agua destilada y 9 ml de hexano, con el fin de separar la fase orgánica de la acuosa. Para la recuperación de la fase orgánica se utilizaron embudos de separación de 50 ml y se desecó con 3 g de sulfato de sodio (Na_2SO_4), con el fin de eliminar el agua residual.

Se extrajeron 2 ml de cada una de las muestras con una jeringa, asegurándose de tomar únicamente el sobrenadante. Posteriormente, se sometieron a un proceso de filtración mediante filtros de 0.45 micrómetros, y el filtrado resultante se almacenó en viales roscados. El perfil de ácidos grasos de cada tratamiento se analizó mediante un cromatógrafo de gases. Este método de análisis permitió identificar y cuantificar los principales ácidos grasos presentes en las muestras de aguacate liofilizado.

3.4 Análisis bromatológico del aguacate en polvo

El análisis bromatológico o proximal del aguacate liofilizado consistió en la determinación de humedad, cenizas, proteínas y extracto etéreo, mediante los siguientes métodos descritos por la AOAC.

Determinación de humedad: Método AOAC 925.10 (32.1.03)

Para determinar la humedad de las muestras de aguacate en polvo, se procedió primero a tarar cajas metálicas vacías en una estufa a una temperatura de 130 ± 3 °C durante aproximadamente 1 h. Posteriormente las cajas fueron retiradas de la estufa y colocadas en un desecador por aproximadamente 1 h. Una vez listas las cajas se pesaron 2 g de aguacate en polvo mediante una balanza analítica, estos 2 g se colocaron en las cajas metálicas y se introdujeron nuevamente en la estufa, manteniendo la misma temperatura durante 60 min. Transcurrido este tiempo, las muestras se dejaron enfriar en un desecador por 1 h.

Para el cálculo del porcentaje de humedad se utilizó la Ecuación 3.1, la cual considera los pesos antes y después del secado en la estufa.

$$\%Humedad = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} * 100$$

Ecuación 3.1. Porcentaje de humedad

Donde:

- P1: Peso de caja vacía
- P2: Peso de caja + muestra húmeda
- P3: Peso de caja + muestra seca

Determinación de cenizas: Método AOAC 923.03 (32.1.05)

Para realizar el análisis de cenizas, inicialmente, se procedió a tarar los crisoles vacíos en la mufla durante 15 h, manteniendo una temperatura de 550 ± 15 °C. Posteriormente, se enfriaron en un desecador durante aproximadamente 1 h. Se procedió a pesar el crisol vacío y de 3 a 5 g de la muestra utilizando una balanza analítica. A continuación, la muestra se secó durante 1 h en una estufa de convección a 130 °C y se enfrió nuevamente en un desecador durante 1 h. Se pesó el crisol vacío más la muestra seca.

Para la etapa de cenizas, se realizó una carbonización inicial en una plancha de calentamiento hasta la eliminación de humos blancos, seguida de la calcinación en la mufla a una temperatura de $550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se esperó hasta obtener cenizas blancas o de tono gris claro, o hasta alcanzar un peso constante. Después, se enfriaron en un desecador durante aproximadamente 1 h. Se pesaron el crisol más la ceniza.

Para el cálculo del porcentaje de cenizas se utilizó la Ecuación 3.2:

$$\%Cenizas = \frac{P4 - P1}{P3 - P1} * 100$$

Ecuación 3.2. Porcentaje de cenizas

Donde:

- P1: Peso crisol vacío
- P3: Peso crisol + muestra seca
- P4: Peso crisol + cenizas

Determinación de proteínas: Método AOAC 2001.11 (4.2.11)

Se utilizó 1 g de muestra para la determinación de proteínas. Se empleó como catalizador 1.253 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 7 g de K_2SO_4 , 12 ml de H_2SO_4 concentrado y 3 ml de H_2O_2 . La digestión de la muestra se llevó a cabo en un digestor a una temperatura de $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 1 h. Posteriormente, se procedió a la adición de 80 ml de H_2O , seguido de un enfriamiento para preparar las muestras para la posterior destilación. Para la titulación se utilizó HCl 0.1 M como ácido titulante.

Para el cálculo del porcentaje de proteína se utilizaron las Ecuaciones 3.3 y 3.4, las cuales describen el porcentaje de nitrógeno Kjeldahl y el porcentaje de proteína cruda.

$$\%Nitrógeno\ Kjeldahl = \frac{(Vol\ HCl\ muestra - Vol\ HCl\ blanco) * M * 14.01}{Peso\ muestra * 10}$$

Ecuación 3.3. Porcentaje de nitrógeno Kjeldahl

$$\%Proteína\ cruda = \%Nitrógeno\ Kjeldahl * Factor$$

Ecuación 3.4. Porcentaje de proteína cruda

Determinación de extracto etéreo: Método AOAC 920.85 (32.1.13)

La determinación de extracto etéreo comprende varias etapas. Primero, se determinó la humedad al vacío, para lo cual se colocaron cajas destapadas en una estufa al vacío y se

calibró la perilla para alcanzar los 100 ± 5 °C. Una vez alcanzada la temperatura, se esperó 1 h para tarar las cajas, posteriormente se sacaron las cajas mediante una pinza y se colocaron en un desecador por 60 min hasta que se enfríen.

En las cajas previamente taradas, se pesaron aproximadamente 2.5 g de muestra y se secaron en la estufa al vacío, hasta alcanzar un peso constante con una temperatura entre 95 a 100 °C bajo una presión no mayor a 100 mmHg por aproximadamente 5 h. Después, se sacó la muestra de la estufa y se colocó en un desecador durante 2 h, transcurrido este tiempo, se taparon las cajas y se llevaron al desecador, luego se pesaron dichas cajas. Para la determinación de la grasa se pesaron sobre un papel filtro 2 g de porción de muestra seca y se colocaron en el thimble (dedales de extracción).

La preparación del equipo, se inició colocando anillos de acero imantados en los thimbles de celulosa, los cuales fueron adheridos individualmente a los tubos de extracción de Goldfish. Luego se pesaron los vasos de extracción de grasa, previamente tarados a 100°C y enfriados en un desecador. Posteriormente, se añadieron 65 ml de éter etílico en los vasos, y se posicionaron debajo de cada muestra ajustando el anillo con el empaque para cerrar herméticamente. El Goldfish se conectó y encendió, abriendo la llave de agua y se programó la extracción en: 1 h para la extracción, 1 h para el lavado y 20 min para la recuperación de parte del éter utilizado. Después del proceso, se apagó el equipo y se retiraron los vasos con grasa, estos se secaron en una estufa a 100 °C durante 30 min, una vez enfriados se registró el peso. Los resultados se reportaron mediante las Ecuaciones 3.5, 3.6, 3.7:

$$\%Humedad = \frac{P2 - P4}{P2 - P1} * 100$$

Ecuación 3.5. Porcentaje de humedad

$$\%Extracto\ etéreo\ (base\ seca) = \frac{P8 - P7}{P6 - P5} * 100$$

Ecuación 3.6. Porcentaje de extracto etéreo en base seca

$$\%Extracto\ etéreo\ (base\ húmeda) = \%Extracto\ etéreo\ (base\ seca) * \frac{100 - \%humedad}{100}$$

Ecuación 3.7. Porcentaje de extracto etéreo en base húmeda

Donde:

- P1: Peso de la caja vacía

- P2: Peso de la caja + muestra húmeda
- P3: Peso de la caja + muestra seca
- P4: Peso de la caja + muestra seca (2 da vez)
- P5: Peso del thimble vacío
- P6: Peso del thimble + muestra seca
- P7: peso del vaso vacío
- P8: Peso del vaso + grasa

3.5 Microscopía óptica

Para la microscopía óptica se utilizó un microscopio óptico con cámara incorporada de marca Eumex modelo Delphi-x, en el cual se observaron las muestras de aguacate en polvo tanto congelado como ultracongelado. Con el fin de observar las diferencias en la estructura, se realizó una solución de 1 gota de azul de metileno en 1 ml de agua, para tener una mejor visión, se colocó una gota en un portaobjetos y mediante una aguja se tomó un poco de muestra de aguacate en polvo y se la disolvió en la gota, se tapó la muestra con el cubre objetos y se observó en el microscopio mediante una magnificación de 40X y 60X.

3.6 Difracción de rayos X

Para determinar si el aguacate en polvo congelado y ultracongelado posee estructura cristalina o amorfa, se realizó la difracción de rayos X en un difractómetro de marca D8 ADVANCE, con monocromador $\text{CuK}\alpha$ mostrado en la Figura 3.2.

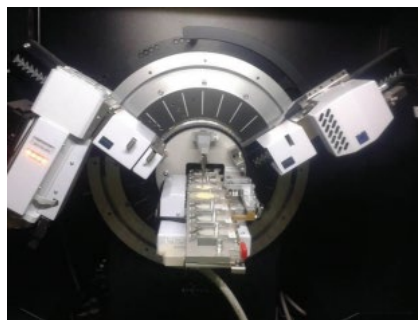


Figura 3.2. Equipo de difractómetro de rayos X (Acuña, 2017).

El pretratamiento de muestras para este proceso consistió en reducir el tamaño de la muestra mediante un mortero con unas gotas de alcohol, hasta que la mezcla quedó sin grumos y se esperó a que se evapore el alcohol, esto garantizó que la muestra tenga un tamaño inferior a 45 μm , posteriormente fue colocada en un porta muestras y nivelada con un portaobjetos, fue llevada a la cámara del difractómetro para ser analizada (Acuña, 2017). El difractograma obtenido presentó una escala 2Θ desde 3° hasta 69.833° con un tiempo de corrida de 29 s a una temperatura de la cámara de 25°C .

3.7 Obtención de guacamole en polvo

El aguacate, en estado de madurez comercial, fue almacenado en gavetas dentro de un cuarto de maduración en la planta piloto del departamento de Ciencias y Biotecnología. Allí permaneció durante un periodo de 5 a 6 días a una temperatura de 20°C . Este lapso de tiempo permitió alcanzar el estado de madurez de consumo, identificado mediante la percepción del cambio en el color y el brillo de la piel.

Una vez logrado el estado de madurez deseado, se procedió a la extracción de la pulpa, para ello se emplearon utensilios de cocina como el cuchillo, para separar la semilla y la cáscara. La pulpa obtenida se procesó mediante una batidora de inmersión de la marca Black & Decker hasta obtener una pasta homogénea. Posteriormente, con la ayuda de una cuchara se tomaron pequeñas cantidades de pasta, las cuales fueron sumergidas en nitrógeno líquido para el proceso de ultracongelación, a los productos ultracongelados se los almacenó en bolsas herméticas.

La cebolla perla, el tomate riñón, el culantro se adquirieron en un supermercado, y tras ser lavados y picados, se sometieron a enfriamiento mediante ultracongelación y posterior liofilización. Tanto el aguacate como la cebolla, el tomate riñón y el culantro liofilizado se los trituró mediante un procesador de café y se tamizaron para homogenizar la muestra, estos fueron almacenados en bolsas herméticas.

Una vez obtenidos todos los ingredientes por separado y en forma de polvo, se prepararon dos recetas de guacamole: una tradicional y otra picante. Para el guacamole tradicional, a la pasta de aguacate se le añadió culantro, tomate riñón, cebolla perla, sal y ácido ascórbico; por otra parte, para el guacamole picante, a la pasta de aguacate se le añadió culantro, tomate riñón, cebolla perla, sal, ácido ascórbico y ají en polvo en las proporciones en porcentaje en peso mostradas en Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Recetas de guacamole en polvo (Autor propio)

Guacamole	Tradicional	Picante
Ingredientes	Porcentaje (%)	Porcentaje (%)
Aguacate	70.27	72.19
Cebolla perla	6.34	6.50
Culantro	0.70	0.72
Tomate riñón	8.63	9.02
Sal	7.03	7.22
Ácido Ascórbico	7.03	3.21
Ají		1.14

La obtención de los porcentajes mostrados en la Tabla 3.1 tanto para el guacamole tradicional como para el guacamole picante, fueron calculados a partir de la elaboración de guacamole casero.

3.8 Análisis microbiológico del guacamole en polvo

El análisis microbiológico se realizó con el fin de identificar la presencia o ausencia de microorganismos, que se relacionan con un correcto manejo de la inocuidad en la elaboración del producto. Para ello, se realizaron ensayos microbiológicos con respecto a los microorganismos aerobios mesófilos, mohos y levaduras, coliformes totales, *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Los ensayos se realizaron por duplicado y de acuerdo con la normativa de la FDA (FDA/BAM, 1998).

Preparación de los medios de cultivo

Se prepararon diferentes medios de cultivo para cada microorganismo estudiado. La cantidad de medio depende del número de placas que se utiliza, en este caso se prepararon 500 ml de cada medio, ya que el número de placas por ensayo es 18. Los medios de cultivo utilizados para cada microorganismo se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Medios de cultivo utilizados para cada microorganismo

Microorganismo	Medio de cultivo
Aerobios mesófilos	Plate count agar (PCA)
Mohos y Levaduras	Dichloran Rose Bengal Cloramphenicol (DRBC)
Coliformes Totales	Violet red bile agar (VRBA) Lauryl Trytose broth (LST) Brilliant green bile broth (BGBB)
<i>Escherichia coli</i>	EC broth Eosin Methylene Blue agar (L-EMB)
<i>Salmonella sp.</i>	Bismuth sulfite Agar (BS) Xylose Lysine Deoxycholate Agar (XLD) Hektoen enteric agar (HE)

Los medios preparados se llevaron a ebullición durante 1 min y posteriormente se llevaron a esterilizar en un autoclave a 121 °C por 15 min. Luego, se retiró del autoclave y se dejó enfriar en la cabina de extracción para poder manejar el medio. Una vez, tibios los medios se distribuyeron en las placas Petri previamente etiquetadas, estas placas se las dejó solidificar para su uso posterior.

Preparación de la muestra

Se pesaron 10 g de la muestra de guacamole liofilizado y se mezclaron con 90 ml de agua peptonada, esto corresponde a la dilución 10^{-1} , de esta se realizaron diluciones sucesivas hasta 10^{-4} como se muestra en la Figura 3.3.

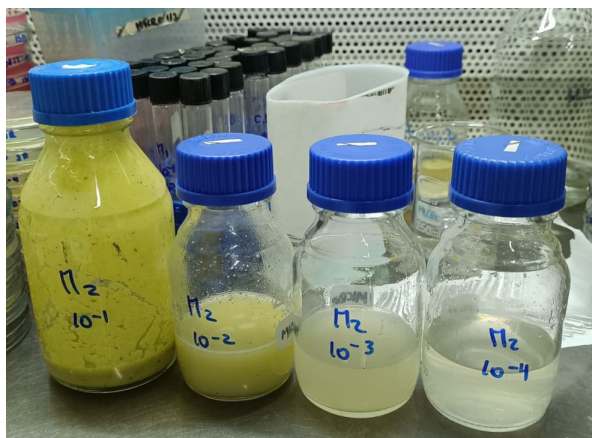


Figura 3.3. Pretratamiento de la muestra de guacamole liofilizado

Las muestras diluidas se colocaron en cada placa Petri y se esparcieron mediante un asa de cristal previamente esterilizada por toda la placa. Una vez sembradas, se llevaron a una incubadora marca Thelco en la cual permanecieron a 35 °C por el tiempo estimado de

crecimiento de cada microorganismo, pasado ese tiempo se realizó el conteo de los mismos con un contador automático de colonias de marca BOECO.

3.9 Análisis sensorial de guacamole en polvo rehidratado

Para realizar el análisis sensorial, se elaboraron cuestionarios que incluían pruebas y atributos específicos del alimento a evaluar. Dichos formularios, detallados en el Anexo I, abarcan pruebas descriptivas y de grado de preferencia. En las pruebas descriptivas se evaluaron atributos como el color, olor, sabor, acidez, consistencia, picante, y sabor residual. Los atributos se evaluaron con una escala de 4 puntos, donde 1 representa la ausencia de la característica y 4 el máximo valor de la característica. Los puntos intermedios en la escala se marcaron como 2 y 3. Por otro lado, en la prueba del grado de preferencia, se solicitó a los jueces que indicaran su muestra preferida y dejaran un comentario sobre por qué escogieron dicha muestra.

Se conformó un panel de 15 personas, compuesto por estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria pertenecientes a los últimos semestres, estos estudiantes se consideran que son jueces semi entrenados, debido a que recibieron información teórica sobre análisis sensorial previo a la realización de las encuestas.

La evaluación sensorial se llevó a cabo en un salón especializado ubicado en la planta piloto del Departamento de Ciencias y Biotecnología. El salón estaba equipado con una cocina donde se preparó el guacamole, y contenía cubículos especializados para los panelistas mostrados en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Cubículos para análisis sensorial

Las dos recetas de guacamole se codificaron por medio de una tabla de números aleatorios presentada por Anzaldúa (1994), las cuales fueron 645 para la muestra de guacamole tradicional y 424 para la muestra de guacamole picante. Las muestras de guacamole se presentaron a los panelistas de manera rehidratada. Para la preparación del guacamole rehidratado se tomó en cuenta que por cada 10 ml de agua se añade 4.5 g de guacamole en polvo. Posteriormente, se colocaron las muestras en los vasos codificados y se entregó a los panelistas de manera aleatoria, junto con una cuchara para cada muestra, un vaso con agua y la encuesta.

3.10 Medición de color

El análisis del color se realizó en muestras de guacamole tradicional y picante por triplicado, mediante el uso del colorímetro marca Minolta modelo cr-200. Para el uso del colorímetro, primero se procedió a calibrarlo mediante las coordenadas $x=0.3136$, $y=0.3197$, $Y=92.7$ presentes en una placa de cerámica, posteriormente se realizó la medición del color en la superficie de la bolsa que contenía el guacamole, como se observa en la Figura 3.5. Los resultados obtenidos de la colorimetría se presentaron en la escala CIELab con valores de L^* , a^* y b^* .



Figura 3.5. Colorimetría de guacamole en polvo

3.11 Análisis estadístico

Los resultados fueron evaluados con el uso del software STATGRAPHICS Centurion XVI, en el cual para el análisis ANOVA se utilizó un diseño factorial de 2 factores con dos y tres niveles respectivamente. Los factores fueron el método de enfriamiento y tiempo de liofilización y los niveles fueron congelación y ultracongelación y tiempos de 48, 72, 96 h.

Para visualizar el impacto de las variables de repuesta sobre los distintos tratamientos se empleó la metodología de superficie de respuesta mediante la cual se obtuvieron gráficas, que junto con la optimización de las variables se obtuvo el mejor comportamiento de las mismas.

4 RESULTADOS

4.1 Análisis proximal de aguacate en polvo

El análisis proximal realizado con muestras de aguacate en polvo congelado y ultracongelado se presenta en la Tabla 4.1, en la cual se indican los porcentajes medios de cada característica bromatológica, para cada tiempo de liofilización.

Tabla 4.1. Resultados bromatológicos de aguacate en polvo

Método de enfriamiento	Tiempo de liofilización [h]	Humedad [g/100 g]	Cenizas [g/100 g]	Extracto etéreo [g/100 g]	Proteínas [g/100 g]
Congelación	48	13.180 ± 0.622	3.485 ± 0.120	49.420 ± 0.495	4.195 ± 0.035
	72	12.085 ± 0.346	3.970 ± 0.014	51.825 ± 0.247	4.525 ± 0.120
	96	5.655 ± 0.318	5.000 ± 0.481	52.295 ± 0.219	4.390 ± 0.057
Ultracongelación	48	9.870 ± 0.290	4.700 ± 0.113	44.775 ± 2.171	4.912 ± 0.488
	72	11.440 ± 0.170	3.835 ± 0.361	31.265 ± 1.308	4.49 ± 0.000
	96	6.865 ± 0.021	4.385 ± 0.064	31.150 ± 0.651	5.305 ± 0.191

Según Mujaffar y Dipnarine (2020), el aguacate en polvo obtenido mediante liofilización durante un período de 72 h presentó una composición proximal de grasa del 47.22%, proteína del 6.87% y cenizas del 4.13%. Los datos obtenidos de las características bromatológicas en el presente estudio son cercanos a los obtenidos por los autores antes mencionados, estos presentan una concentración significativa de grasas en el producto liofilizado, lo que es atribuido a la naturaleza rica en lípidos del aguacate. La presencia de proteínas y cenizas resalta la importancia nutricional del producto.

Para apreciar los cambios existentes en las características bromatológicas del aguacate con respecto a los tiempos de liofilización, se presentan los gráficos de medias en la Figura 4.1.

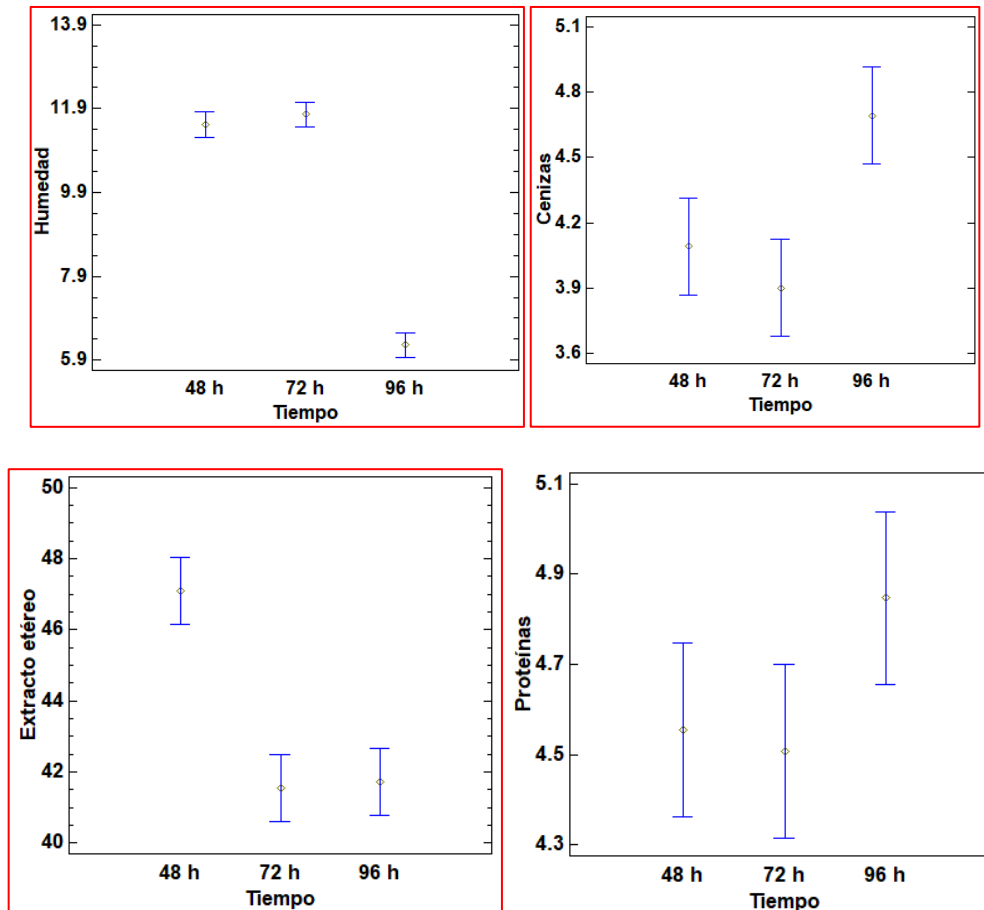


Figura 4.1. Gráfico de medias respecto al tiempo de liofilización con muestras congeladas y ultracongeladas.

Según el análisis ANOVA, con respecto al tiempo de liofilización con muestras congeladas y ultracongeladas, se presentan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$), para las características de humedad ($P = 0.000$), cenizas ($P = 0.0112$) y extracto etéreo ($P = 0.0006$); en cambio, no se observan diferencias significativas ($P > 0.05$) para las proteínas.

El estudio de humedad en los alimentos es un factor clave para evitar que microorganismos, como los mohos y las levaduras, se desarrollen durante el tiempo de vida útil del producto, conforme a Nyakang'i et al. (2023), un alto contenido de humedad puede propiciar el crecimiento de microorganismos, causar deterioro e influir en la vida útil del aguacate.

Los productos en polvo como el caso del aguacate, deben presentar una humedad máxima de 12%, según la norma NTE INEN 2996 (2015), por lo tanto, el aguacate congelado y liofilizado a 48 h no cumple con esta norma.

Existe una relación inversa entre el tiempo de liofilización y el contenido de humedad en la muestra, en la cual la humedad disminuye a medida que aumenta el tiempo de liofilización a 96 h.

Para apreciar los cambios existentes en las características bromatológicas del aguacate con respecto a los métodos de enfriamiento, se presentan los gráficos de medias en la Figura 4.2.

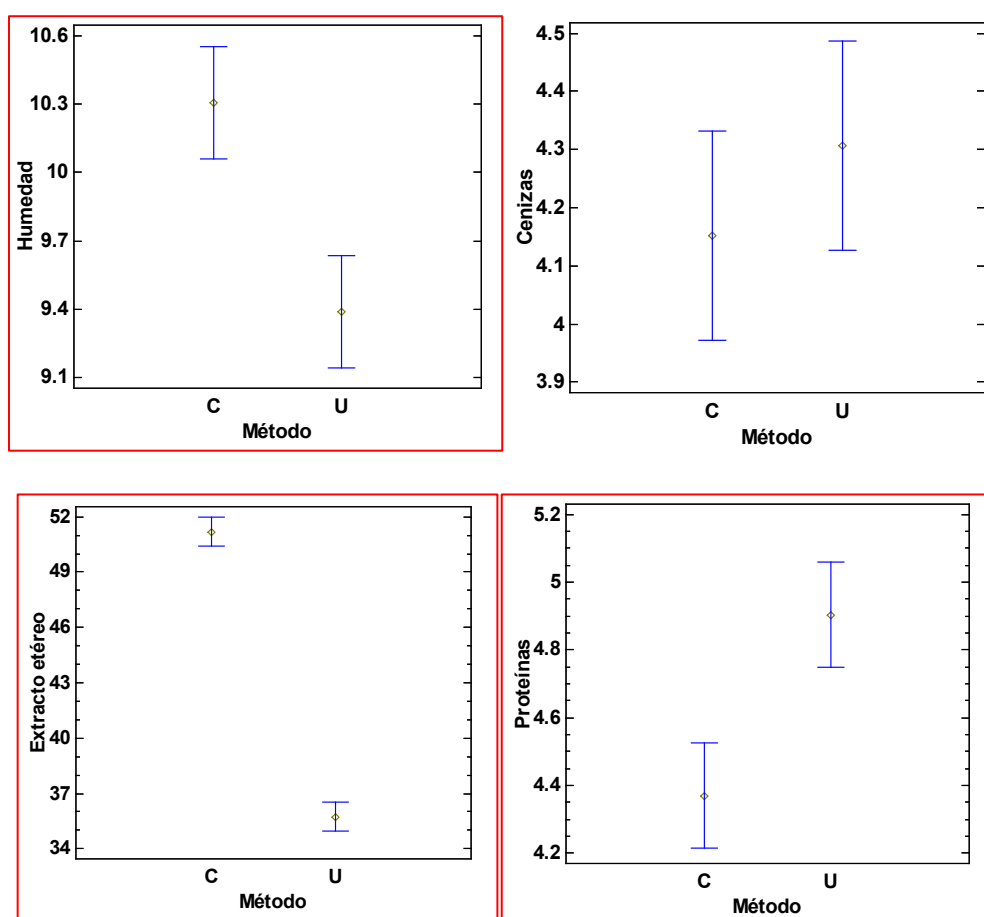


Figura 4.2. Gráfico de medias respecto al método de enfriamiento: Congelación (C), Ultracongelación (U).

Según el análisis estadístico, la humedad ($P=0.0038$), extracto etéreo ($P=0.000$) y proteínas ($P=0.0058$) presentan una diferencia estadísticamente significativa ($P<0.05$) entre los tratamientos de enfriamiento, mientras que las cenizas ($P=0.3344$) no se ven afectadas por el método de enfriamiento.

Se observa en los gráficos de medias que, tanto el tiempo de liofilización como el método de enfriamiento presentan un impacto directo en la humedad de la muestra. De acuerdo con los resultados indicados en la Tabla 4.1 entre los dos métodos de enfriamiento, se muestra una diferencia de humedad a las 48 h, siendo mayor en el método de congelación, mientras que, para tiempos mayores a 48 h, no se presenta una diferencia significativa. Los resultados muestran que trabajar con el método de ultracongelación minimiza la humedad en la muestra, lo cual, se explica debido a la formación de pequeños cristales durante la ultracongelación, que posteriormente al ser sometido a un proceso de liofilización facilita la sublimación de los cristales sin provocar mayores daños celulares (Noriega et al., 2024).

En cuanto al contenido de cenizas, el método de enfriamiento no presenta diferencias significativas ($P=0.3344$), lo cual sugiere que las cenizas no se ven afectadas tanto por la ultracongelación como por la congelación, sin embargo, la cantidad de cenizas presentes si varían con el tiempo de liofilización, este fenómeno ocurre ya que, mientras mayor es el tiempo de liofilización, mayor es la cantidad de agua que se elimina de las muestras, por lo que aumenta la cantidad de sólidos presentes, entre estos las cenizas.

Los métodos de enfriamiento y tiempos de liofilización tienen una influencia significativa en el contenido de extracto etéreo del aguacate en polvo, cabe mencionar que los resultados mostrados en la Tabla 4.1, hacen referencia a la cuantificación de las grasas liberadas durante la extracción. Como se puede apreciar en las Figuras 4.1 y 4.2, la liberación de las grasas se presenta en mayor cantidad en el método de congelación a un tiempo de liofilización de 48 h, con respecto al tiempo de ultracongelación; como se mencionó anteriormente, mediante la congelación se presenta un mayor daño en la pared celular por la formación de cristales grandes de hielo, que al pasar por el proceso de sublimación permite la formación de grandes poros, lo que facilita la pérdida de estos compuestos.

Además, autores como Salvador y Paucar (2019) analizaron la relación entre el contenido de humedad y grasas presentes en el aguacate, llegando a la conclusión de que a mayor contenido de humedad existe una menor cantidad de aceites, lo cual concuerda con lo obtenido en la presente investigación.

Así como el extracto etéreo, las proteínas también varían según la velocidad de enfriamiento empleada en los procesos de ultracongelación y congelación. La ultracongelación, definida como un método de congelación rápido se caracteriza por llegar a temperaturas extremadamente bajas ($-182.2\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que conduce a la formación de pequeños cristales de hielo que no afectan la estructura celular. Según Villegas et al.

(2020), cuando los alimentos se someten a velocidades de congelación rápida, se crea una estructura porosa más fina, lo cual aumenta la resistencia al flujo de vapor y evita la liberación de partículas de agua, por lo que se obtiene una mayor retención de humedad en el producto. Esto se refleja en los resultados obtenidos de pérdida de humedad, que son del 73.147% para el aguacate congelado y 70.225% para el aguacate ultracongelado. Además, cabe mencionar que la ultracongelación preserva de manera más efectiva las proteínas, y como consecuencia el producto final posee un mayor valor nutricional.

4.2 Perfil de ácidos grasos de aguacate en polvo

El análisis del perfil de ácidos grasos llevado a cabo en muestras de aguacate congelado y ultracongelado se presenta en la Tabla 4.2, en la cual se detallan los porcentajes máxicos de cada ácido graso.

Tabla 4.2. Perfil de ácidos grasos de aguacate en polvo

Método de enfriamiento	Tiempo de liofilización [h]	Oleico [%]	Palmitoleico [%]	Palmítico [%]	Linoleico [%]
Congelación	48	41.970±0.104	24.247±0.052	16.380±0.085	11.859±0.033
	72	47.157±2.352	20.384±2.102	16.922±1.687	5.293±0.605
	96	43.807±3.029	21.616±0.477	16.730±2.864	11.489±0.459
Ultracongelación	48	41.604±1.418	23.887±0.774	16.718±0.135	12.039±0.462
	72	41.712±0.310	22.635±0.083	17.714±0.285	11.031±0.110
	96	39.406±0.053	20.912±0.120	15.779±0.016	11.750±0.008

En base a la Tabla 4.2, se obtuvieron los porcentajes promedios de cada ácido graso, es así que, el componente lipídico predominante en el aguacate liofilizado es el ácido graso oleico (monoinsaturado) con 42.609%, seguido del ácido graso palmitoleico (monoinsaturado) con 22.280%, ácido graso palmítico (saturado) con 16.707% y, finalmente, el ácido graso linoleico (poliinsaturado) con 10.577%.

Los porcentajes de ácidos grasos fueron similares a los valores reportados por Carvalho et al. (2015) para el aguacate de variedad Hass, en el cual el ácido mayoritario es el ácido graso oleico, sin embargo, la cantidad de ácido palmitoleico presentada por el autor con un valor de 10.84% es menor que la obtenida en la presente investigación. Esta diferencia puede atribuirse a diversos factores como es la altitud de la zona de cultivo (2420 msnm), las condiciones de crecimiento del cultivo y el índice de madurez del fruto en el momento del estudio. Por otro lado, Donetti y Terry (2012), detectaron una mayor proporción de

ácidos grasos monoinsaturados que saturados en aguacates sudafricanos en comparación con los peruanos, por lo que la cantidad de ácidos grasos presentes en el aguacate difiere según el origen geográfico de la fruta.

Para observar los cambios existentes en el contenido lipídico del aguacate con respecto a los métodos de enfriamiento y tiempos de liofilización, se presenta en las Figuras 4.3 y 4.4 los gráficos de medias.

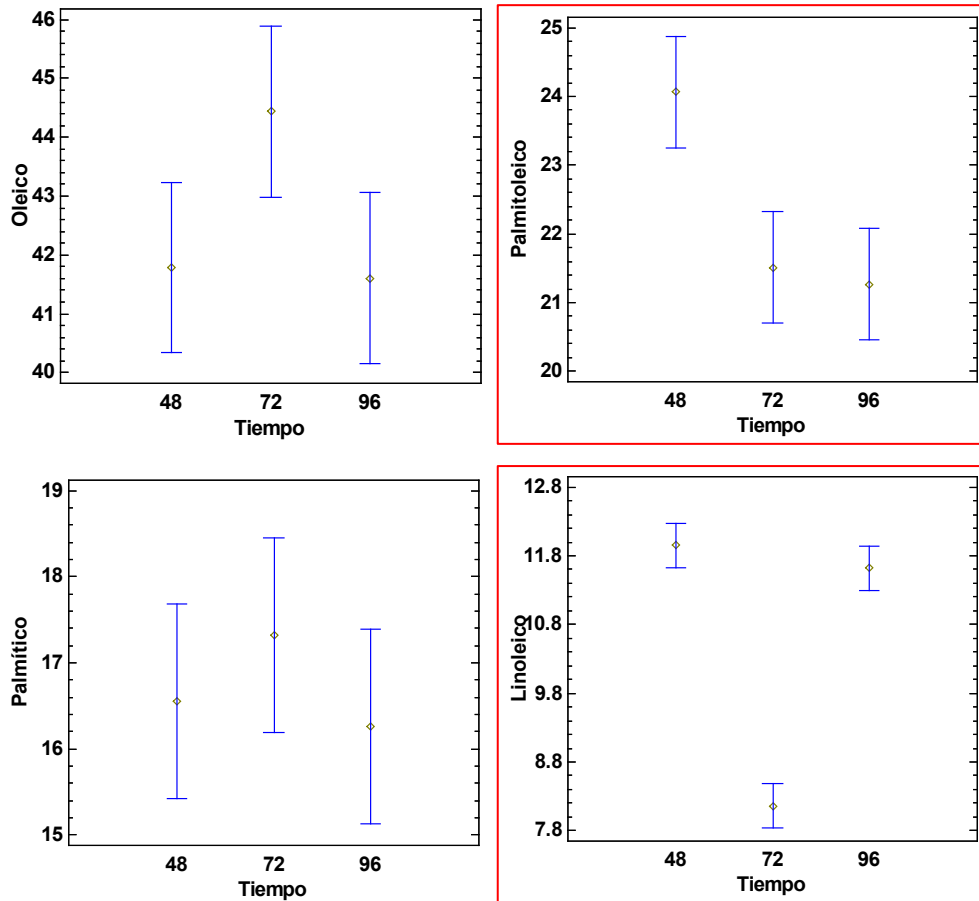


Figura 4.3. Gráfico de medias de ácidos grasos influenciados por el tiempo de liofilización

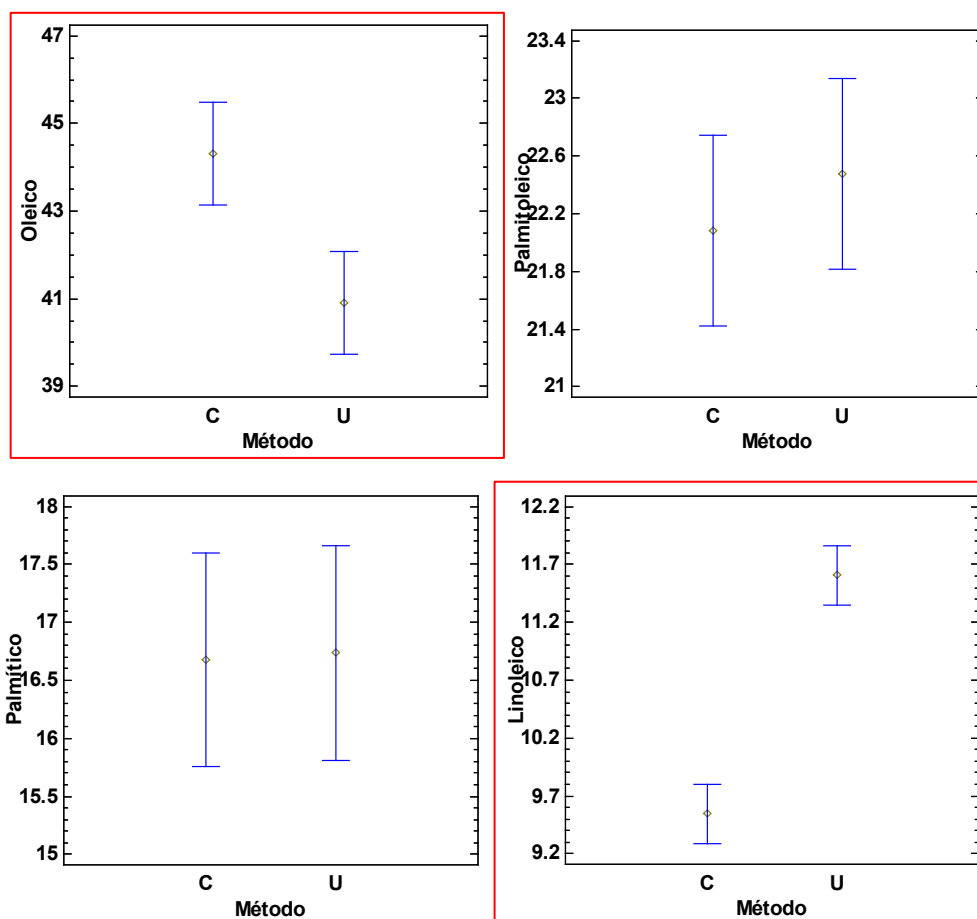


Figura 4.4. Gráfico de medias de ácidos grasos que se ven influenciados por los métodos de enfriamiento.

Según el análisis de varianza (ANOVA), tanto para el método de enfriamiento como para el tiempo de liofilización no se presentan diferencias significativas ($P > 0.05$) para el ácido graso palmítico, por el contrario, el ácido graso linoleico ($P = 0.0001$, $P = 0.0000$) se ve afectado por los dos tratamientos. Además, se presentan diferencias significativas para el ácido oleico ($P = 0.0125$) y para el ácido palmitoleico ($P = 0.0099$) los cuales están influenciados por el método de enfriamiento y por el tiempo de liofilización respectivamente.

Con respecto a la concentración del ácido linoleico se presenta una cantidad mayor para el método de ultracongelación que para la congelación, como se observa en la Figura 4.4, debido a que al someterse el alimento a congelación rápida, se conservan los ácidos grasos, ya que la estructura de la membrana celular no se ve afectada por los cristales de hielo que se forman durante el enfriamiento, otra razón por la que se conservan estos ácidos grasos es que durante la congelación rápida se reduce la exposición al oxígeno, lo que evita la oxidación de los lípidos y, por tanto, preserva su cantidad en el producto.

4.3 Vista microscópica

La estructura del aguacate cambia a medida que el fruto es sometido a diferentes procesos, como el enfriamiento y la liofilización, esto se puede observar en la Figura 4.5, en la cual se ve el cambio de la estructura del aguacate fresco con respecto a los diferentes tratamientos.

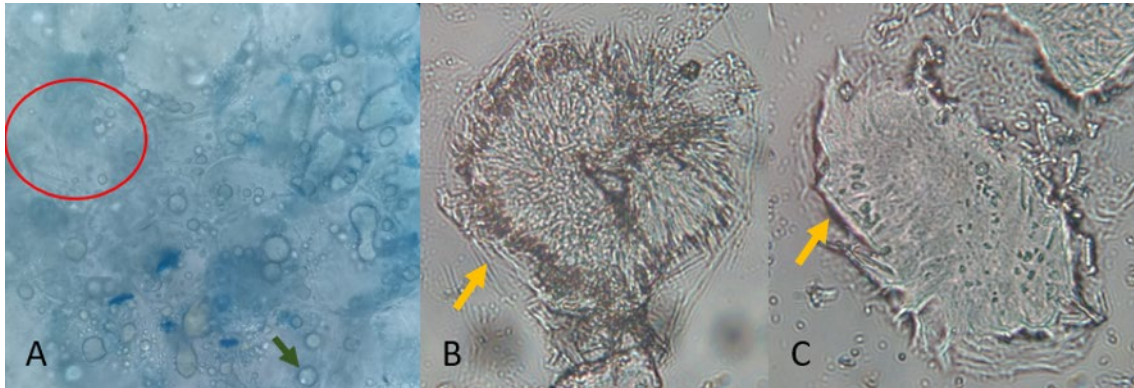


Figura 4.5. Vista microscópica de (A) estructura de aguacate fresco, (B) estructura de aguacate en polvo congelado y (C) estructura de aguacate en polvo ultracongelado.

Como se observa en la Figura 4.5 A, en un aguacate fresco se puede ver claramente las estructuras de las células parenquimáticas (círculo rojo) y en el interior de estas se observa gotas lipídicas (flecha verde) que hace referencia al extracto etéreo del mesocarpio del aguacate. Por el contrario, para el aguacate congelado (B) y para el ultracongelado (C), se puede notar que existe una diferencia en la pared celular, estas diferencias que se explican con mayor detalle en la Figura 4.6.

En la Figura 4.6 se presentan las estructuras de las células cuando el alimento es sometido a un enfriamiento convencional y a un enfriamiento rápido.

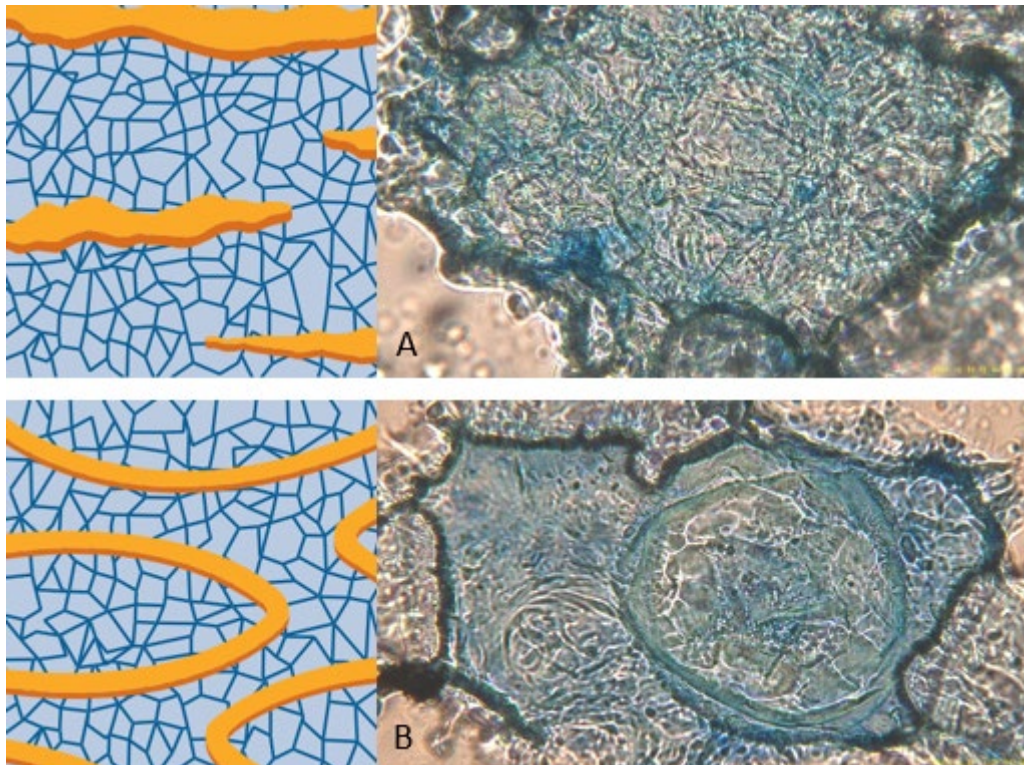


Figura 4.6. Vista microscópica de aguacate en polvo congelado (A) y Ultracongelado (B)

Como se puede observar en la Figura 4.6, para el aguacate congelado existe una mayor ruptura de la pared celular, esto se produce debido a que el agua que está contenida en el interior de las células sale y destruye la pared celular para alcanzar el equilibrio con el entorno, durante este proceso incrementa la porosidad de la pared celular volviéndose irregular y facilitando la pérdida de humedad del producto. Por el contrario, en el caso del aguacate ultracongelado, se observa menos daño en la pared celular, lo que significa una menor pérdida de agua.

4.4 Difracción de rayos X

En la Figura 4.7 y Figura 4.8, se muestran los difractogramas de aguacate en polvo producidos por diferentes métodos de enfriamiento en un tiempo de liofilización de 72 h. En general, los polvos de aguacate presentaron patrones de difracción típicos de materiales amorfos, es decir, estos presentan un difractograma difuso y con picos grandes que, como menciona Purohit et al. (2019), corresponde a un material amorfo, esto se da debido a que la muestra analizada ha pasado por varios procesos como la congelación, ultracongelación y la liofilización.

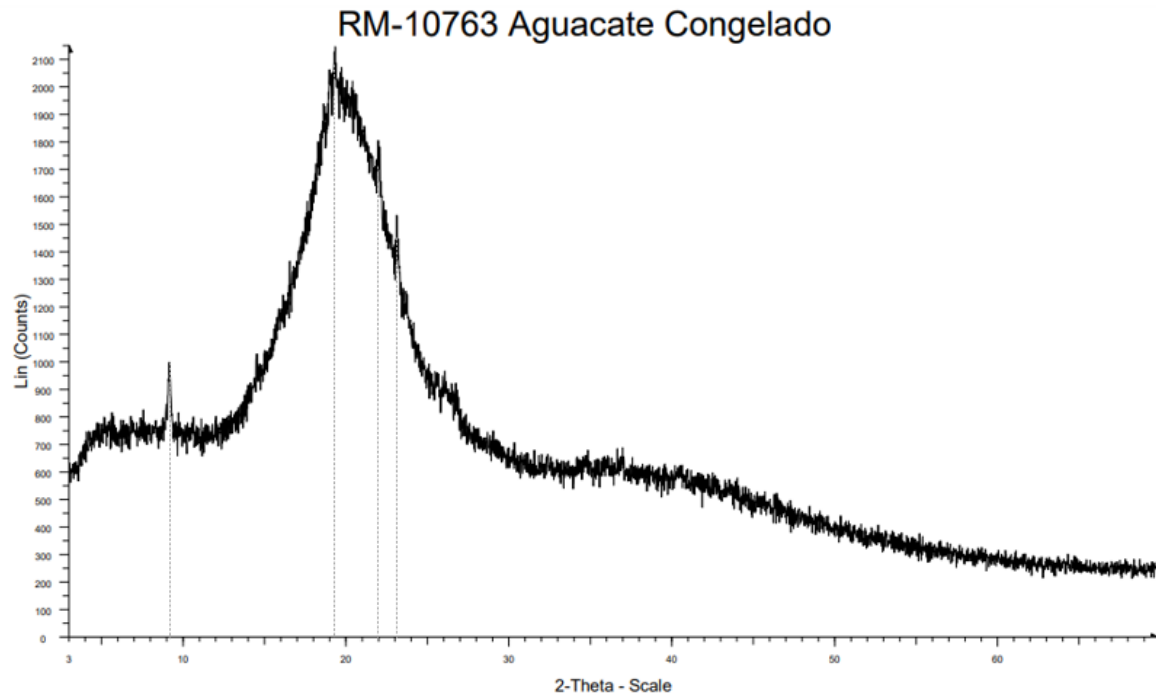


Figura 4.7. Difracción de rayos X para muestras de aguacate en polvo congelado

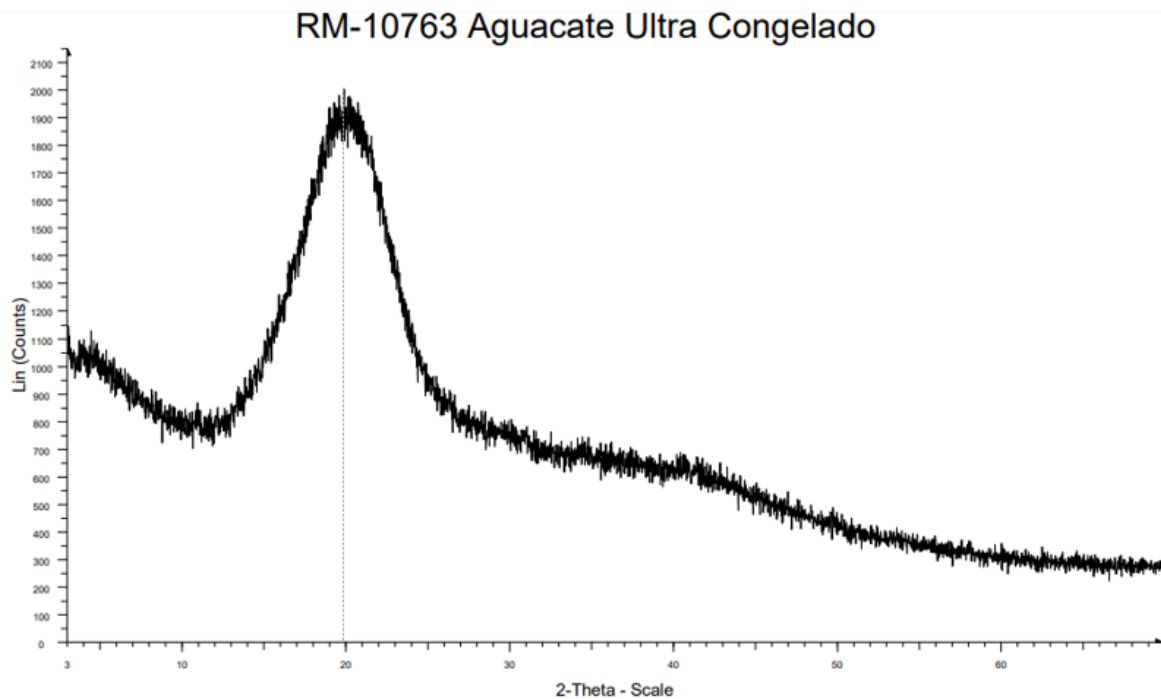


Figura 4.8. Difracción de rayos X para muestras de aguacate en polvo ultracongelado

Los dos polvos producidos mostraron un pico con reflexiones en el ángulo de Bragg de 20° (2θ), los difractogramas son similares a los reportados por Arpi et al. (2023), quienes presentan un difractograma para la pulpa de aguacate seca con un pico entre 19° y 22° , antes de la extracción con agua o con CaCO_3 . Así mismo, como muestra Merino et al.

(2021), tanto la semilla como la cáscara del aguacate presentan un patrón de difracción similar al mostrado por Arpi et al. (2023) y al mostrado en las Figuras 4.7 y 4.8.

Para el caso del aguacate en polvo congelado, se distinguen tres picos que son $2\Theta=9^\circ$, 22° y 23° , el pico correspondiente a 22° , está relacionado con la presencia de celulosa, según lo reportado por Merino et al. (2021); en general, la pulpa de aguacate presenta cantidades pequeñas de lignina, celulosa y hemicelulosa que son compuestos presentes en la fibra bruta (Ceballos y Montoya, 2013). El pico con un ángulo de 23° , puede referirse a compuestos como sacarosa, glucosa y fructosa cristalizadas, según lo mencionado por Oliveira et al. (2020).

Los difractogramas obtenidos de aguacate en polvo corresponden a estructuras cristalinas propias de la materia prima y dependiendo de la velocidad de enfriamiento, podrían preservarse o ser modificadas y descompuestas. En la ultracongelación no se observan los tres picos mostrados en el difractograma de congelación, esto indica el efecto del método de enfriamiento en las dos muestras a 72 h. La muestra tratada mediante la ultracongelación se asemeja más a los difractogramas presentados por Arpi et al. (2023), lo que indica que la estructura celular no se ve afectada por este tratamiento.

4.5 Análisis microbiológico de guacamole en polvo

El análisis microbiológico se lo realiza con el fin de establecer la calidad e inocuidad de un producto, esto se logra con la determinación de agentes microbianos como son aerobios mesófilos, mohos y levaduras, *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, y coliformes totales. En la Tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos para las muestras analizadas.

Tabla 4.3. Resultados del análisis microbiológico de las muestras de guacamole

Agentes microbianos	Valor guacamole tradicional [UFC/g]	Valor guacamole picante [UFC/g]	Límites [UFC/g]		NORMA
			m	M	
Aerobios mesófilos	$<25 \times 10^1$	12×10^2		10^5	FAO (2002)
Mohos	16×10^2	15×10^3	10^2	10^3	NTE INEN 2996 (2015)
Levaduras					
Escherichia coli	$<25 \times 10^1$	$<25 \times 10^1$	10	5×10^2	
Salmonella sp	Ausencia	Ausencia	0	-	
Coliformes totales	$<25 \times 10^1$	$<25 \times 10^1$		10^2	FAO (2002)

m= índice mínimo permisible para identificar un nivel de buena calidad (NTE INEN 2996, 2015)

M= índice máximo permisible para identificar un nivel aceptable de calidad (NTE INEN 2996, 2015)

Como se puede observar en la Tabla 4.3, microorganismos como aerobios mesófilos, *Escherichia coli*, *salmonella* y coliformes totales, se encuentran dentro de los límites aceptables de las distintas normativas, sin embargo, para el caso de mohos y levaduras, este se encuentra con un nivel superior al aceptable tanto para el caso de guacamole picante como de guacamole tradicional. Según García et al. (2006), menciona que el aguacate el polvo deshidratado posee un tiempo de vida útil o de anaquel de al menos un año, sin embargo, este tiempo se puede ver afectado por las condiciones de almacenamiento y el cuidado que se proporcione al producto. Es importante señalar que a pesar de que el guacamole en polvo es un producto que posee un bajo contenido de humedad, éste puede verse afectado por microorganismos que crecen en condiciones de actividad de agua baja como, por ejemplo, la *Salmonella*, que puede sobrevivir a condiciones secas por periodos prolongados.

Los productos deshidratados o en polvo, en condiciones de almacenamiento ambientales tienen un tiempo de vida de aproximadamente 2 meses, dependiendo de la naturaleza del producto, por lo que se debe tomar en cuenta que microorganismos como mohos y levaduras que pueden crecer durante el almacenamiento, podrían aumentar el riesgo de contaminación por micotoxinas, que tienen efectos toxicológicos sobre la salud pública y animal (Shah et al., 2022)

4.6 Análisis sensorial de guacamole en polvo rehidratado

El análisis sensorial de las dos formulaciones obtenidas fue realizado por 15 panelistas semi entrenados, los cuales llenaron dos encuestas, la primera fue una prueba descriptiva con respecto a los atributos como sabor, color, olor, acidez, consistencia, picante y sabor residual; la segunda prueba se basó en el grado de satisfacción de los dos productos presentados. El formato del análisis sensorial se encuentra en el Anexo I de la presente investigación. Para el análisis de los datos se toma la media de cada uno de los atributos, con los cuales se realiza un gráfico de radar mostrado en la Figura 4.9 para tener una mejor visión de las diferencias entre cada atributo, siendo 645 la codificación utilizada para el guacamole tradicional y 424 la codificación utilizada para el guacamole picante.

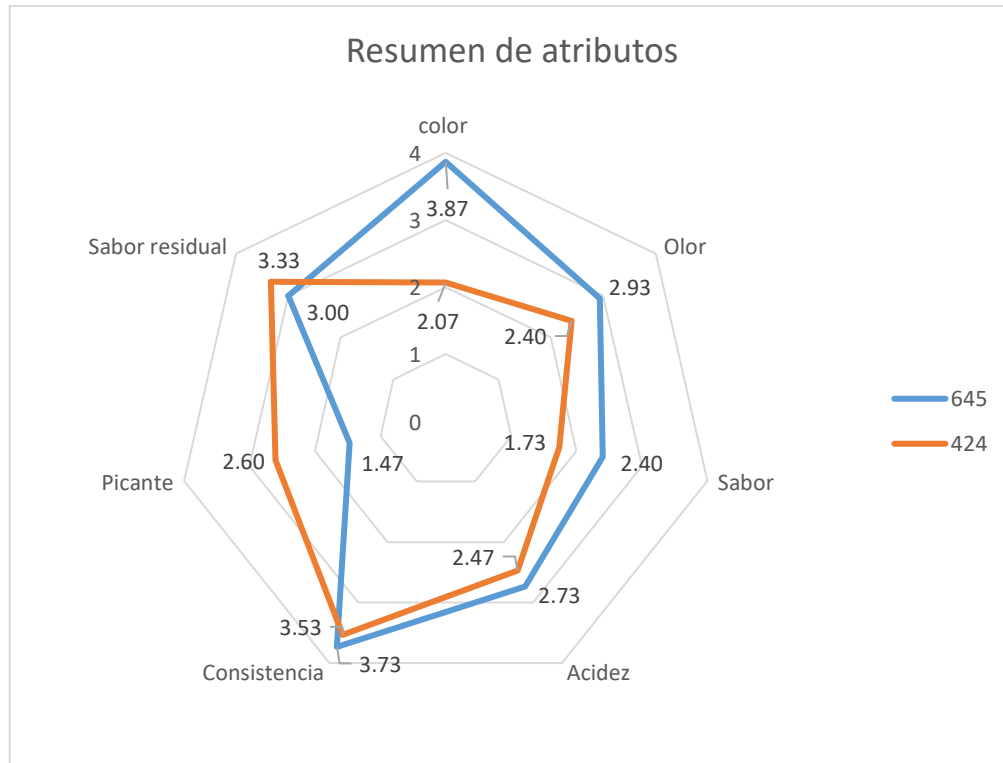


Figura 4.9. Resumen de las medias de los diferentes atributos evaluadas para dos muestras de guacamole en polvo rehidratado.

Según el análisis ANOVA realizado para los atributos, las características como el color ($P=0.000$), sabor ($P=0.0419$) y picante ($P=0.0009$) presentan una diferencia significativa ($P<0.05$) entre las dos muestras de guacamole. Las diferencias entre estas 3 características se observan en la gráfica de radar, y se deben a que la muestra de guacamole picante contiene en su formulación ají, el cual cambia el color y sabor con respecto a un guacamole fresco. Por otro lado, respecto a los atributos de olor ($P=0.1147$), consistencia ($P=0.3333$), acidez ($P=0.4430$) y sabor residual ($P=0.2813$), no existe una diferencia significativa ($P>0.05$), con respecto a las respuestas de los panelistas, sin embargo, se puede observar de manera concluyente que la muestra de guacamole tradicional posee mejores atributos que la muestra de guacamole picante.

La prueba de preferencia del guacamole, según se presenta en el gráfico de barras de la Figura 4.10, indica que la receta tradicional obtuvo una mayor aceptación por los panelistas con un porcentaje de 73.33%. En los comentarios recopilados, los panelistas destacaron que el guacamole tradicional presenta un sabor semejante al guacamole fresco, aunque también señalaron la presencia de un ligero amargor residual. Cabe señalar que, durante las pruebas preliminares de elaboración de guacamole, se empleó el limón como regulador de acidez y antioxidante, sin embargo, se encontró que este componente intensifica el

sabor amargo del producto. En consecuencia, se decidió reemplazar al limón por ácido ascórbico en la receta, con el objetivo de contrarrestar el amargor sin comprometer las propiedades deseadas del guacamole y mejorar la calidad del producto final.

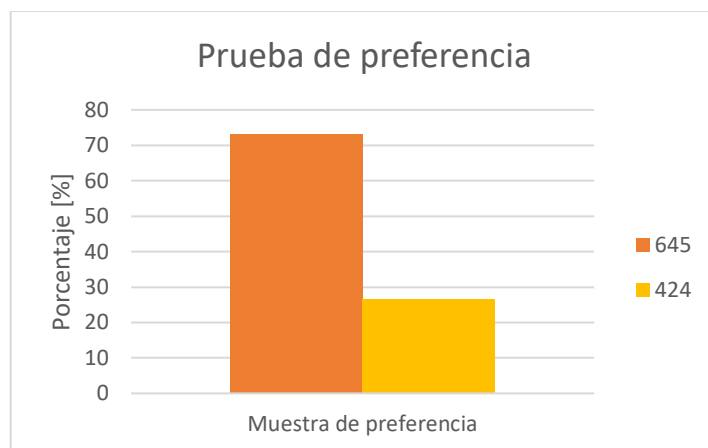


Figura 4.10. Resultados de prueba de preferencia de dos muestras de guacamole rehidratado

A pesar de que la muestra de guacamole tradicional mostró mejores atributos durante el análisis sensorial respecto al guacamole picante, ambos exhibieron un sabor residual herbáceo. Según Cortés et al. (2020), este fenómeno puede atribuirse a la capacidad de las grasas para aumentar la concentración de compuestos de sabor solubles en agua, estos compuestos responsables de sabores herbáceos son los aldehídos, entre ellos se encuentra el hexanal y E-hexenal, los mismos que disminuyen conforme el fruto alcanza un mayor índice de madurez. Los aldehídos se pueden oxidar fácilmente produciendo compuestos volátiles, cuya detección es usada como medida de la oxidación de los ácidos grasos presentes en los alimentos (Lara et al., 2021).

4.7 Colorimetría de guacamole en polvo

El análisis de colorimetría se lo realiza con el fin de establecer las diferencias entre las dos muestras de guacamole en polvo como un parámetro de calidad del producto. En la Tabla 4.4 se muestra los resultados obtenidos mediante el análisis de color.

Tabla 4.4. Resultados de colorimetría para el guacamole en polvo

Parámetros	Guacamole tradicional	Guacamole Picante
L*	84.270 ± 0.360	85.040 ± 0.140
a*	-8.797 ± 0.146	-6.507 ± 0.040
b*	23.480 ± 0.221	24.563 ± 0.081

Como se observa en la Tabla 4.4, los valores de a* se presentan en un rango desde -6.47 a -8.9 mientras que los valores de b* se presentan en un rango de 23.31 a 24.61. Estos parámetros se encuentran dentro de la escala presentada por Estrada et al. (2017), quienes indican que el guacamole preparado presenta un color verde claro que se identifica por poseer valores de a* (-5.6 a 0.1) y b* (24 a 34.5). Además, se observa que el guacamole picante, presenta valor de a* mayor al guacamole tradicional, lo que quiere decir que el color verde es menos intenso y presenta tonalidades cercanas al rojo, esto se debe a que en la preparación del guacamole picante uno de los ingredientes principales es el ají, el cual confiere dichas características. Se puede observar también que tanto las muestras de guacamole tradicional y picante, presentan valores de luminosidad altos, lo cual indica, que no hay presencia de pigmentos marrones, por lo que no se presenta oxidación en las muestras. En la Figura 4.11 se observa las diferencias de color entre el guacamole tradicional y el guacamole picante

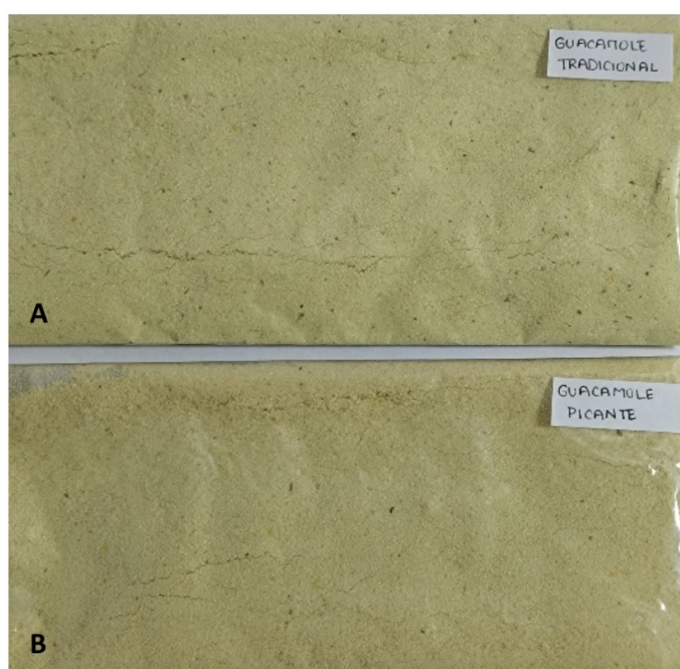


Figura 4.11. Guacamole en polvo (A) tradicional, (B) Picante.

Para evitar que el producto se oxide, en la receta de guacamole se añadió ácido ascórbico, que es un aditivo alimentario con efectos antioxidantes y conservantes según el CODEX para aditivos alimentarios, es por esto que visualmente el producto de guacamole presenta un color a aguacate fresco como se observa en la Figura 4.11, esto concuerda con lo obtenido por Vieites et al. (2012), quienes elaboraron guacamole con cambios en la concentración de antioxidantes como es el ácido cítrico, ácido ascórbico y jugo de limón, en la que concluyeron que al trabajar con una mezcla de ácido cítrico y ascórbico, se puede obtener un producto de aguacate que conserva su aspecto natural y fresco.

4.8 Optimización del método de enfriamiento

En la optimización del proceso se utilizó el método de superficie de respuesta (MSR) con el fin de obtener los criterios de optimización para cada variable estudiada, asignando en el caso del método de enfriamiento el valor cero (0) para el método de congelación y el valor uno (1) para el método de ultracongelación, lo cual se puede observar en la Figura 4.12 y en el Anexo VI.

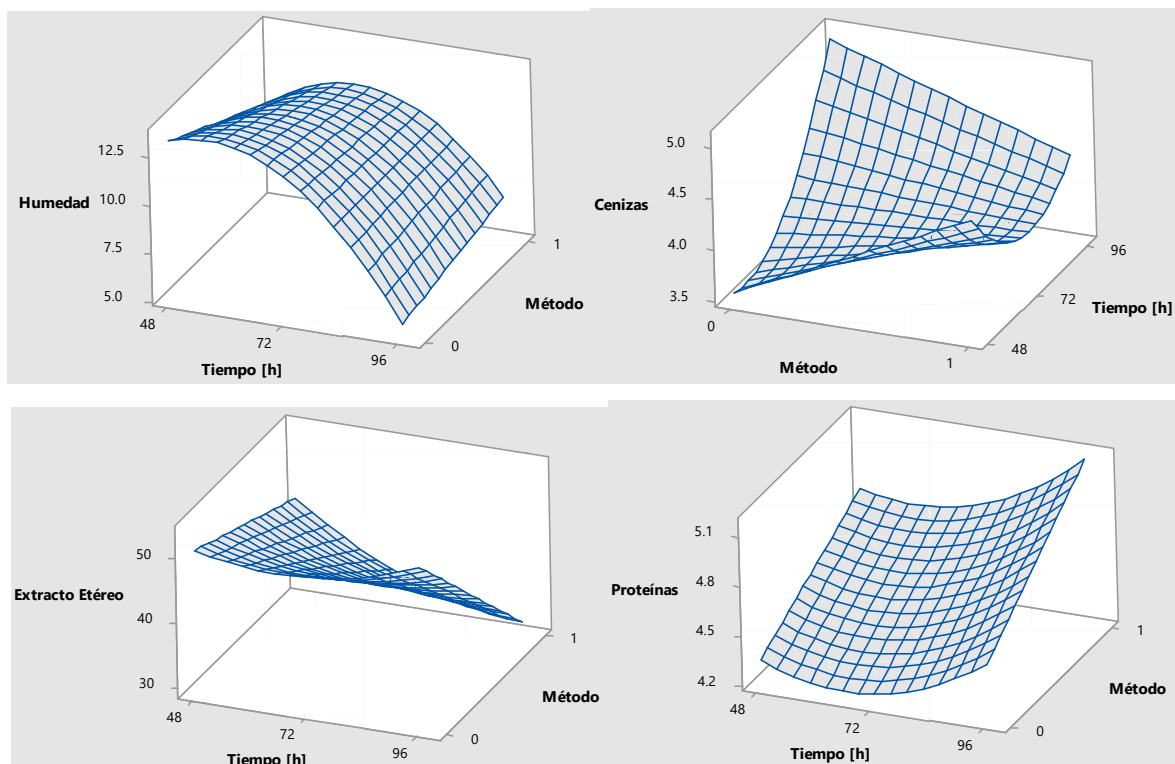


Figura 4.12. Gráfico de superficie de respuesta para las características bromatológicas

Para obtener la optimización de las variables, se debe tener en cuenta el objetivo del análisis, el cual es obtener la mayor cantidad de los nutrientes que se encuentran en el

aguacate, en la Tabla 4.5 se presentan los criterios para la optimización, con el objetivo de maximizar las variables como las cenizas y las proteínas y minimizar el contenido de extracto etéreo que abandona las paredes celulares, con respecto a la humedad se desea que este valor sea menor al 12%.

Tabla 4.5 Criterios de optimización para obtener aguacate en polvo

Variabes	Límite Inferior	Límite superior	Objetivo	Valor experimental	Valores teóricos
Humedad	5.430	13.62	12	11.44	11.677
Cenizas	3.4	5.34	Maximizar	3.83	3.943
Extracto etéreo	27.306	52.45	Minimizar	31.265	37.878
Proteínas	4.170	5.44	Maximizar	4.49	4.636

De acuerdo con la Tabla 4.45 se establecieron los métodos óptimos para elaborar aguacate en polvo, que corresponden al método de ultracongelación con un tiempo de liofilización cercano a las 72 h (69.818 h).

5 CONCLUSIONES

El contenido nutricional del aguacate en polvo depende significativamente del método de enfriamiento, en este caso la ultracongelación permite optimizar el contenido de lípidos y proteínas dentro de las células del aguacate. Por otro lado, el tiempo de liofilización no presenta efectos significativos sobre el contenido de proteína, pero sí en el de lípidos dentro de la célula, por tanto, se considera que el tratamiento óptimo para obtener guacamole en polvo es el método de ultracongelación a un tiempo de 72 h.

Existe diferencias significativas en el perfil lipídico del aguacate en polvo sometido a los diferentes métodos de enfriamiento, siendo el aguacate en polvo sometido a la ultracongelación el que presenta una mayor cantidad de ácidos grasos debido a que no se destruye la pared celular, lo que evita pérdidas al entorno, además de evitar procesos oxidativos como la ranciedad. El aguacate al ser un alimento rico en ácidos grasos, presenta como componente mayoritario en su perfil lipídico al ácido oleico con un porcentaje promedio de concentración del 42.599%.

El aguacate liofilizado presenta una estructura amorfa como se apreció en el difractograma de rayos X, además mediante microscopía óptica se observó que el método de ultracongelación forma una estructura más porosa en el material en comparación con el método de congelación, minimizando el daño en la pared celular, este aspecto influye en el contenido de proteínas y lípidos, ya que minimiza las pérdidas durante el tratamiento térmico, por lo que se obtiene un producto con mayor valor nutricional.

Mediante el análisis sensorial se observó que la muestra de guacamole tradicional tiene mayor aceptación por parte de los panelistas, ya que presenta mejores atributos que el guacamole picante, sin embargo, para las dos muestras de guacamole se observó un sabor residual herbáceo, este sabor posiblemente se le atribuye a la oxidación de aldehídos como el hexanal y E-hexenal, que forman compuestos volátiles responsables del sabor.

El análisis de los resultados bromatológicos indica que el método de enfriamiento recomendado es el de ultracongelación, debido a que genera menor daño en las paredes celulares y permite la conservación de macro y micronutrientes en el interior de la célula. Además, para que el producto tenga una menor humedad, es importante someter al alimento a tiempos de liofilización de 72 h, donde se alcanza una humedad inferior al 12%.

6 RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos de la presente investigación se sugiere realizar un análisis de difracción de rayos X a diferentes tiempos de liofilización, debido a que se observan pequeños picos cristalinos que evidencian el efecto de la evaporación en la muestra.

Para evitar la presencia de mohos y levaduras, se sugiere evaluar las condiciones de almacenamiento adecuadas para muestras en polvo, con el fin de evitar el aumento de humedad en el producto, además verificar las condiciones de preparación de la muestra para asegurar inocuidad en el alimento.

Se recomienda que, para mejorar el sabor del guacamole, se pruebe realizando la formulación de guacamole con diferentes variedades de aguacate y en diferentes índices de maduración. Además, se sugiere realizar un análisis de peróxidos, debido a que el sabor residual puede ser atribuido a la oxidación de las grasas.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, K. (2017). *Análisis de las cenizas del Tungurahua (granulométrico, de componentes y químico) en la primera fase eruptiva de 2010 (enero-marzo)*. Escuela Politécnica Nacional.
- AFZAL, M., AKHTAR, A., BUKHARI, R. A., HASAN, S. Z. U., & SYED, H. (2022). A review on avocado fruit: description, morphological, characteristics, composition, nutritional benefits and propagation technique. *PLANT CELL BIOTECHNOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY*, 32–41. <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2022/v23i29-307772>
- Air Products. (2013). Food Freezing Equipment: Quality, Safety and Efficiency. *The Magazine of the Cryogenic Society of America*, 29. www.cryogenicsociety.org
- Alfonso, J. (2008). *Manual técnico del cultivo de aguacate Hass (Persea americana L.)*. www.hondurasag.org
- Alvarez, T. (2021). *Efectos de la congelación y ultracongelación en la estructura y textura de frutas y vegetales: Una revisión bibliográfica de datos publicados*. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33606/1/AL%20785.pdf>
- Anzaldúa, A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Acriba.
- AOAC 2003.06. (2009). AOAC Official Method 2003.06. Crud Fat in Feeds, Cereal Grains and Forage. In *AOAC Official Method of Analysis*.
- Araújo, R. G., Rodriguez, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Arpi, N., Satriana, Mustapha, W. A. W., Syamsuddin, Y., Putra, T. W., & Supardan, M. D. (2023). Effect of cooking pre-treatment on the properties of dried avocado flesh and its oil extract. *South African Journal of Chemical Engineering*, 43, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.09.011>
- Benayas, A. (2018). *Máquinas de soporte vectorial con núcleos de polinomios ortogonales para problemas de clasificación* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/52249/>
- Berk, Z. (2018). Freeze drying (lyophilization) and freeze concentration. *Food Process Engineering and Technology*, 567–581. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00023-3>
- Bhosale, S., Kumbhar, P., Patil, O., Landage, K., Kabade, R., Manjappa, A., & Disouza, J. (2021). Lyophilization: principle, methods, and applications. *Drug and Pharmaceutical Science Archives*, 1(1), 19–23. <https://www.researchgate.net/publication/362845958>
- British Standards Institution. (2020). *Fat and oil derivatives. Fatty Acid Methyl Esters (FAME). Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents*. https://webstore.ansi.org/preview-pages/bsi/preview_30373781.pdf
- Cama, F. (2023). *Efecto de la ultracongelación en las características físicas, químicas y sensoriales de filete de pescado*. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/35bf3a7a-8659-44ba-b40f-34a9bee56ac6/content>

- Campos, R., SantaCruz, U., Florez, M., Rivera, G., & Rodríguez-Pérez. (2011). Dinámica de la acumulación de ácidos grasos en aguacate (*Persea americana* Mill.) selección "Méndez." *Proceedings VII World Avocado Congress*, 5–9.
https://www.avocadosource.com/wac7/section_11/camposeduardo2011b.pdf
- Carrillo, B., & Mosquera, M. (2017). Evaluación de la extracción de ácidos grasos a partir de cabezas de sardina (*Opisthonema libertate*) subproducto de la industria pesquera. *Enfoque UTE*, 8(4), 68–85. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n4.173>
- Carvalho, C. P., Bernal, J., Velásquez, M. A., & Régulo, J. (2015). Fatty acid content of avocados (*Persea americana* Mill. cv. Hass) in relation to orchard altitude and fruit maturity stage. *Agronomía Colombiana*, 33(2), 220–227.
<https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v33n2.49902>
- Castañeda, M. C., Valdés, E. H., Tapia, E., Delgado, A., Bernardino, A. C., Rodríguez, M. R., & Ramirez, J. del P. (2014). Efecto del liofilizado y del proceso de producción en la composición química y el perfil de ácidos grasos de la pulpa de aguacate. *Revista Chilena de Nutrición*, 41(4), 404–411. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182014000400009>
- Ceballos, A., & Montoya, S. (2013). Evaluación Química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1).
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/bioteologia/article/view/270/471>
- Clapa, D. (2022, September 29). *Cloruro de Sodio, o sal de mesa. Propiedades y usos en alimentación y medicina*.
- CODEX. (1995). *Norma general para los aditivos alimentarios*.
https://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf
- Cortés, M., Orrego, F. S., & Rodríguez, E. (2019). Optimization of guacamole formulation made with avocado powder and fresh avocado. *DYNA (Colombia)*, 86(209), 126–134.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.72930>
- Cortés, M., Orrego, F., & Torres, J. (2020). Análisis sensorial discriminativo y descriptivo de guacamole a base de polvo de aguacate "Hass." *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18(2), 117. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(18\)117-125](https://doi.org/10.18684/BSAA(18)117-125)
- Daiuto, É. R., Vieites, R., Carvalho, L., Simon, J., & Russo, V. (2011). *Sensory analysis of cold-stored guacamole added with α -tocopherol and ascorbic acid*. *Revista Ceres*.
<https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200002>
- Vieites, R., Daiuto, É., Vileigas, D., & Carvalho, L. (2012). Estabilidade do guacamole refrigerado elaborado com abacate "hass" e diferentes formulações. *Alim. Nutr*, 23, 195–204.
https://www.researchgate.net/publication/316089046_Estabilidade_do_guacamole_refrigerado_elaborado_com_abacate_'hass'_e_diferentes_formulacoes
- Díaz, D. (2017). *Manual de laboratorio de bromatología*.
<https://www.uv.mx/pozarica/cba/files/2017/09/MANUAL-DE-BROMATOLOGIA-2017.pdf>
- Dosantos, N. (2022). *Optimización de procesos utilizando metodología de superficie de respuesta [Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias]*.

- https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/8571/Nisa_Exam.Su f.Prof_Titulo_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Donetti, M., & Terry, L. A. (2012). Evaluation of factors affecting shelf-life and quality miomarkers of imported avocado fruit. *Acta Horticulturae*, 934, 677–682. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.934.87>
- Duarte, P. F., Chaves, M. A., Borges, C. D., & Mendonça, C. R. B. (2016). Avocado: characteristics, health benefits and uses. *Ciência Rural*, 46(4), 747–754. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20141516>
- Estrada, E., Cortés, M., & Gil, J. (2017). Guacamole Powder: Standarization of the spray drying process. *Revista Vitae*, 24(2), 102–112. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v24n2a03>
- FAO. (2002). *Microbiological Requirements for Food Groups 1*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/est37807.pdf>
- FDA/BAM. (1998). *Bacteriological Analytical Manual (BAM)* (8th edition). <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>
- Garbanzo, M. (2011). *Manual de Aguacate: buenas prácticas de cultivo variedad Hass* (Second). <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-4259.pdf>
- Garcia-Amezquita, L. E., Welti-Chanes, J., Vergara-Balderas, F. T., & Bermúdez-Aguirre, D. (2016). Freeze-drying: The Basic Process. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 104–109). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00328-7>
- García, E., Hernandez, J., Vargas, R., & Cervantes, S. (2006). Proceso para la Obtención de Aguacate en Polvo. In *WO 2006088344*. <https://patentimages.storage.googleapis.com/74/02/68/e7d308dc0408a4/WO2006088344 A2.pdf>
- Granizo, C. (2018). *Optimización de los procesos de una empresa comercial caso: BC llantas* [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/2481/1/76759.pdf>
- Ho, T. M., Truong, T., & Bhandari, B. R. (2017). Methods to characterize the structure of food powders – a review. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 81(4), 651–671. <https://doi.org/10.1080/09168451.2016.1274643>
- Hurtado, A. (2015). *Mejora de las condiciones de liofilización para la obtención de fruta en polvo*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/54205/ALTED%20-%20MEJORA%20DE%20LAS%20CONDICIONES%20DE%20LIOFILIZACI%C3%93N%20PARA%20LA%20OBTENCI%C3%93N%20DE%20FRUTA%20EN%20POLVO.pdf?sequence=4>
- James, C., & James, S. (2003). Freezing: Cryogenic Freezing. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2725–2732. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00524-1>
- Jimenez, P., Vilma, P., Vasquez, K., Parra, C., Reyes, M., Garcia, D., Robert, P., Encina, C., & Soto, J. (2020). *Pulp, Leaf, Peel and Seed of Avocado Fruit: A Review of Bioactive Compounds and Healthy Benefits*. Food Reviews International. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1717520>

- Kapur, K., & Feng, Q. (2006). Statistical Methods for Product and Process Improvement. In *Springer Handbook of Engineering Statistics* (pp. 193–212). Springer London.
https://doi.org/10.1007/978-1-84628-288-1_11
- Kennedy, C. (2014). *Cold feat: choosing the right freezing technology for your production line*.
- Kumar, P. (2019). Lyophilization: An important formulation technique. *International Journal of Research-Granthaalayah*, 7(9), 11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3464308>
- Lara, C., Jiménez, H., & Miranda, R. (2021). Perfil de compuestos orgánicos volátiles y ácidos grasos del aguacate (*Persea americana*) y sus beneficios a la salud. *CienciaUAT*, 16, 162–177.
<https://www.redalyc.org/journal/4419/441970374011/html/>
- Leyva, L., Luna-Guevara, M. L., López-Olguín, J. F., Juárez-Ramón, D., & Ortega, Y. (2023). Cultivo, cosecha y postcosecha en el sistema productivo cilantro (*Coriandrum sativum* L.). *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(3). <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i3.1549>
- Liñan, J., & Puma, G. (2021). Actividad enzimática de la palta fuerte (*persea americana*) durante el almacenamiento en refrigeración. *Anales Científicos*, 82(2), 296–302.
<https://doi.org/10.21704/ac.v82i2.1792>
- Loaiza, P., & López, E. (2013). *Elaboración de una Salsa a Base de la Pulpa de Aguacate Variedad Hass y su Proyección a Nivel Industrial* [Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/25161/1/TESIS%20LOPEZ-LOAIZA%20%20Salsa%20de%20Aguacate.%20Presentacion.pdf>
- López, R., & Césaire, E. (2021). El guacamole y la biotecnología. *Coordinación de La Investigación Científica*. <https://www.researchgate.net/publication/353496102>
- Maleno, F. (2019). *Evaluación del punto final de la liofilización en la pulpa de naranja*.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/128232/Maleno%20Berenguer%2C%20FJ-Evaluaci%C3%B3n%20del%20punto%20final%20de%20la%20liofilizaci%C3%B3n%20en%20la%20pulpa%20de%20naranja.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Marcillo, V. (2022). Valorization of ecuadorian mango peel (*Mangifera indica* L.) as a potential source of bioactive compounds, to obtain an encapsulated extract with functional properties by spray-drying. *Escuela Politécnica Nacional*. <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2022/05/Tesis-PHD-completa-13.05.2022-VM.pdf>
- Márquez, B. (2014). *Refrigeración y congelación de alimentos: Terminología, definiciones y explicaciones* [Universidad Nacional de San Agustín].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content>
- Marrón, R. (2004). *Liofilización del guacamole* [Tesis Maestría]. Universidad de las Américas Puebla.
- Merino, D., Bertolacci, L., Paul, U. C., Simonutti, R., & Athanassiou, A. (2021). Avocado Peels and Seeds: Processing Strategies for the Development of Highly Antioxidant Bioplastic Films. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 13(32), 38688–38699.
<https://doi.org/10.1021/acsami.1c09433>

- Montes, Y. del C. (2016). *Prefactibilidad para implementar la técnica de liofilización de la cepa KOCURIA RHIZOPHILIA ATCC 9341 utilizada en control microbiológico de antibióticos CNDR-MINSA central Managua*. <https://repositorio.unan.edu.ni/1378/1/71955.pdf>
- Mujaffar, S., & Dipnarine, T.-A. (2020). The production of a dried avocado (*Persea americana*) powder. *Proceedings of the International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology (IConETech-2020)*, 44–54. <https://doi.org/10.47412/DDSD1316>
- Myers, R., Montgomery, D., & Anderson-Cook, C. (2009). *Response surface methodology* (Third).
- Nguyen, T. H. (2016). *Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux*. <https://theses.hal.science/tel-01297965>
- Nielsen, S. (2010). *Food Analysis* (4th ed.). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1>
- Noriega, A. D., Rubio, J. D., García, M. de L., González, G. A., Meza, L., Chacón, M. A., Aguilera, S., Osuna, J. A., & Montalvo, E. (2024). Comparison of individual quick freezing and traditional slow freezing on physicochemical, nutritional and antioxidant changes of four mango varieties harvested in two ripening stages. *Food Chemistry Advances*, 4, 100590. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100590>
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). *The Freeze-Drying of Foods-The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials*. <https://doi.org/10.3390/foods9101488>
- NTE INEN 616. (2006). *Harina de trigo. Requisitos* (Tercera). <https://ia802904.us.archive.org/14/items/ec.nte.0616.2006/ec.nte.0616.2006.pdf>
- NTE INEN 2996. (2015). *Productos deshidratados. Zanahoria, Zapalli, Uvilla. Requisitos*.
- NTS N°071. (2008). *Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano* (Vol. 1).
- Nyakang'i, C. O., Marete, E., Ebere, R., & Arimi, J. M. (2023). Physicochemical Properties of Avocado Seed Extract Model Beverages and Baked Products Incorporated with Avocado Seed Powder. *International Journal of Food Science*, 2023, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2023/6860806>
- OIRSA. (2020). *Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos*. <https://www.oirsa.org/contenido/2020/Guia%20para%20uso%20de%20cloro%20como%20desinfectante%20en%20establecimientos%2023.06.2020.pdf>
- Oliveira, A. R., Ribeiro, A. E. C., Oliveira, É. R., Garcia, M. C., Soares, M. S., & Caliar, M. (2020). Structural and physicochemical properties of freeze-dried açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Science and Technology*, 40(2), 282–289. <https://doi.org/10.1590/fst.34818>
- Orrego, C. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. <https://www.researchgate.net/publication/288824364>
- Othman, N. A., Manaf, M. A., Harith, S., & Ishak, W. R. W. (2018). Influence of Avocado Purée as a Fat Replacer on Nutritional, Fatty Acid, and Organoleptic Properties of Low-Fat Muffins.

- Journal of the American College of Nutrition, 0.*
<https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1451408>
- Patiño, A., Ramirez, L., & Buitrago, S. (2021). *Viabilidad del plan exportador de guacamole de la empresa Agrícolas San Miguel* [Universidad católica de Pereira].
<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/8163/2/DDMNI93.pdf>
- Penfield, M. P., & Campbell, A. M. (1990). Evaluating food by sensory methods. In *Experimental Food Science* (pp. 51–77). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-157920-3.50008-9>
- Pillco, C. J., Guzmán, D., & Cuéllar, J. E. (2021). Composición físico química y análisis proximal del fruto de Sofaique “Geoffroea decorticans (Hook. et Arn.)” procedente de la región ICA-Perú. *Revista de La Sociedad Química Del Perú, 87(1)*, 14–25.
<https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.319>
- Purohit, S. R., Jayachandran, L. E., Raj, A. S., Nayak, D., & Rao, P. S. (2019). X-ray diffraction for food quality evaluation. In *Evaluation Technologies for Food Quality* (pp. 579–594). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814217-2.00022-6>
- Raiola, A., Rigano, M. M., Calafiore, R., Frusciante, L., & Barone, A. (2014). Enhancing the health-promoting effects of tomato fruit for biofortified food. In *Mediators of Inflammation* (Vol. 2014). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2014/139873>
- Ramirez, J. (2006). *Liofilización de alimentos*.
<https://www.researchgate.net/publication/259620189>
- Ruíz, G. (2018). *Determinación del rendimiento de las operaciones de separación del aceite de aguacate (Persea americana) proveniente de Magdalena Milpas Altas, Sacatepéquez, y su caracterización fisicoquímica* [Universidad Rafael Landívar].
<http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2018/02/02/Ruiz-Gabriela.pdf>
- Salvador, R., & Paucar, L. M. (2019). Optimization of the blanching time and temperature in the manufacture of Hass avocado pulp using low quality discarded fruits. *Brazilian Journal of Food Technology, 22*. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.24418>
- Schudel, S., Prawiranto, K., & Defraeye, T. (2021). Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. *Journal of Food Engineering, 293*, 110376. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110376>
- Shah, A. S., Bhat, S. V., Muzaffar, K., Ibrahim, S. A., & Dar, B. N. (2022). Processing Technology, Chemical Composition, Microbial Quality and Health Benefits of Dried Fruits. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal, 10(1)*, 71–84.
<https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.10.1.06>
- SIPA. (2023, November 30). *Comercio exterior del sector agropecuario y agroindustrial*.
<http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/comext-productos>
- Skoog, D., Holler, J., & Crouch, S. (2008). *Principios de análisis instrumental* (Sexta). CENGAGE Learning.
- Souza, P., Menezes Junior, F., & Vieira Neto, J. (2015). O valor nutracêutico da cebola. *Florianópolis, 29*, 41–44. <http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/>

- Tantarico, M., & Llontop Rosa. (2019). *Evaluación de la actividad de la enzima polifenoloxidasas durante el almacenamiento de palta (Persea americana Mill) var. Hass a diferentes temperaturas* [Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo"].
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10196/Tantarico_Bances_y_Llontop_Cordova.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Toivola, J. (2023). Optimization of freeze-drying process. In *Degree Programme in Biotechnology and Chemical Engineering*.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/800688/Toivola_Joonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Umaña, E. (2007). *Conservación de alimentos por frío*.
https://fusades.org/publicaciones/conservacion_alimentos_frio.pdf
- UPAEP. (2014). *Análisis sensorial*. https://investigacion.upaep.mx/micrositios/assets/analisis-sensorial_final.pdf
- Valenzuela, R. (1996). *Evaluación de Congelado de Palta (Persea americana Mili), en los cultivares Fuerte, Hass, Edranol y Bacom bajo distintas formulaciones*.
https://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/V-W-X/ValenzuelaRosa1996.pdf
- Velasco, J., Dobarganes, C., & Márquez-Ruiz, G. (2010). Oxidative rancidity in foods and food quality. In *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages* (pp. 3–32). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845699260.1.3>
- Villegas, I., Liévano, S., & Acosta, D. (2020). *Evaluación financiera y técnica de la liofilización del aguacate* [Universidad EAFIT].
<https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d9eb8d6-a295-4882-9296-cbe486d0171c/content>
- Waghmare, R. B., Perumal, A. B., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Recent Developments in Freeze Drying of Foods. In *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review* (pp. 82–99). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815781-7.00017-2>

8 ANEXOS

ANEXO I. Formato de encuestas de análisis sensorial



**Escuela Politécnica Nacional
Facultad de Química y Agroindustria
Evaluación de Análisis Sensorial**



El presente formulario tiene por objetivo evaluar las características sensoriales del guacamole rehidratado; tales como su apariencia, color, textura y sabor, con el fin de identificar el método más adecuado para la elaboración de dicho producto.

¿Consumes o ha consumido guacamole? Si ___ No ___

Prueba descriptiva para guacamole en polvo rehidratado

Instrucciones: Usted está recibiendo dos muestras de guacamole, evalúe cada atributo mostrado (olor, sabor, acidez, etc.) y marque con una “X” el número que mejor describe su selección en la siguiente escala: 1= ausencia de la característica, 4= mayor valor de la característica. Para degustar la muestra tome una cucharada llena de guacamole y pruébela, no olvide enjuagar la boca con agua entre una muestra y otra.

Cada atributo a ser evaluado se define a continuación:

Color: Se percibe con la vista, lo que se debe identificar es que el color sea característico a un aguacate fresco.

Olor: Percepción por medio de la nariz.

Sabor: Atributo percibido por medio de la cavidad oral o boca, se desea evaluar el sabor característico de un guacamole.

Acidez: Atributo medido por las papilas gustativas de la lengua, ubicados en ambos lados en la parte posterior de la misma.

Consistencia: Se refiere a la uniformidad y suavidad en la muestra.

Picante: Se percibe como una sensación ardiente en la cavidad bucal.

Sabor residual: Es la persistencia de una sensación de sabor de algunos alimentos tras haber pasado por la boca.

ATRIBUTO	CODIGO	1	2	3	4
Color característico de guacamole					
Olor característico de guacamole					
Sabor característico de guacamole					
Acidez					
Consistencia					
Picante					
Sabor residual					

Figura AI.1. Hoja de análisis sensorial de prueba descriptiva para guacamole en polvo rehidratado

Prueba de grado de satisfacción para guacamole en polvo rehidratado

Por último, coloque el código de la muestra de guacamole de su preferencia

Código _____

Indique brevemente que cualidades le hacen escoger esta muestra.

¡MUCHAS GRACIAS!

Figura AI.2. Hoja de análisis sensorial de prueba de grado de satisfacción para guacamole en polvo rehidratado

ANEXO II. Tabla de números aleatorios

6224	3500	3831	5590	3749	6934
8261	9512	6386	7969	3173	3662
9421	5438	8389	1013	3212	9914
2082	5683	6553	9265	6330	6455
5770	0772	0813	7361	4227	0906
0802	9477	6458	3684	5954	9961
4027	5923	1430	9965	6966	7021
3199	5961	1703	5947	4258	6152
7686	9235	7379	6239	9440	3265
8239	4158	6588	4626	6377	6247
7463	3284	6007	3101	8721	9707
8396	7547	3679	6814	3966	9402
9724	1002	6461	8037	0739	3649
3913	0087	2751	6593	7442	9216
9211	7721	9303	8733	5651	0378
4587	9205	0470	5179	7210	9892
4354	9776	2158	3226	4146	5399
9592	1974	8643	7672	6813	1057
2671	1216	6164	7022	0370	2755
4153	6989	4936	0352	4889	2200
9442	8025	4198	9841	9339	0769
5089	9070	8700	4507	1388	5946
4029	6456	6202	5598	4242	9598
4589	0479	7089	2575	5270	8015
2867	4853	6750	7729	9926	0661
4680	5797	0680	0406	1847	8360
6610	1613	4230	9401	7015	4747
9344	7649	5579	7786	3964	6828

Figura All.1. Tabla de números aleatorios (Anzaldúa, 1994).

ANEXO III. Resultados de análisis bromatológico

Tabla AIII.1. Resultados de análisis bromatológico para aguacate congelado.

Característica (g/100 g)	Tiempo de liofilización (h)		
	48	72	96
Humedad	13.62	12.33	5.88
	12.74	11.84	5.43
Ceniza	3.57	3.96	4.66
	3.4	3.98	5.34
Extracto Etéreo	49.07	51.65	52.45
	49.77	52	52.14
Proteína	4.17	4.44	4.35
	4.22	4.61	4.43

Tabla AIII.2. Resultados de análisis bromatológico para aguacate ultracongelado.

Característica (g/100 g)	Tiempo de liofilización (h)		
	48	72	96
Humedad	10.07	11.56	6.88
	9.66	11.32	6.85
Ceniza	4.78	4.09	4.34
	4.62	3.58	4.43
Extracto Etéreo	43.24	32.19	30.69
	46.31	30.34	31.61
Proteína	4.57	4.49	5.17
	5.26	4.49	5.44

ANEXO IV. Resultados de perfil de ácidos grasos

RESULTADOS		
Componente	mg/mL	Desv. Std
Metil butirato	<0,001	N/A
Metil hexanoato	0,36	0,009
Metil octanoato	<0,001	N/A
Metil decanoato	<0,001	N/A
Metil undecanoato	<0,001	N/A
Metil laurato	0,40	0,005
Metil tridecanoato	<0,001	N/A
Metil miristato	2,53	0,031
Metil miristolato	<0,001	N/A
Metil pentadecanoato	0,66	0,005
Metil cis 10 pentadecanoato	<0,001	N/A
Metil palmitato	833,58	20,302
Metil palmitoleato	1233,60	23,480
Metil heptadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis-10 heptadecanoato	9,82	0,069
Metil estearato	<0,001	N/A
Metil oleato	2135,44	47,623
Metil linoleato	603,36	11,237
Metil gamma linolenato	17,31	0,094
Metil linolenato	94,19	0,753
Metil araquidato	3,13	0,083
Metil cis-11 eicosanoato	17,13	0,303
Metil cis 11,14 eicosadecanoato	1,10	0,045
Metil cis 8,11,14 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil araquidonato	<0,001	N/A
Metil cis 11, 14, 17 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil tricosanoato	7,19	0,007
Metil behenato	1,07	0,031
Metil cis 13-docosanoato	<0,001	N/A
Metil lignocerato	95,42	0,094
Metil cis 5, 8, 11, 14, 17 eicosapentanoato	31,60	0,349
Metil nervonato	<0,001	N/A
Metil cis 4, 7, 10, 13, 16, 19 docosahexanoato	<0,001	N/A

Figura AIV.1. Resultados perfil de ácido graso para aguacate congelado y liofilizado a 48 h.

RESULTADOS		
Componente	mg/mL	Desv. Std
Metil butirato	<0,001	N/A
Metil hexanoato	0,34	0,004
Metil octanoato	<0,001	N/A
Metil decanoato	0,61	0,031
Metil undecanoato	<0,001	N/A
Metil laurato	0,50	0,005
Metil tridecanoato	<0,001	N/A
Metil miristato	2,45	0,005
Metil miristolato	<0,001	N/A
Metil pentadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis 10 pentadecanoato	<0,001	N/A
Metil palmitato	823,58	146,183
Metil palmitoleato	976,50	47,185
Metil heptadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis-10 heptadecanoato	9,66	0,004
Metil estearato	<0,001	N/A
Metil oleato	2288,83	355,657
Metil linoleato	253,28	10,233
Metil gamma linolenato	84,09	2,034
Metil linolenato	99,37	2,443
Metil araquidato	3,34	0,015
Metil cis-11 eicosanoato	19,49	0,619
Metil cis 11,14 eicosadecanoato	4,75	0,000
Metil cis 8,11,14 eicosatrianoato	11,20	0,202
Metil araquidonato	<0,001	N/A
Metil cis 11, 14, 17 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil tricosanoato	5,42	0,120
Metil behenato	1,11	0,008
Metil cis 13-docosanoato	<0,001	N/A
Metil lignocerato	189,94	18,402
Metil cis 5, 8, 11, 14, 17 eicosapentanoato	58,59	0,608
Metil nervonato	<0,001	N/A
Metil cis 4, 7, 10, 13, 16, 19 docosahehexanoato	<0,001	N/A

Figura AIV.2. Resultados perfil de ácido graso para aguacate congelado y liofilizado a 72 h.

RESULTADOS		
Componente	mg/mL	Desv. Std
Metil butirato	<0,001	N/A
Metil hexanoato	0,33	0,001
Metil octanoato	<0,001	N/A
Metil decanoato	0,90	0,008
Metil undecanoato	<0,001	N/A
Metil laurato	0,39	0,012
Metil tridecanoato	<0,001	N/A
Metil miristato	2,51	0,084
Metil miristolato	<0,001	N/A
Metil pentadecanoato	0,60	0,047
Metil cis 10 pentadecanoato	0,61	0,001
Metil palmitato	936,10	234,648
Metil palmitoleato	1192,73	177,653
Metil heptadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis-10 heptadecanoato	9,76	0,167
Metil estearato	<0,001	N/A
Metil oleato	2396,40	204,478
Metil linoleato	634,98	102,420
Metil gamma linolenato	12,90	0,227
Metil linolenato	94,06	5,352
Metil araquidato	3,44	0,272
Metil cis-11 eicosanoato	19,22	0,554
Metil cis 11,14 eicosadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis 8,11,14 eicosatrianoato	14,87	1,045
Metil araquidonato	<0,001	N/A
Metil cis 11, 14, 17 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil tricosanoato	<0,001	N/A
Metil behenato	1,40	0,001
Metil cis 13-docosanoato	<0,001	N/A
Metil lignocerato	186,32	9,072
Metil cis 5, 8, 11, 14, 17 eicosapentanoato	<0,001	N/A
Metil nervonato	<0,001	N/A
Metil cis 4, 7, 10, 13, 16, 19 docosahexanoato	<0,001	N/A

Figura AIV.3. Resultados perfil de ácido graso para aguacate congelado y liofilizado a 96 h.

RESULTADOS		
Componente	mg/mL	Desv. Std
Metil butirato	<0,001	N/A
Metil hexanoato	<0,001	N/A
Metil octanoato	0,68	0,007
Metil decanoato	0,54	0,003
Metil undecanoato	<0,001	N/A
Metil laurato	0,32	0,002
Metil tridecanoato	<0,001	N/A
Metil miristato	0,17	0,000
Metil miristolato	0,47	0,001
Metil pentadecanoato	2,27	0,004
Metil cis 10 pentadecanoato	<0,001	N/A
Metil palmitato	762,50	17,357
Metil palmitoleato	1088,96	6,027
Metil heptadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis-10 heptadecanoato	1,04	0,007
Metil estearato	20,99	0,257
Metil oleato	1899,20	99,754
Metil linoleato	548,79	0,713
Metil gamma linolenato	142,96	3,113
Metil linolenato	9,84	0,165
Metil araquidato	9,15	0,001
Metil cis-11 eicosanoato	17,44	0,330
Metil cis 11,14 eicosadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis 8,11,14 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil araquidonato	<0,001	N/A
Metil cis 11, 14, 17 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil tricosanoato	6,02	0,057
Metil behenato	<0,001	N/A
Metil cis 13-docosanoato	<0,001	N/A
Metil lignocerato	<0,001	N/A
Metil cis 5, 8, 11, 14, 17 eicosapentanoato	50,47	2,027
Metil nervonato	<0,001	N/A
Metil cis 4, 7, 10, 13, 16, 19 docosahehexanoato	<0,001	N/A

Figura AIV.4. Resultados perfil de ácido graso para aguacate ultracongelado y liofilizado a 48 h.

RESULTADOS		
Componente	mg/mL	Desv. Std
Metil butirato	<0,001	N/A
Metil hexanoato	<0,001	N/A
Metil octanoato	1,10	0,003
Metil decanoato	0,99	0,003
Metil undecanoato	<0,001	N/A
Metil laurato	0,57	0,000
Metil tridecanoato	<0,001	N/A
Metil miristato	0,26	0,000
Metil miristolato	0,57	0,003
Metil pentadecanoato	3,28	0,006
Metil cis 10 pentadecanoato	<0,001	N/A
Metil palmitato	1230,37	0,559
Metil palmitoleato	1572,47	22,686
Metil heptadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis-10 heptadecanoato	1,04	0,004
Metil estearato	24,25	0,138
Metil oleato	2897,84	49,456
Metil linoleato	766,21	3,688
Metil gamma linolenato	294,59	4,735
Metil linolenato	9,93	0,061
Metil araquidato	11,43	0,004
Metil cis-11 eicosanoato	1,87	0,007
Metil cis 11,14 eicosadecanoato	32,54	0,185
Metil cis 8,11,14 eicosatrianoato	17,04	0,037
Metil araquidonato	<0,001	N/A
Metil cis 11, 14, 17 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil tricosanoato	6,11	0,030
Metil behenato	<0,001	N/A
Metil cis 13-docosanoato	<0,001	N/A
Metil lignocerato	<0,001	N/A
Metil cis 5, 8, 11, 14, 17 eicosapentanoato	72,41	0,428
Metil nervonato	2,00	0,050
Metil cis 4, 7, 10, 13, 16, 19 docosahexanoato	<0,001	N/A

Figura AIV.5. Resultados perfil de ácido graso para aguacate ultracongelado y liofilizado a 72 h.

RESULTADOS		
Componente	mg/mL	Desv. Std
Metil butirato	<0,001	N/A
Metil hexanoato	<0,001	N/A
Metil octanoato	0,43	0,001
Metil decanoato	0,84	0,001
Metil undecanoato	<0,001	N/A
Metil laurato	0,33	0,001
Metil tridecanoato	<0,001	N/A
Metil miristato	0,23	0,002
Metil miristolato	0,44	0,001
Metil pentadecanoato	2,79	0,009
Metil cis 10 pentadecanoato	<0,001	N/A
Metil palmitato	790,58	4,201
Metil palmitoleato	1047,76	2,132
Metil heptadecanoato	<0,001	N/A
Metil cis-10 heptadecanoato	0,48	0,006
Metil estearato	23,87	0,127
Metil oleato	1974,45	13,849
Metil linoleato	588,70	3,294
Metil gamma linolenato	414,84	6,323
Metil linolenato	9,28	0,003
Metil araquidato	7,66	0,032
Metil cis-11 eicosanoato	1,97	0,032
Metil cis 11,14 eicosadanoato	59,88	0,071
Metil cis 8,11,14 eicosatrianoato	30,68	0,190
Metil araquidonato	<0,001	N/A
Metil cis 11, 14, 17 eicosatrianoato	<0,001	N/A
Metil tricosanoato	6,50	0,024
Metil behenato	1,26	0,002
Metil cis 13-docosanoato	<0,001	N/A
Metil lignocerato	<0,001	N/A
Metil cis 5, 8, 11, 14, 17 eicosapentanoato	43,19	0,025
Metil nervonato	1,15	0,009
Metil cis 4, 7, 10, 13, 16, 19 docosahecanoato	3,26	0,031

Figura AIV.6. Resultados perfil de ácido graso para aguacate ultracongelado y liofilizado a 96 h.

ANEXO V. Resultados de análisis sensorial

Tabla AV.1. Resultados de prueba sensoriales de dos recetas de guacamole rehidratado (tradicional: 645 y picante 424).

Panelista	Código	Color	Olor	Sabor	Acidez	Consistencia	Picante	Sabor residual
1	645	4	3	3	4	4	1	4
	424	2	3	1	3	4	2	3
2	645	3	4	1	3	3	2	3
	424	4	4	3	4	3	4	4
3	645	3	3	4	3	3	1	3
	424	1	2	2	3	3	3	4
4	645	4	2	3	2	3	1	3
	424	2	3	2	3	3	2	3
5	645	4	3	3	2	4	1	2
	424	2	2	2	2	4	3	2
6	645	4	3	1	3	4	1	4
	424	2	2	1	4	4	3	4
7	645	4	3	2	2	4	1	4
	424	2	3	2	2	4	3	4
8	645	4	4	4	3	4	2	1
	424	2	1	1	1	2	4	4
9	645	4	4	2	3	4	3	2
	424	2	4	2	3	4	4	3
10	645	4	2	3	2	4	2	3
	424	2	3	1	1	3	2	3
11	645	4	3	2	2	3	2	3
	424	1	2	1	2	3	2	3
12	645	4	3	2	4	4	2	2
	424	2	3	2	3	4	3	3
13	645	4	1	1	4	4	1	3
	424	2	1	1	2	4	1	2
14	645	4	3	2	1	4	1	4
	424	2	1	3	1	4	1	4
15	645	4	3	3	3	4	1	4
	424	3	2	2	3	4	2	4

ANEXO VI. Resumen de análisis estadísticos

Análisis ANOVA de la composición proximal y perfil de ácidos grasos

Tabla VI.1. Valores de P para las variables de respuesta estudiadas

	A: Método	B: Tiempo	AB
Humedad	0.0038	0.0000	0.0003
Ceniza	0.3340*	0.0112	0.0057
Extracto Etéreo	0.0000	0.0006	0.0001
Proteínas	0.0058	0.1403*	0.0499
Ácido oleico	0.0125	0.0950*	0.1566*
Ácido palmitoleico	0.4922*	0.0099	0.1266*
Ácido palmítico	0.9400*	0.5299*	0.6410*
Ácido Linoleico	0.0001	0.0000	0.0001

*no significativo

Gráficos de superficie de respuesta de las variables de ácidos grasos

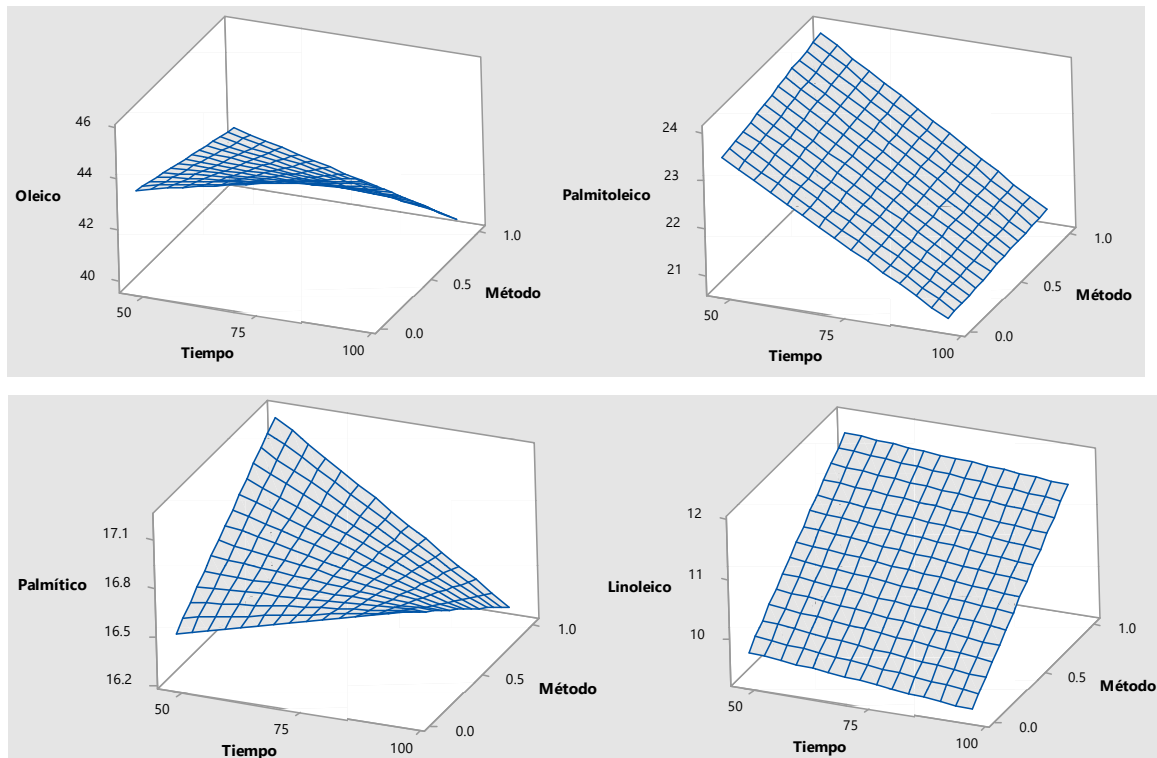


Figura VI.1. Gráfico de superficie de respuesta para el perfil lipídico

Gráficos de medias sobre el análisis sensorial del guacamole rehidratado.

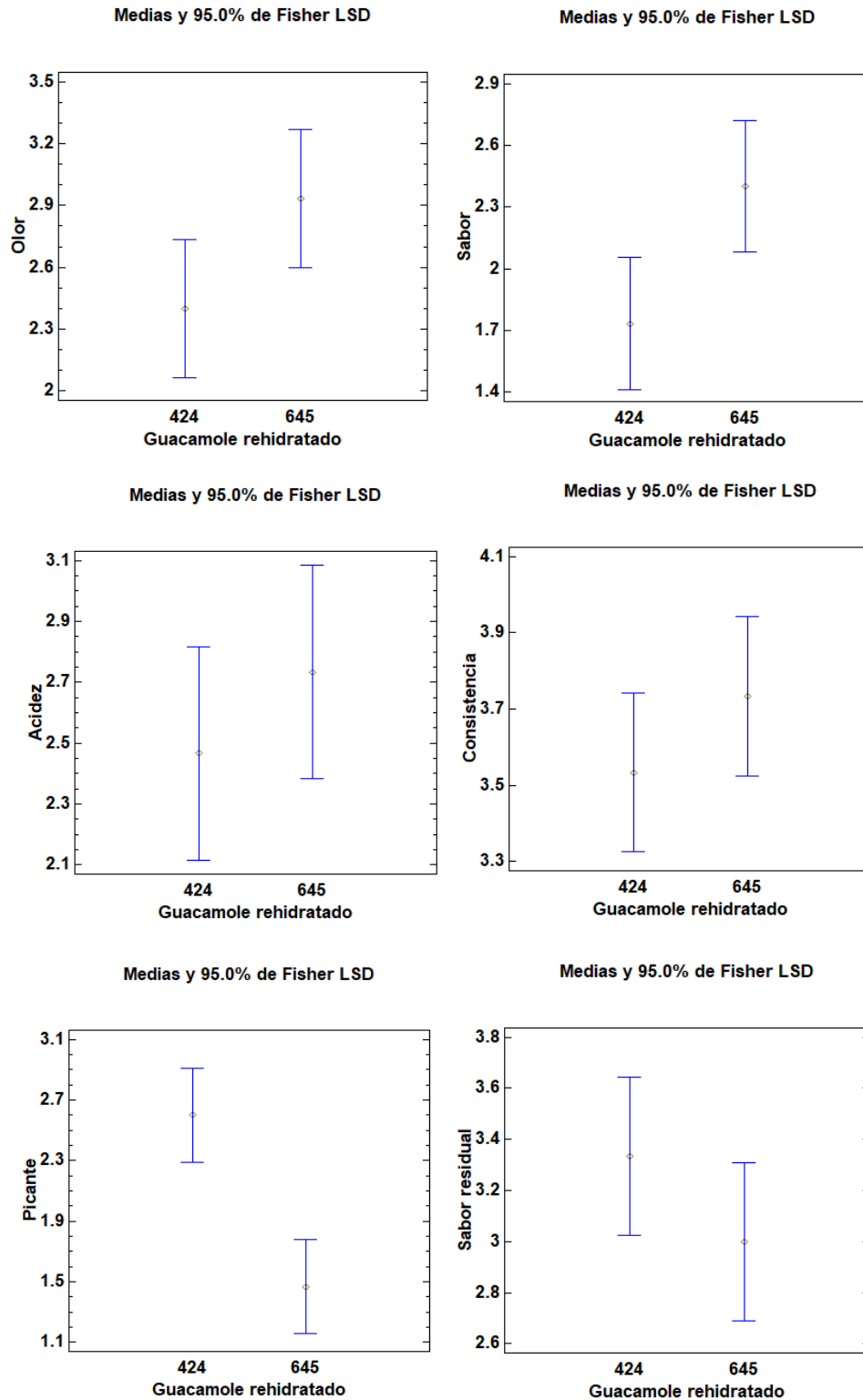


Figura VI.1. Gráficos de medias para cada atributo de la evaluación sensorial de guacamole rehidratado

ANEXO VII. Resultados obtenidos del análisis colorimétrico

Parámetros	Guacamole tradicional	Guacamole picante
L*	84.59	84.9
	83.88	85.04
	84.34	85.18
a*	-8.63	-6.50
	-8.90	-6.55
	-8.86	-6.47
b*	+23.31	+24.47
	+23.40	+24.61
	+23.73	+24.61

Análisis ANOVA para la colorimetría del guacamole en polvo.

	Valor p
L*	0.0260
a*	0.0000
b*	0.0013

ANEXO VIII. Resultados obtenidos del análisis microbiológico

Tabla AVIII.1. Resultados microbiológicos para guacamole en polvo picante (CI-MB-24-001) y guacamole tradicional (CI-MB-24-002)

ID Muestra	Servicio/Analito	Resultado	Unidades	Método
CI-MB-24-001	Contaje total	< 25x10 ¹	EAPC ^(a) /g	FDA/BAM Cap. 3 - 2021
CI-MB-24-001	Coliformes totales	< 25x10 ^{1(c)}	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 4 - 2020
		23	NMP ^(d) /g	FDA/BAM Cap. 4 - 2020
CI-MB-24-001	<i>Escherichia coli</i>	< 25x10 ^{1(c)}	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 4 - 2020
CI-MB-24-001	Hongos y levaduras	16x10 ²	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 18 - 2022
CI-MB-24-001	<i>Salmonella</i>	Ausencia	Presencia o Ausencia en 10 g	FDA/BAM Cap. 5 - 2023
CI-MB-24-002	Contaje total	12x10 ²	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 3 - 2021
CI-MB-24-002	Coliformes totales	< 25x10 ^{1(c)}	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 4 - 2020
		93	NMP ^(d) /g	FDA/BAM Cap. 4 - 2020
CI-MB-24-002	<i>Escherichia coli</i>	< 25x10 ^{1(c)}	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 4 - 2020
CI-MB-24-002	Hongos y levaduras	15x10 ³	UFC ^(b) /g	FDA/BAM Cap. 18 - 2022
^(a) EAPC: Recuento aeróbico estimado en placa				
^(b) UFC: Unidades Formadoras de Colonias				
^(c) Cantidad estimada desarrollo de colonias menor del rango (25-250) en la muestra analizada.				
^(d) NMP: Número más probable				