

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE POSGRADO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



Optimización de un proceso de liofilizado aplicado a vitis vinífera (uva) y capsinum annuum (chile pimienta verde).

T E S I S

que presenta para obtener el grado de DOCTOR

Cicerón González Toxqui

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Roberto López Avitia

CO DIRECTOR DE TESIS

Dr. Álvaro González Ángeles

Mexicali B.C.

Marzo 2020

ÍNDICE

Página

Índice de figuras

Índice de tablas

Justificación.

Objetivo general

Objetivos específicos

Hipótesis

Capítulo 1.- Introducción a productos liofilizados	18
1.1 Uva (Vitis Vinifera).	20
1.1.1 Generalidades de la uva.	20
1.1.2 Importancia de la uva.	21
1.1.3 Descripción botánica.	23
1.1.4 Composición química y valor nutricional.	30
1.1.4.1 Uva (Vitis vinífera)	30
1.1.5 Pimiento (Capsicum annum)	32
1.1.5.1 Generalidades del pimiento	32
1.1.5.2 Importancia del pimiento	36
1.1.5.3 Descripción botánica del pimiento	37
1.1.5.4 Morfología del pimiento	41
1.1.5.5 Composición química y valor nutricional del pimiento	42
1.1.6 Técnicas de Conservación	44
1.2 Deshidratación de alimentos.	45
Capítulo 2.-Liofilización.	47
2.1.1 Ventajas de la liofilización	49
2.1.2 Aplicaciones de la liofilización	50
2.1.3 Desarrollo histórico	51
2.1.4 Teoría de la liofilización	53
2.2 Congelación.	55
2.2.1 Velocidad de la congelación	58
2.2.2 Sublimación (deshidratación primaria)	61
2.2.3 Desorción (deshidratación secundaria)	63
2.2.4 Transferencia de calor y materia	63
2.3 Equipos de Liofilización.	66
2.4 Gasto energético.	69
2.5 Efecto sobre los alimentos.	69
2.6 Rehidratación.	71
Capítulo 3.- Materiales y métodos	74
3.1 Desarrollo de solución pretratamiento aplicado a Vitis vinífera.	74
3.2 Procedimiento.	77
3.3 Penetración de la solución.	78

Capítulo 4.- Microbiología del producto	82
4.1 Siembra por extensión.	82
4.2 Preparación de disoluciones.	83
4.3 Siembra.	84
4.4 Conteo de colonias.	85
4.5 Tinción de Gram.	86
4.5.1 Prueba presuntiva	86
4.5.2 Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales	86
4.6 Pimiento.	87
4.7 Capsaicina	89
4.8- Extracción por método soxhlet	90
4.9.- Procedimiento de extracción	91
4.9.1.- Análisis de concentración de capsaicina	93
Capítulo 5.- Resultados y conclusiones	95
Recomendaciones	100
Referencias	101

Índice de figuras

<u>Figura</u>	Página
1.- Principales Entidades Mexicanas productoras de uva	21
2.- Esquema de la composición de la uva	25
3.- Espécimen de uva parra en estado natural	25
4.- Espécimen de uva rocial cana en estado natural	26
5.- Espécimen de uva teta de vaca en estado natural	26
6.- Espécimen de uva beba en estado natural	27
7.- Espécimen de uva amprieta en estado natural	27
8.- Espécimen de uva flame seedless en estado natural	28
9.- Espécimen de uva sugraone en estado natural	28
10.- Espécimen de uva perlette en estado natural	29
11.- Espécimen de uva red globe en estado natural	29
12.-Tipos de pimientos caracterizados por su tamaño	34
13.- Planta de pimiento	37
14.- Flor del pimiento	38
15.- Parte interior del Pimiento Morrón	38
16.- Pimiento California	39
17.- Pimiento Lamuyo	40
18.- Pimiento Italiano	40
19.- Morfología de Pimientos	41
20.- Cambios físicos desde el estado amorfo pasando por goma hasta cristalino	43
21.- Diagrama de fases del agua	53
22.- Etapas de la liofilización	54
23.- Gráfico de temperatura contra tiempo durante la congelación	56
24.- Diagrama de estado de congelación	58
25.- Etapas de deshidratación en la liofilización	64
26.- Transferencia de masa durante el proceso de liofilización	65
27.- Equipo liofilizador	67
28.- Diagrama del costo energético	69
29.- Estructura porosa de un alimento liofilizado	70
30.- Bandejas de acero inoxidable para la cámara de vacío	74
31.- Plato de aluminio	74
32.- Muestra de uva fresca	75
33.- Termobalanza para pruebas de porcentaje de humedad	75
34.- Carbonato de potasio y aceite de olivo	76
35.- pHmetro con cambio de lectura de 10 a 12 indicando la alcalinidad	76
36.- Equipo liofilizador	77
37.- Se vierte solución a las muestras frescas	77
38.- Análisis de la penetración de la solución mediante la fenolftaleína	78
39.- Muestra la penetración de la solución a nivel celular	78
40.- Muestra la penetración de la solución a nivel celular	79
41.- Vitis vinífera en etapa de congelamiento	79
42.- Muestras en la cámara de vacío, inicio de la segunda etapa	80
43.- Muestras en cámara de vacío, en última etapa	80
44.- Producto final	81
45.- Varilla acodada	82
46.- Cajas de Petri	83

47.- Mac Conkey en presentación de polvo y ya lista en caja de Petri	83
48.- Tubos de ensayo para la disolución	83
49.- Siembra en caja de Petri con la disolución	84
50.- Rotulación de la caja de Petri	84
51.- Cajas de Petri en incubadora	85
52.- Colonia de microorganismos en caja de Petri.	85
53.- Conteo total 160,000 NMP.10 UFC/g.	86
54.- Conteo total 100,000 NMP.6 UFC/g.	86
55.- Microscopio con cámara	87
56.- Muestra deshidratada y triturada para extracción de capsaicina	91
57.- Equipo de extracción Soxhlet	91
58.- Destilador para la separación del extracto y etanol	92
59.- Concentración del extracto de capsaicina	92
60.- Espectrofotómetro Jenway Genova Nano737501 longitud de onda 1000nm	93
61.- Espectro de capsaicina	94
62.- Pimiento verde corte en secciones	96
63.- Comparación entre las muestras con los diferentes aceites	96
64.- Corte de uva inmersa en solución alcalina	97
65.- Uva vista exterior	98
66.- Uva vista interior	98

Índice de tablas

<u>Tabla</u>	Pagina
1.- Destino de la producción final de uva	22
2.- Morfología de la uva	24
3.- Composición química de la uva	30
4.- Composición general de la uva	31
5.- Variaciones de los pimientos	35
6.- Información Nutricional comparativa de Pimientos Verdes y Pimientos Rojos	43
7.- Valor nutricional del pimiento	43
8.- Comparación entre deshidratación convencional y liofilización	48
9.- Aplicaciones de la liofilización en la industria alimentaria	50
10.- Proceso general de un proceso de liofilización	68
11.- Condiciones del equipo liofilizador	68
12.- Muestra resultados de tiempo del proceso de liofilizado	95
13.- Muestra el porcentaje de humedad a través del proceso de liofilizado	97

Abstract

Since the beginning of "human being" has needed to extend the useful life of the food that was available in the home, so that the food is not lacking. At present, the need for methods that extend the life and availability of food is also very important because of the massive increase in population and the continuous movement from rural to urban areas.

Foods have a chemical composition rich in nutrients that is what differentiates them, being in general highly perishable, so that the loss of both organoleptic and nutritional characteristics can be affected over time.

Sensory characteristics are to the consumer the most important attributes for food acceptance, and small differences can affect their assessment. Thus the texture that each food presents is characteristic being affected by the humidity, fat, quantity and type of carbohydrates, etc. This type of compounds are sensitive to the passage of time because they can decrease in concentration by evaporation from the matrix or by chemical transformations (oxidation, reduction, Maillard reaction, etc.) this can give rise to improper odors and flavors of the food and for this reason Rejection by the consumer.

In particular, the deterioration of food caused by microbial development causes undesirable alterations in the sensorial characteristics, and may even lead to the generation of certain substances that the food is not suitable for consumption.

In order for the chemical composition of the food do not be modified or degraded so that its nutrients and organoleptic characteristics can disposed for a longer period of time, it is necessary to use preservation techniques that guarantee a longer shelf life.

The deterioration of the quality of the food is due to the fact that it is a medium very prone to the occurrence of microbial growth as well as degradation reactions. To prevent this from happening and thus lengthen its life, methods of pH control are used (in more acidic means less growth is likely), temperature (which denatures microbial structures and the life of microorganisms), etc., for which it stands out freeze dry method.

Freeze dry is an interesting alternative as a method of food preservation, which allows extended shelf life significantly while maintaining the physical and physico-chemical properties related to its quality.

It consists of removing water from a product by sublimation, water free solid phase accompanied by evaporation of remaining portions of non-freezable water. Sublimation occurs when the vapor pressure and temperature of the ice surface is below the triple point of water.

Freeze dry can greatly reduce the moisture content of a product, between 2 and 16%, which prevents bacteria and molds from developing and that the enzymes cause chemical reactions that deteriorate the product.

There are also no enzymatic changes throughout the process, which provides excellent microbiology to the final product.

After rehydration, freeze dried products can improve in taste, texture and appearance compared to other preservation techniques. For example, the air drying of the fruits causes them to shrink, something that does not happen with freeze dry.

Freeze dry when compared to other drying methods offers different advantages such as the preservation and easy transport of the products, the absence of high temperatures, the inhibition of the growth of microorganisms, or the recovery of the properties of the food by adding the volume of water that at first had.

Freeze-dried fruits and vegetables are considered healthy product that can be eaten at any time of the day, they do not need cooking and are available all year season. At the same time, the production of such food intake allow encourage fruits and thus will seek to reduce obesity and the risk of associated with high intake of fats and carbohydrates that are currently present in the population diseases.

Product development will aim to meet the needs of different market sectors. On the one hand, will seek a place in the mind of the consumer, it will reach him by producing "fruit snacks". On the other hand, the largest market segment: the food processing industry as dried fruit used as raw material in the production of cereal bars, yogurt, ice cream, baked goods, etc. In Mexico this method is little applied, but with the great demand that exists from the exterior on our fruits or foods, this would be the best alternative to offer a product that supports the long periods of export and extreme environments.

Mexican wine region is located between 22 ° and 23 ° north latitude, in the center-north. The growing areas are most important grape Valle de Guadalupe, Valle de San Antonio de las Minas and Valley northwest of Ensenada Calafia, Valle de Santo Tomas and San Vicente Valley south of Ensenada. SIAP data show that the national grape production in 2013 was more than 350,000 tons with a production value of over 5 million pesos. In addition, given the characteristics of the soil, the vine contributes to prevent erosion and to curb desertification, thus assuming an environmental value of the first magnitude that is complemented by other values such as the landscape function or attraction of tourism, which help the economic development of rural areas.

Grape, grown from the very beginning of history, is especially nutritive and economically has an extraordinary importance. It has been cultivated for its nutritive value, its curative properties and, above all, for the production of wines. It can be consumed fresh in the form of juicy clusters, but there is a powerful industry that has grown around this fruit.

Vitis vinifera will be food developed by the freeze-dried method. This process was chosen for the quality of the product obtained, this is higher than the same products dehydrated by other methods. Freeze drying is considered one of the best methods of preservation of the organoleptic and nutritional properties of biological products. Freeze-dried products are characterized by low water activity, low volume changes and form high-rehydration, increased porosity and present a glassy state.

The world production of pepper according to data of the FAO is of 28,405,270 tons of which 92% constitutes to the production of fresh chilies, being China who produces 54% of the world production, followed by Mexico with 6.5%. The main customers of Mexican pepper are the United States, Japan, Canada, the United Kingdom and Germany.

Due to the high per capita consumption, 80% of the total produced goes to the domestic market and 40% of the national total goes to the production of dried chills like Pasilla, Guajillo, Puya, Ancho and Mulato; the rest is exported mainly in the types Anaheim, Jalapeño, and Bell.

For the agricultural economy of the country, the sector of the vegetables and fruits is of great importance for the contribution in the creation of jobs for the field. The production of green pepper in Mexico is 10.44 thousand tons per year and the states that stand out in its production are Guanajuato, Jalisco, Queretaro, Durango, Sinaloa, Zacatecas, Sonora, Nuevo Leon, Baja California Sur, Chihuahua, Hidalgo, State of Mexico, Morelos, Nayarit, Puebla, San Luis Potosi, Tamaulipas, Yucatan, Zacatecas and Coahuila. Of the 20 main products that Mexico markets internationally, in the position number 5 is the pepper.

According to the National Market Information System, prices until June 2016 of the pepper in the main markets of supplies fluctuate between \$ 40 and \$ 80 pesos per kilogram, hence its economic importance and the requirement of good agronomic management to obtain fruits of Excellent quality for a high level of marketing competition. The pepper (Bell Pepper) constitutes 60% of the volume produced.

The pepper belongs to the Solanaceae family, having approximately 23 recognized species, which are located in different parts of the world. The pepper comes from the genus *Capsicum*, species *annuum*; It is also known as sweet pepper, paprika, chili bell, chili morron. In Mexico, the most important chili species, for the planted area are *Capsicum Annum* L. (Jalapeño, Serrano, Pasilla, Guajillo, Ancho, Mulato and Pimiento), *Capsicum Frutescens* (Manzano chili) and *Capsicum Chinese* (Habanero chili), which occupy 75% of the total of the sowing area.

The pepper has a high nutritional value, as it is notable for its rich source of vitamin A, B1, B2 and C among fruits and vegetables of common consumption, has significant amounts of Calcium, Iron and Phosphorus, also has concentrations of absorbed acid reaching up to 4-5 times higher than citrus and kiwis.

Most of these compounds accumulate during maturation, while in the immature state they are practically absent and only lutein and, to a lesser extent, β -carotene levels stand out.

The changes in the lifestyles and the increase to have a better habit of food consumption has caused an increase in the consumption of vegetables and fresh fruits. Currently, these foods seek acceptance by customers, in addition to having aspects of health that require quality, good appearance, and good taste.

The markets are increasingly demanding, with a high pressure towards food safety, anti-terrorism, aggression, and biorational aggression, among others. The increase of the demand of these foods has caused that the alimentary industries incorporate new techniques of production of pepper, which go expanding to satisfy to the customers, an example could be the integration of the technology in the areas of production achieving products of good quality and long shelf life.

The export of dehydrated chilies is limited by the high demand and severe sanctions in relation to safety and security. Mexico has not been able to obtain higher returns due to a series of problems that need to be resolved by government institutions, universities, public and private research centers, technicians and producers in order to compete in this international market.

That is why there are important aspects to constantly monitor and evaluate such as the capacity and maintenance of the lyophilizer equipment, mechanical parts, sensors and computer system, as well as the area of the process, product handling and storage must follow the food safety guidelines dictated by the corresponding authorities, having completely dry the area, since these products have the hygroscopic property and look for moisture to rehydrate the cell walls.

Due to the needs to increase yields and quality requirements, it is necessary to reduce the risk factors by handling the product in lyophilized area operations using personal protection equipment suitable for food, which will lead to safe products and without altering the nutritional quality.

Keyword: Freeze drying, dehydrated, rehydrated, final moisture.

Resumen

Desde los inicios de “El Hombre” ha necesitado alargar la vida útil de los alimentos de los que disponía en la casa, para que el alimento no faltara. En la actualidad la necesidad de disponer de métodos que alarguen la vida y disponibilidad de los alimentos es también muy importante por el aumento masivo de la población y el continuo desplazamiento de las zonas rurales a las ciudades.

Los alimentos presentan una composición química rica en nutrientes que es la que los diferencia, siendo en general altamente perecederos, por lo que la pérdida de sus características tanto organolépticas como nutricionales se puede ver afectadas con el paso del tiempo.

Las características sensoriales son para el consumidor los atributos más importantes para la aceptación de los alimentos, y pequeñas diferencias pueden afectar a su valoración. Así la textura que cada alimento presenta esta característica viéndose afectada por la humedad, grasa, cantidad y tipo de carbohidratos, etc. Este tipo de compuestos son sensibles al paso del tiempo porque pueden disminuir en concentración por evaporación desde la matriz o por transformaciones químicas (oxidación, reducción, reacción de Maillard, etc.) esto puede dar lugar a olores y sabores impropios del alimento y por ello rechazo por parte del consumidor.

En concreto el deterioro de los alimentos generado por el desarrollo microbiano provoca alteraciones no deseadas en las características sensoriales, e incluso pueden dar lugar, por la generación de determinadas sustancias, que el alimento no sea apto para el consumo.

Para que la composición química de los alimentos no se modifique o se degrade pudiendo así disponer de sus nutrientes y características organolépticas durante un periodo de tiempo más prolongado es necesario utilizar técnicas de conservación que garanticen una vida útil mayor.

El deterioro de la calidad de los alimentos es debido a que se trata de un medio muy proclive a que tenga lugar crecimiento microbiano, así como reacciones de degradación. Para evitar que esto ocurra y así alargar su vida se utilizan métodos de control del pH (en medios más ácidos es menos probable el crecimiento), la temperatura (que desnaturaliza las estructuras microbianas y la vida de microorganismos), etc, para lo cual destaca el método de liofilización.

La liofilización es una alternativa de interés como método de conservación de alimentos, la cual permite prolongar el tiempo de vida útil manteniendo significativamente las propiedades físicas y fisicoquímicas relacionadas con su calidad.

Consiste en la eliminación del agua de un producto por sublimación, el agua libre de la fase sólida acompañada de la evaporación de algunas porciones remanentes de agua no

congelable. La sublimación ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo se encuentran por debajo del punto triple del agua.

La liofilización puede reducir enormemente el contenido de humedad de un producto, entre el 2% y 16%, lo que evita que se desarrollen bacterias y mohos, y que las enzimas provoquen reacciones químicas que deterioren el producto.

Tampoco existen cambios enzimáticos en todo el proceso, lo que proporciona una excelente microbiología al producto final. Ya que este proceso únicamente extrae el contenido de agua, mediante la disminución de la cantidad de humedad dentro del producto biológico, reduciendo las condiciones naturales de crecimiento microorgánico evitando la proliferación de los aspectos mencionados.

Tras su rehidratación, los productos liofilizados pueden mejorar en sabor, textura y apariencia en comparación con otras técnicas de conservación. Por ejemplo, el secado al aire de las frutas hace que se encojan, algo que no ocurre con la liofilización.

La liofilización al ser comparada con otros métodos de secado ofrece distintas ventajas como puede ser la conservación y fácil transporte de los productos, la ausencia de temperaturas altas, la inhibición del crecimiento de microorganismos, o la recuperación de las propiedades del alimento al añadirle el volumen de agua que en un principio tenía.

Las frutas y vegetales liofilizados son considerados como un producto saludable que puede consumirse en cualquier momento del día, no necesitan cocción y están a disposición durante todo el año. A la vez, la producción de dicho alimento permitirá incentivar la ingesta de las frutas y de esta manera se procurará disminuir la obesidad y el riesgo de contraer enfermedades asociadas al elevado consumo de grasas y carbohidratos que actualmente se presentan en la población.

La elaboración del producto apuntará a satisfacer las necesidades de diferentes nichos de mercado. Por un lado, se buscará ocupar un lugar en la mente del consumidor final, se llegará a él mediante la producción de “botanas frutales”. Y por otro lado al segmento más grande del mercado: la industria de procesamiento de alimentos, ya que utilizan frutas deshidratadas como materia prima en la elaboración de barras de cereal, yogures, helados, productos de panadería, etc. En México este método es poco aplicado, pero con la gran demanda que existe del exterior sobre nuestras frutas o alimentos, esta sería la mejor alternativa para ofrecer un producto que soporte los largos períodos de exportación y ambientes extremos.

La zona vitivinícola mexicana está ubicada entre los 22° y 23° latitud Norte, en el centro-norte del país. Las zonas de cultivo de uva más importantes son Valle de Guadalupe, Valle de San Antonio de las Minas y Valle de Calafia al noroeste de Ensenada, Valle de Santo Tomás y Valle de San Vicente al sur de Ensenada. Datos de la SIAP muestran que la producción nacional de uva en el 2013 fue más 350,000 toneladas con un valor de producción de más 5 millones de pesos. Pero, además, dadas las características del suelo, la vid contribuye

a prevenir la erosión y frenar la desertización, suponiendo, por tanto, un valor medioambiental de primera magnitud que se complementa con otros valores, tales como, la función paisajística o la atracción del turismo, que ayudan al desarrollo económico de las zonas rurales.

La uva, cultivada desde el inicio mismo de la historia, es especialmente nutritiva y económicamente tiene una extraordinaria importancia. Se le ha cultivado por su valor nutritivo, por sus propiedades curativas y sobre todo, para la elaboración de vinos. Puede consumirse en fresco en forma de jugosos racimos, pero hay una potente industria que ha crecido alrededor de este fruto.

En la *vitis vinifera* se desarrollará un alimento deshidratado mediante la técnica de liofilización. Dicho proceso fue elegido por la calidad del producto que se obtiene, ésta es mayor que los mismos productos deshidratados por otros métodos. La liofilización se considera uno de los mejores métodos de conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de productos biológicos. Los productos liofilizados se caracterizan por su baja actividad de agua, bajos cambios de volumen y de forma, alta capacidad de rehidratación, aumento en su porosidad y por presentar un estado vítreo.

La producción mundial de pimiento según datos de la FAO (Food and Agriculture Organization) es de 28,405,270 toneladas de las cuales el 92% constituye a la producción de chiles frescos, siendo China quien produce el 54% de la producción mundial, seguido por México con 6.5%. Los principales clientes del chile mexicano son Estados Unidos, Japón, Canadá, Reino Unido y Alemania.

Por el alto consumo per cápita, el 80% del total producido se destina al mercado interno y del 40% del total nacional se destina a la producción de chiles secos como el Pasilla, Guajillo, Puya, Ancho y Mulato; el restante se exporta principalmente en los tipos Anaheim, Jalapeño y Bell.

Para la economía agrícola del país, el sector de las hortalizas y frutas es de gran importancia por la aportación en la creación de empleos para el campo. La producción de pimiento verde en México es de 10.44 mil toneladas anuales y los estados que se destacan en su producción son Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Durango, Sinaloa, Zacatecas, Sonora, Nuevo León, Baja California Sur, Chihuahua, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Nayarit, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas, Yucatán, Zacatecas y Coahuila. De los 20 productos principales que México comercializa a nivel internacional, en la posición número 5 se encuentra el pimiento.

Según el Sistema Nacional de Información de Mercados, los precios hasta junio de 2016 del pimiento en los principales mercados de abastos fluctúan entre los \$40 y \$80 pesos el kilogramo, de ahí su importancia económica y la exigencia de un buen manejo agronómico para obtener frutos de excelente calidad por alto nivel de competencia de comercialización. El pimiento (Bell Pepper) constituye el 60% del volumen producido.

El pimiento pertenece a la familia de las Solanáceas, teniendo un aproximado de 23 especies reconocidas, las cuales están localizadas en distintas partes del mundo. El pimiento proviene del género *Capsicum*, especie *annuum*; también se le conoce como chile dulce, pimentón, chile bell, chile morrón. En México, las especies de chiles de mayor importancia, por el área sembrada son *Capsicum Annum* L. (Jalapeño, Serrano, Pasilla, Guajillo, Ancho, Mulato y

Pimiento), *Capsicum Frutescens* (chile Manzano) y *Capsicum Chinese* (chile Habanero), los cuales ocupan el 75% del total del área de siembra.

El pimiento posee un elevado valor nutricional, ya que se destaca por su fuente rica en vitamina A, B1, B2 y C entre las frutas y verduras de consumo común, tiene cantidades significativas de Calcio, Hierro y Fosforo, además tiene concentraciones de ácido ascórbico alcanzando hasta 4-5 veces superior al de cítricos y kiwis.

La mayoría de estos compuestos se acumulan durante la maduración, mientras que en estado inmaduro están prácticamente ausentes y solo destacan los niveles de luteína y, en menor medida, de β -caroteno.

Los cambios en los estilos de vida y el incremento por tener un mejor hábito de consumo alimenticio, ha ocasionado un incremento en el consumo de hortalizas y frutas frescos. Actualmente estos alimentos buscan aceptación por parte de los clientes, además de tener aspectos benéficos para la salud requieren calidad, buen aspecto y buen sabor.

Los mercados son cada vez más exigentes, con una elevada presión hacia inocuidad alimentaria, anti terrorismo, rastreabilidad y manejo agronómico biorracional, entre otros. El incremento de la demanda de estos alimentos ha provocado que las industrias alimenticias incorporen nuevas técnicas de producción de pimiento, las cuales se van expandiendo para satisfacer a los clientes, un ejemplo podría ser la integración de la tecnología en las áreas de producción logrando productos de buena calidad y de una larga duración en anaquel.

La exportación de chiles deshidratados está limitada por la alta exigencia y severas sanciones con relación a la inocuidad y seguridad. México no ha sido capaz de obtener mayores rendimientos por una serie de problemáticas que necesitan ser resueltas por instituciones gubernamentales, universidades, centros de investigación públicos y privados, técnicos y productores para poder competir en este mercado internacional.

Es por eso que existen aspectos importantes a vigilar y evaluar constantemente como son la capacidad y mantenimiento del equipo liofilizador, partes mecánicas, sensores y sistema informático, al igual el área del proceso, manejo del producto y almacenamiento deben seguir los lineamientos de seguridad alimenticia dictaminadas por las autoridades correspondientes, teniendo seca totalmente el área, ya que estos productos tienen la propiedad higroscópica y buscan la humedad para rehidratar las paredes celulares. Todos estos aspectos descritos, incrementan considerablemente los tiempos y la energía consumida en cada proceso de liofilización, incrementando a su vez los costos de producción de productos antes mencionados y que se tengan rendimientos bajos de ganancias en las industrias.

Debido a las necesidades de incrementar rendimientos y a las exigencias de calidad mundial en la que se incluyen la disminución de factores de riesgo, se requiere disminuir los factores de riesgo por la manipulación del producto en operaciones del área de liofilizados utilizando equipo de protección personal adecuada en alimentos, que dará lugar a productos inocuos y sin alterar la calidad nutricional.

Palabra clave: Liofilización, deshidratado, rehidratado, humedad final.

Justificación

Un alimento fresco se descompone fácilmente debido a diferentes factores como la acción de mohos, levaduras, bacterias y enzimas. Al exponerse al aire libre y a temperaturas elevadas se acelera su proceso de descomposición cambiando su color, aspecto, olor y sabor. Cuando un alimento está en descomposición, es perjudicial para la salud.

La tecnología de los alimentos está en constante cambio, es por ello que se ha optado incursionar en la implementación de un proceso de liofilizado, esto disminuye el riesgo de una posible intoxicación mediante la ingesta de un producto en descomposición por medio de la conservación de alimentos, manteniendo propiedades y valor nutrimental de los alimentos deshidratados, teniendo una vanguardia tecnológica con la aplicación de un equipo de alto secado y siendo los primeros en la región, manteniendo ventajas competitivas y liderazgo en el área de conservación de alimentos.

Aunque no existen estudios específicos sobre el consumo actual de estos productos en el país, la demanda de alimentos tipo deshidratados va en aumento, debido a que se vive un estilo de vida más agitado, horarios de trabajo prolongados, sumado a una mayor actividad en la vida laboral. Como consecuencia a la hora de elegir un producto se busca aquello que sea fácil de consumir y preparar.

Por otro lado, el crecimiento de este tipo de alimento está siendo perjudicado por factores contrapuestos: la obesidad y la tendencia a consumir productos poco saludables (altos en grasa, en azúcar y sal). Esto obliga a las empresas productoras de dichos alimentos a buscar nuevas alternativas para la elaboración de sus productos.

Actualmente en el país las diferentes investigaciones relacionadas con el tema, se orientan al desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de alimentos que eviten procesos de frituras, para de esta manera disminuir el contenido en grasas y calorías de los productos finales.

Se busca además la introducción del manejo de estos alimentos como materia prima en la industria alimenticia, además, son de fácil transportación y almacenamiento, esto hace mucho más costeable el transporte y reduce espacios en los almacenes.

Con la implementación y desarrollo de un proceso de liofilizado se pretende conservar los alimentos en buen estado para poder disponer de ellos en cualquier temporada del año, sobre todo en épocas de carestía y este método de deshidratado en alimento ha sido una de las mejores formas de aprovechar y conservar los alimentos. A su vez, procurará disminuir la obesidad y el riesgo de contraer enfermedades asociadas a la elevada ingesta de grasas y carbohidratos que actualmente se presentan en la población.

En la actualidad pueden vislumbrarse en el mercado el crecimiento en tendencias de gran influencia a la hora de elegir un producto alimenticio: fácil de adquisición, fácil preparación y consumo, dejando de lado lo saludable. Estas tendencias están marcando el consumo en el mercado, debido a las preocupaciones y ocupaciones que tiene el consumidor actual.

La concentración de las propiedades de los productos liofilizados permite una mejor asimilación, por lo que se pueden incluir en dietas para todo tipo de personas como excelente opción como consumo “instantáneo”, además de que aportan varios beneficios a la salud. Los productos liofilizados pueden someter a diversas formas de ingesta, deshidratadas, rehidratadas, crudas o en soluciones acuosas, con la finalidad de conservar sus propiedades de mejor manera y ayudar a una mejor alimentación y evita contaminaciones microbiológicas como la salmonelosis, gracias al proceso de extracción de agua.

- Pueden conservar su sabor, color, consistencia y aspecto.
- Se pueden volver a rehidratar para su consumo.
- Sus propiedades nutritivas se conservan casi en su totalidad.
- Su tamaño es más pequeño y son de menor peso que en su estado natural.
- Tiempo prolongado de conservación.
- Se pueden encontrar en cualquier temporada.
- Son un buen y saludable tentempié.

Objetivo general:

Proporcionar un proceso óptimo de liofilización para uva (*vitis vinífera*), obteniendo un producto de consumo satisfactorio.

Objetivos específicos:

- Confirmar al liofilizado como una técnica de secado de alimentos superior a las convencionales.
- Proporcionar un método eficiente del proceso de liofilizado.
- Estudiar la influencia del congelado, previa al proceso de liofilizado.
- Determinar el tiempo óptimo para liofilizar la uva a temperatura y presión constantes del liofilizador.
- Establecer el rendimiento óptimo o sugerido de la uva para liofilizar.
- Medir la capacidad de rehidratación de las muestras liofilizadas.
- Comparar la firmeza con muestras liofilizadas ya rehidratadas con muestras naturales no liofilizadas.
- Analizar la condición microbiológica de la uva liofilizada para evaluar la calidad comercial del producto.

Hipótesis

Mediante un proceso de liofilizado aplicado a uva (*vitis vinífera*), se pretende dar a conocer específicamente como alternativa de conservación de alimentos, abriendo una brecha para la investigación a fondo el campo de alimentos en la región, utilizando equipo nivel laboratorio adecuado para el desarrollo de estos alimentos, obteniendo productos óptimos que ayudaran a una mejor calidad alimenticia a la población.

A nivel industrial de manejo de alimentos, el proceso de liofilizado, impactará en la preservación de alimentos como materias primas, aumentará la capacidad de almacenaje, mejorará la vida de anaquel.

Capítulo 1.- Introducción a productos liofilizados.

La investigación en alimentos ha tenido grandes avances en el área de conservación de la materia, al igual que la demanda en la industria de obtener producto de alta calidad y alta vida de anaquel. A lo largo de la historia el mantener alimentos en condiciones óptimas para consumo ha sido y será un tema sobresaliente y un reto a plantear tanto en desarrollar de tecnologías como en innovación de procesos.

En el trabajo de investigación que realizó Cabezas Carrillo Mercedes del Pilar "*Evaluación Nutritiva y Nutraceutica de la Mora de Castilla (Rubus glaucus) Deshidratada a Tres Temperaturas por el Método de Secador en Bandejas*" hace una evaluación nutricional de la mora fresca y deshidratada, usando la vitamina C como indicador de eficiencia del proceso de deshidratación, con la finalidad de reducir al máximo la pérdida de nutrientes y prolongar el período de vida útil. Manejando temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C, reportando una menor pérdida de estos indicadores a la temperatura de 80°C. Además, realizó la evaluación nutricional y microbiológica de la mora fresca y deshidratada, por lo que se comprobó que, debido a la ausencia de agua libre, la concentración de los solutos aumentó determinándose un mayor valor nutritivo en el deshidratado y la cantidad de levaduras disminuyó considerablemente. También se realizó pruebas de degustación en la mora deshidratada, tomando en cuenta tres parámetros: color, olor y sabor, demostrando que tiene una aceptación favorable [8].

Un año después, Juntamay Tenesaca, Elvia Roció, realiza otra investigación con características similares aplicadas en la investigación de Cabezas Carrillo, "*Evaluación Nutricional Vitamina C en Uvilla con Secador de Bandejas Proceso De Deshidratación Frutas Deshidratadas*", asumiendo también la concentración de vitamina C como índice de calidad nutricional, de modo que se escoja la temperatura con menor pérdida. Aplicando temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C, teniendo como conclusión, la temperatura óptima de secado es a los 70°C, ya que a esta temperatura existe menor pérdida de vitamina C y el proceso de deshidratación en bandejas si afecta el valor nutricional de la uvilla, ya que existe pérdida de nutrientes [9].

Contreras Ruiz, M., en su estudio realizado de "*Parámetros de Calidad de Manzana Deshidratada mediante Secado a baja Temperatura Asistido con Ultrasonidos*", menciona al secado convectivo a baja temperatura como una alternativa a la liofilización, pero es un proceso extremadamente lento. Agrega una opción novedosa para mejorar la velocidad del proceso, que es la aplicación de ultrasonidos de potencia, en su informe no se observó ninguna influencia de la aplicación de ultrasonidos en la rehidratación ni en la textura, Por lo tanto, no implicó una reducción de calidad de la manzana deshidratada [10].

En la investigación de Rodríguez-Hernández, G. R, propone el secado por aspersión para convertir el puré de mango en un producto en forma de polvo y estable, el cual al ser reconstituido presente una calidad lo más cercana posible al néctar original. Además, un

producto en forma de polvo es más funcional, ya que puede ser usado en la industria de bebidas, helados, pastelería y comidas rápidas [11].

En el 2015 Yuan-Yaun Pu y Da-Wen Sun elaboraron un experimento donde se deshidrato mango con un microondas casero y un desecador al vacío. Usando dos basculas de laboratorio con el sistema de hiper-espectral para la lectura de la humedad, usando las unidades de mínimos cuadrado parciales (PLS Partial least square, por sus siglas en ingles). Usando las tres opciones que tiene la cámara, se utilizó R-PLS-2 como mejores opciones de procedimiento de visualización. Esto dio como resultado que, usando el sistema hiper-espectral aplicado es una buena herramienta para visualización de humedad sin hacer pruebas destructivas y tener un resultado rápido en el proceso de secado [12].

Ibrahim Doymaz y Mehmet Pala en su artículo *“The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes”* donde experimentan con uva sin semilla sumergiéndola en diferentes soluciones alcalinas como pre tratamiento. Las Uvas de cruce en una solución de oleato de etilo antes del secado mostraron tiempos de secado más cortos que los no se trata, o pre-tratado con solución de carbonato de potasio. Análisis del color de uvas demostró que los mejores resultados se obtienen en uvas que se trataron previamente con un AEE0 y se secaron con aire a 60 C [13].

En el review de Sagar V. R. y Suresh Kumar P. mencionan las ventajas del uso de unos varios métodos de deshidratado aplicado a frutas y verduras, como mejorar el almacenamiento, reducir al mínimo requisito de embalaje y reducir peso de transporte [14].

“Un óptimo sistema deshidratado de calidad para la preparación productos es rentable, ya que acorta el tiempo de secado y causar un daño mínimo al producto. Para reducir la utilización de la energía y costes operativos, surgieron nuevas técnicas y dimensiones de secado. Entre las técnicas de deshidratación esta la osmótica, secado al vacío, secado por congelación, secado por vapor sobrecalentado, el secado de la bomba de calor y el secado por aspersión tienen un gran alcance para la producción de productos de calidad y los polvos.”

También Fei-Pei hace un comparativo de métodos de secado, liofilización y microondas secado al vacío y la combinación de estos dos métodos, aplicados a rebanadas de setas. Donde juega con parámetros de secado en temperaturas (20, 30, y 40°C), presiones en cámara de vacío (70, 100, y 130 Pa) y espesores de las capas de material (individuales, dobles y triples), durante el proceso los productos fueron rehidratada a dos temperaturas (20,70°C). La comparación es comprobada mediante diferentes modelos matemáticos, analizando el comportamiento del secado y la rehidratación de rebanadas de setas. Donde señalan una relación entre la humedad del producto y el tiempo de proceso [15].

Los valores de contenido de humedad en rehidratado de productos liofilizados y de microondas secado al vacío eran casi similares a los de los productos alimenticios y de bebidas, que se indica que las capacidades de rehidratación de los dos productos deshidratados.

1.1. Uva (*Vitis vinífera*)

1.1.1. Generalidades de la uva (*Vitis vinífera*).

En las culturas antiguas como Babilonia, Egipto, Fenicia, Israel, Grecia y Roma, viñas y el vino eran parte de la vida cotidiana. Las dos bebidas nutritivas más antiguas conocidas por la humanidad son la leche y el vino, ambos elementos simbólicos en muchas religiones.

La uva, es también conocida como vid o parra y el nombre científico que se le otorga es *Vitis vinífera*. Fue una de las primeras plantas cultivadas por los seres humanos, y ya en tiempo de los egipcios la utilizaban para decorar los templos con sus hojas.

La vid es originaria del Caspio, en Asia Menor, desde donde se fue extendiendo hacia el este y el oeste. La uva es uno de los primeros cultivos realizados por el hombre. Se conocen muestras de semillas cultivadas durante el periodo Neolítico en yacimientos arqueológicos en Suiza, Italia, México y tumbas faraónicas del antiguo Egipto. Durante la época precolombina en México, los indígenas utilizaban la vid para hacer una bebida mezclada con frutas y miel, esta bebida se llama acachul y se sigue consumiendo en algunas partes del país. Los expertos localizan el origen del cultivo de la uva en las orillas del Mar Caspio, dispersándose hacia el resto de Europa a través del comercio del Mediterráneo [5].

Actualmente, el cultivo de la uva se concentra en zonas templadas de Europa, en el sur de Asia Central, en América del Sur, California, Australia y Nueva Zelanda.

Los primeros plantíos en México fueron Aguascalientes y Coahuila, posteriormente se utilizaron las fértiles tierras de Baja California y Sonora para su cultivo [2].

Las principales partes de la planta son utilizadas como remedios medicinales desde los tiempos antiguos.

Se producen uvas en algunas de las áreas cultivadas más cálidas de la tierra. Las temperaturas del aire en el valle del Jordán en Israel y en valles interiores en California en verano superan frecuentemente los 35°C y con máximos cerca de 43°C. La producción y cosecha de uva en Baja California se encuentra desde Mexicali hasta Ensenada, el clima de esta región favorece cosechas de máxima calidad por sus inviernos húmedos y veranos secos-templados [5].

A continuación, se muestran las principales entidades productoras de uva en México.



Figura 1.1- Principales Entidades Mexicanas productoras de uva.

Sonora es el principal estado productor de uva destinada para consumo fresco, cosechando 21 mil 200 hectareas, con una venta de 15 millones de cajas de 8.2 kg, Baja California es el segundo estado productor de uva de mesa y Zacatecas es el tercer productor de uva de mesa cosechando 3 mil 600 hectáreas, con un rendimiento de 10.72 toneladas por hectárea [5].

1.1.2. Importancia de la uva

El interés de la uva deriva de los beneficios sanitarios que aporta, destacando los nutrientes, vitaminas, ácidos orgánicos, y los mayoritarios los azúcares. Estos últimos son principalmente la glucosa y la fructosa. Estos azúcares se encuentran en la pulpa y son transferidos al mosto o pulpa.

Es una de las frutas de mayor importancia económica en el mundo, ya que no sólo es consumida fresca, sino que además es utilizada como insumo para la elaboración de vinos, aguardientes, piscos, vinagres, néctares, pasas y bebidas azucaradas. Esto debido, no únicamente a su delicioso sabor y agradable color y aroma, sino también a sus múltiples beneficios que brinda su consumo, como, por ejemplo: previene del cáncer y de enfermedades geriátricas como el Alzheimer, combate la artritis y enfermedades de la piel, entre otros [34].

La producción de uva mundial se utiliza principalmente para elaborar vino, para consumirla directamente como fruta y la producción de pasas.

En la siguiente imagen se muestran los diferentes usos de la uva.

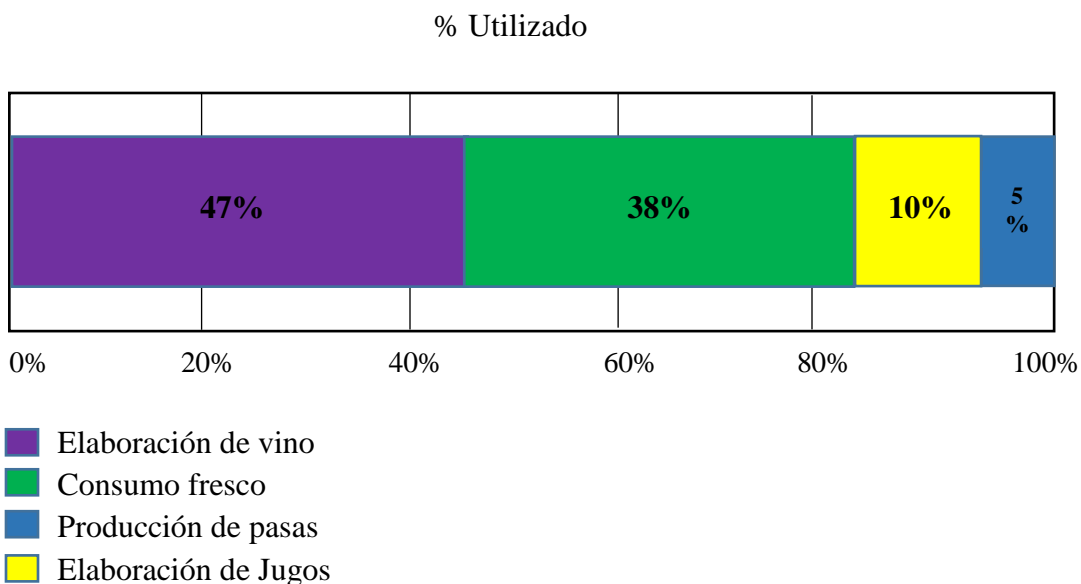


Tabla 1.1- Destino de la producción final de uva.

Además, la uva posee valor agregado y se puede encontrar como: jugo, yogur, helado, elaboración casera de platos de comida, vinagre y aceite.

Sin embargo, su deshidratación puede ser de interés ya que, aparte de sus nutrientes, la uva es un alimento que resulta muy interesante ya que de ella derivan otra serie de compuestos cuyas propiedades son objeto de estudio en múltiples investigaciones por las características sensoriales y beneficios para la salud que aportan.

En estudios clínicos se ha demostrado que personas que consumen vino, presentan menos riesgos de muerte por problemas cardiovasculares lo cual se ha explicado al contenido de compuestos antioxidantes polifenólicos presentes en el vino y en las uvas que le dieron origen.

Dentro de este grupo de antioxidantes polifenólicos se encuentran el resveratrol, la catequina, epicatequina, quercetina y rutina, a los cuales se le han atribuido efectos benéficos a la salud, como preventivo contra el cáncer, protege la barrera hematoencefalica y también se asocia a la modulación del metabolismo de lipoproteínas [4].

En los últimos años se han realizado numerosos estudios que demuestran los efectos beneficiosos de la ingesta de este compuesto, sobre el tratamiento y la prevención de diversas enfermedades incluyendo las neurodegenerativas como es el Alzheimer; enfermedad para la cual no existe un tratamiento eficaz. Es por ello que el potencial terapéutico del resveratrol ha atraído el interés de múltiples investigadores. Las propiedades del resveratrol son debidas fundamentalmente a su acción antioxidante, anti-inflamatoria [4].

Además, el resveratrol, en concreto, produce los siguientes beneficios sobre la circulación en las arterias: vasodilatación, por lo que aumenta el flujo sanguíneo; disminución de la agregación plaquetaria (la sangre circula más fluida con lo que disminuye el riesgo de formación de coágulos o trombos) e inhibición de la oxidación del colesterol LDL-c que desencadena su depósito en las arterias y da lugar al aterosclerosis. [4].

El ácido fólico interviene en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis material genético y la formación anticuerpos del sistema inmunológico. La vitamina B6 ayuda a mantener la función normal del cerebro, actúa en la formación de glóbulos rojos e interviene en el metabolismo de las proteínas. El potasio es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso, para la actividad muscular normal e interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. [20]

El organismo humano se beneficia a través de la uva de su gran poder depurador, regenerador y limpiador. No es extraña su utilización en casos de estreñimiento puesto que su fibra ayuda al intestino a eliminar toxinas. Estimula el sistema inmunológico y tiene muchas propiedades beneficiosas para la piel gracias a su efecto hidratante. Los zumos o pulpa pueden ayudar a revitalizar el cuerpo humano tras la fatiga y en la convalecencia, además de recomendarse en estados anémicos.

En lo que respecta a la uva en fresco, todavía está en discusión los niveles de consumo, pero se ha llegado a establecer que basta con digerir unos cuantos gramos de uvas diariamente para disminuir el colesterol. En este sentido, algunos especialistas recomiendan ingerir 400 gramos diarios, no todos juntos sino de tres a cuatro veces por día. [20]

1.1.3. Descripción botánica

La uva es una planta trepadora que puede llegar a superar los 20 metros, es una fruta carnosa que nace en largos racimos formados por granos redondos u ovalados, cuyo diámetro medio es de 1,6 centímetros y su peso 200-350 gramos. El color de su piel es diferente según variedades, pudiendo lucir tonos verdosos, rojizos, púrpuras, azulados o amarillentos. Su pulpa es jugosa y dulzona, presentando diversas pepitas pequeñas y duras en su interior. [34].

Su color varía de verde limón al rojo. La pulpa es aromática y dulce. Estas plantas son muy resistentes a las heladas invernales, pero esta resistencia se reduce luego de la brotación, cuando aparecen las primeras hojas. Por eso, algunos viñedos están equipados con dispositivos de lucha contra las heladas, que son eficientes pero caros. Durante el periodo vegetativo, cuando la planta baja su actividad, la uva necesita una acumulación de calor diario para que sus racimos maduren correctamente. [34]

La uva está constituida por un grupo de tejidos (pericarpio) que rodea y protege las semillas. El pericarpio se divide en exocarpo, mesocarpo y endocarpo (tejido que recubre el receptáculo de las semillas). El exocarpo comprende una región heterogénea formada hacia el exterior por una cutícula, recubierta de una capa cerosa o pruina, y hacia el interior por una epidermis (zona compuesta por 2 capas de células alargadas en posición tangencial) y una hipodermis (zona compuesta por 6 a 8 capas de células inicialmente rectangulares y luego poligonales) [20,34]

La pulpa es la parte más voluminosa de la baya y se compone de 25-30 capas de células poligonales grandes, de paredes celulares muy delgadas; y finalmente, las semillas están formadas desde el exterior hacia el interior por una cutícula, una epidermis, y 3 tegumentos que rodean el albumen y el embrión. [24,34]

Tabla 1.2.- Morfología de la uva

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Forma	Fruta carnosa que nace apiñada en largos racimos compuestos por varios granos redondos o alargados.
Tamaño	Los racimos que se comercializan se ajustan a unas normas de calidad que determinan el peso y el tamaño medio de los frutos; estos tendrán un diámetro medio de 1,6 centímetros.
Peso	Un peso de entre 200 y 350 gramos.
Color	La piel es verdosa, amarillenta, rojiza o purpúrea, dependiendo de las variedades.
Sabor	Tiene una pulpa jugosa y dulce.

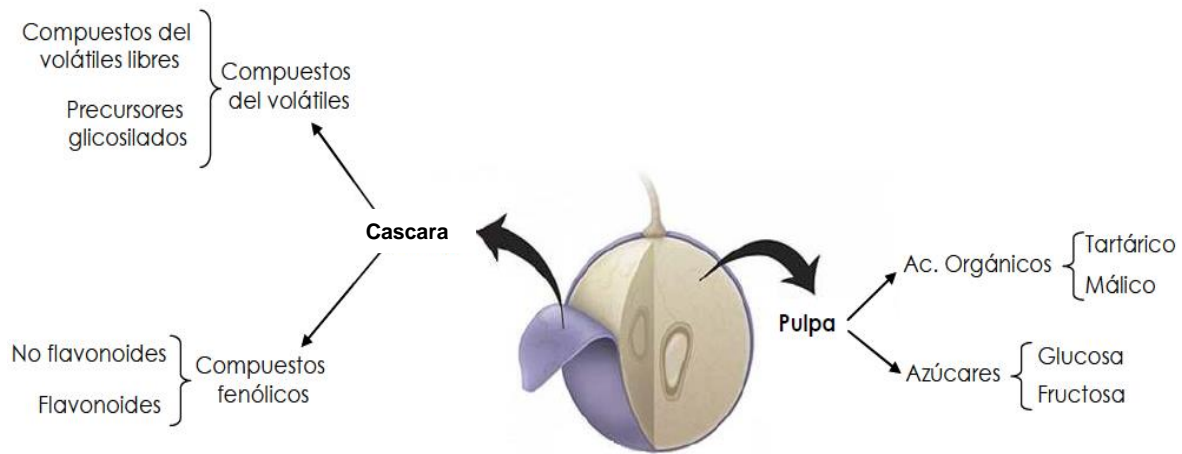


Figura 1.2.- Esquema de la composición de la uva.

De estas sustancias las más interesantes por sus propiedades son por un lado los compuestos orgánicos volátiles, por su influencia en el aroma y por otro, los compuestos fenólicos, porque son los causantes del color de los mostos y los vinos, así como la capacidad antioxidante, tema que en los últimos años genera gran interés.

Actualmente existen 60 variedades distintas de uva. Sin embargo, se clasifican generalmente en uvas de mesa (consumo fresco) y uvas para vino. Las cuales se determinan en la siguiente manera:

- Uva Parra
 Los racimos tienen forma alargada, alcanzan un peso promedio de 200gr, la longitud del racimo alcanza los 25 cm, haciéndose de este modo visible que el racimo es más largo que ancho. La uva parra mantiene un color blanco-amarillento. El peso de la baya oscila entre los 2 y 3gr



Figura 1.3.- Espécimen de uva parra en estado natural.

- Uva Rocial Cana

Es una uva con una protección de piel blanca, pero su textura original es color oscuro morado. Las uvas son racimos pequeños y redondas, la longitud del racimo alcanza los 19 cm., el peso del racimo alcanza los 300gr. Su sabor es muy suave y eventualmente llegan a ser insípidas.



Figura 1.4.- Espécimen de uva rocial cana en estado natural.

- Uva Teta de Vaca

Es una uva alargada de color verde claro, recibe el nombre por su parecido con dicha parte del animal; esta uva está en peligro de extinción. Sus racimos suelen ser alargados y sin muchas uvas, llega a pesar los 435gr. Es una uva poco reconocida, pero es la más llamativa por su forma elíptica, su sabor es un tanto acida.



Figura 1.5.- Espécimen de uva teta de vaca en estado natural.

- Uva Beba
Es una uva de color verde amarillenta con una piel que la cubre de color blanco, suele presentar algunas pecas marrones o rojizas. El tamaño del racimo es pequeño, alcanza los 17cm de largo, llega a pesar 170gr, es ligeramente alargada y pequeña.



Figura 1.6.- Espécimen de uva beba en estado natural.

- Uva Amprieta
Es una uva de color obscuro morado, la textura de la pulpa es dura. La longitud del racimo alcanza los 20cm, llegando a pesar 250gr. Los racimos suelen ser irregulares porque esta uva en especial no presenta características de continuidad en crecimiento, es decir, crece en un mismo racimo diferentes tamaños.



Figura 1.7.- Espécimen de uva amprieta en estado natural.

- Uva Flame Seedless
Uva de color rojo brillante, de forma esférica sin semilla, su sabor es muy dulce. El peso de sus racimos alcanza los 750 gr, la longitud de sus racimos alcanza los 27cm.



Figura 1.8.- Espécimen de uva flame seedless en estado natural.

- Uva Sagraone
Esta es una uva de color verde brillante, su sabor es dulce y un poco ácido. Sus racimos alcanzan los 25cm de largo y llegan a pesar 850gr. Las uvas son redondas siendo un poco ovaladas y largas.



Figura 1.9.- Espécimen de uva sagraone en estado natural.

- Uva Perlette
Uva de color verde brillante, de tamaño chico redondo, con sabor dulce, sus racimos normalmente son pequeños alcanzando los 15cm de largo y pesando 300gr. Es una uva sin semilla.



Figura 1.10.- Espécimen de uva perlette en estado natural.

- Uva Red Globe
Es grande y redonda, de ahí su nombre. Es de color rojizo oscuro. Sus racimos son largos alcanzando los 27cm, la uva es pesada por lo que sus racimos llegan a pesar 600gr.

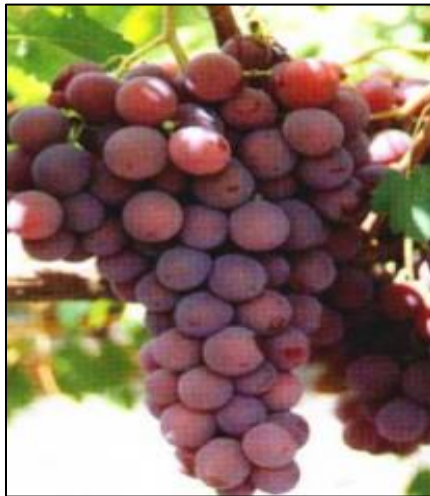


Figura 1.11.- Espécimen de uva red globe en estado natural.

1.1.4. Composición química y valor nutricional.

1.1.4.1 Uva (*Vitis vinifera*)

Los componentes químicos que conforman las bayas son principalmente agua, azúcares, elementos minerales, ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados, lípidos, sustancias odorantes y compuestos fenólicos.

La composición de la uva varía según se trate de uvas blancas o negras. En ambas destacan dos tipos de nutrientes: los azúcares, principalmente glucosa y fructosa, más abundantes en las uvas blancas y las vitaminas (ácido fólico y vitamina B6).

Tabla 2.1.- Composición química de la uva.

Composición nutricional de la uva.

Agua	80.5g
Calorías	71 cal
Grasas	0.58 g
Hidratos de carbono	17.7 g
Fibra	1 g
Proteína	0.66 g
Potasio	185mg
Fósforo	2 mg
Sodio	13 mg
Calcio	11 mg
Magnesio	3 mg
Hierro	0.26 mg
Zinc	0.05mg
Vitamina C	10.8 mg
Vitamina B1	0.092 mg
Vitamina B2	0.057 mg
Vitamina B6	0.110 mg
Vitamina A	73 IU
Vitamina E	0.700 mg
Folacina	4 mcg
Niacina	0.300mg

Su riqueza en azúcares, les convierte en una de las frutas más calóricas. Las uvas cultivadas en regiones frías suelen tener menos azúcares que las cultivadas en terrenos cálidos y secos. Entre los minerales, el potasio es el más abundante y se encuentra en mayor cantidad en la uva negra; mientras que el magnesio y el calcio están en cantidades moderadas y son más abundantes en la uva blanca.

Los compuestos fenólicos, abundantes en las uvas y responsables de su color y sabor, tales como antocianos, taninos y flavonoides, todos ellos con potente acción antioxidante. [8] Los antocianos son los pigmentos responsables del color de las uvas negras y rojas y están ausentes en las variedades blancas. Los taninos les confieren la sensación de astringencia a las uvas verdes. Dentro de los flavonoides, el resveratrol es el más reconocido. Está presente sobre todo en la piel de la uva negra y roja y tiene propiedades anti-fúngicas, es decir, impide el crecimiento de hongos en las uvas. [9]

En la mayoría de los cultivares de *Vitis vinifera*, el 95-99% de estos azúcares se presentan bajo la forma de hexosas, especialmente glucosa y fructosa, y el resto se compone fundamentalmente de sacarosa, y algunas pentosas (arabinosa, ramnosa, ribosa, xilosa, maltosa y rafinosa, entre otros). [10]

Tabla 2.2.- Composición general de la uva.

UVA	DESCRIPCIÓN
EN GENERAL	<ul style="list-style-type: none"> • Taninos (3%). Es la sustancia responsable del color, el gusto amargo, la astringencia, la capacidad de envejecer y el cuerpo del vino. • Materias minerales Ca y K (2-3%). • Agua (80%).
PIEL	<p>Materias colorantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Antocianatos (rojo). • Flavonoides (amarillo). • Aromas varietales: Propios de cada variedad de uva. • Sustancias pépticas: polisacáridos que a veces presentan problemas en la vinificación. • Taninos. • Enzimas.
PULPA	<ul style="list-style-type: none"> • Agua: 700-800 g/l. • Azúcares: 200-250 g/l. <ul style="list-style-type: none"> o glucosa : 50% o fructosa : 50% o pentosas < 2 g/l • La glucosa y la fructosa se transforman en alcohol. • De este azúcar formado cada 17 g/l da 1° de alcohol. • Sales minerales : 2-3 g/l (fosfatos, K, Na) • Sustancias nitrogenadas: 0.5-1 g/l (ácidos, péptidos, sales de amonio). • Ácidos libres: 2.5 g/l. • Ácidos combinados : 3-10 g/l • Acido L-tartárico, Ác. L-málico, Ác. cítrico y otros

1.1.5. Pimiento (*Capsicum annum*)

1.1.5.1. Generalidades del pimiento

El pimiento constituye uno de los primeros grupos de hortalizas domesticados por el hombre, encontrándose restos de *Capsicum* en las cuevas de Guitarrero y Pachamamay (Perú) datados entre 8600 y 8000 a.C., y en el valle del Tehuacaán (México), datados entre 6500 y 5500 a.C.

La representación más antigua que se conoce, de hortalizas como el pimiento, grabados sobre la piedra, datan de 800 a 1000 años d.C. Este hallazgo se realizó en los Andes, originario de la zona central de Sudamérica, donde el clima era idóneo para el crecimiento de esta hortaliza por ser templado y sub-tropical (Nuez et al., 1996). El pimiento tiene como nombre científico *Capsicum annum*, también conocido como chile dulce, pimentón, chile bell, chile morrón.

El género *Capsicum* se originó en Bolivia sud-central desde donde emigró a los Andes y a la Amazonia y que, en esta primera emigración, fueron definiéndose diversas especies, fruto de la adaptación a hábitats diversos. Los procesos de domesticación parecen que ocurrieron independientemente en varias áreas, tomando de partida diferentes especies silvestres.

Así *C. pubescens* y *C. baccatum* fueron domesticadas en Bolivia y *C. annum* en México y en la Amazonia. Parece que, a partir de variedades primitivas de *C. annum* evolucionaron *C. chinense*, en la Amazonia, y *C. frutescens* en México. [5]

Cuando Colón llega a España en 1493, en la parte que hoy corresponde a Haití, encontró una planta cultivada como especiería, que llamaban Axí, mucho mejor que la pimienta que se trae de Guinea o Alejandría. [5]

Fernández de Oviedo (1535) describe el pimiento como Axi (actualmente conocido como ají). Según Pedro Mártir (1530), el “Ají boniato” (es el morrón dulce), mientras que todos los demás son ajíes picantes que calificaba como “Caribes”, el Axi tiene la posibilidad de sustituir a la pimienta (*Piper nigrum* L.) procedente de oriente, y la facilidad de cultivo en las condiciones ecológicas, fueron las causas de su rápida expansión en España, a lo largo del siglo XVI.

Los portugueses, que ostentaban el consorcio de la pimienta, intentaron detener el comercio y sembrado del pimiento, al que veían como un serio competidor de esta hortaliza. Al convencerse de que no podrían frenar lo que ya se había iniciado crearon su propia producción de pimiento, a la que llamaron Pimienta de Pernambuco, que fue cultivada a gran escala con destino a la exportación. [5]

De la mano de los portugueses, el pimiento llega a la India y en 1542, se conocían ya tres tipos de pimiento en esa región.

Previamente, los lusitanos habían aclimatado la planta en sus posesiones africanas de Angola y Mozambique, donde cultivaron variedades picantes de *C. frutescens* y *C. chinense*. Desde España, el pimiento se difunde rápidamente por las posesiones españolas, o de la casa de Habsburgo en Europa.

Así llega a Italia en 1526 y desde allí, a los países de la antigua Yugoslavia, y a centroeuropa. Mediados del siglo XVI, los ingleses, posiblemente procedente de algún navío español apresado en acciones de piratería, lo introducen en Inglaterra.

Al extremo oriente, el pimiento llegó de la mano de los españoles, probablemente a través del llamado Galeón de Manila que comenzó su viaje anual a partir de 1565, transportando mercaderías diversas entre ellas las especias.

A finales del siglo XVI se cultivaba en Filipinas, China y Corea. Desde Filipinas, los comerciantes árabes e hindúes lo llevaron a Tailandia e Indonesia, unas décadas después, y posteriormente a las islas de la Sonda en el siglo XVII.

Cuando los españoles llegaron a América, el pimiento, en sus diversas variantes, se extendía por todo el centro y el sur del continente y fueron los propios españoles los que lo introdujeron en los estados sureños de los actuales Estados Unidos. Sin embargo, a principios del siglo XVII era rara su presencia en el centro y norte de Estados Unidos, y en el sur de Canadá, donde no llegó hasta mediados del siglo XVIII.

Y, por último, parece que fue el navegante y explorador inglés James Cook el que llevó las primeras semillas de pimiento a Australia y Nueva Zelanda a finales del siglo XVIII. [14]

El pimiento nace de un arbusto pequeño (alcanza los 50cm de alto), el cual necesita el sol y las condiciones climatológicas estrictas para poder desarrollarse. Existen entre 23 y 30 tipos diferentes de pimientos, los colores más comunes son: Rojo, Verde, Amarillo, Negro, Violeta, Anaranjado.

Para germinar su temperatura optima es entre los 25°C y los 35°C. Las temperaturas también afectan al pimiento dentro de su crecimiento, la temperatura optima diurna es entre 20°C y 25°C, la temperatura nocturna optima es entre 16°C y 18°C; Si la temperatura diurna desciende a menor de 15°C reducirá notoriamente el crecimiento de la hortaliza, en el mismo plano afecta que la temperatura nocturna baje hasta 10°C porque paraliza el crecimiento.

La humedad es un factor importante porque si sobre pasa de 50-70% afecta drásticamente al pimiento originando el desarrollo de enfermedades en las hojas de la hortaliza, si la humedad es más baja durante el verano con temperaturas altas, se produce la caída del fruto en la hortaliza.

El suelo deberá ser suelto y arenoso, no arcilloso, ni pesado. Las raíces se pueden ver afectas con los suelos arcillosos porque las compactarían en un solo lugar provocando con esto favorecer el desarrollo de hongos e inclusive la pudrición de las mismas. Existen diferentes tipos de tamaños los cuales se muestran en la figura siguiente.

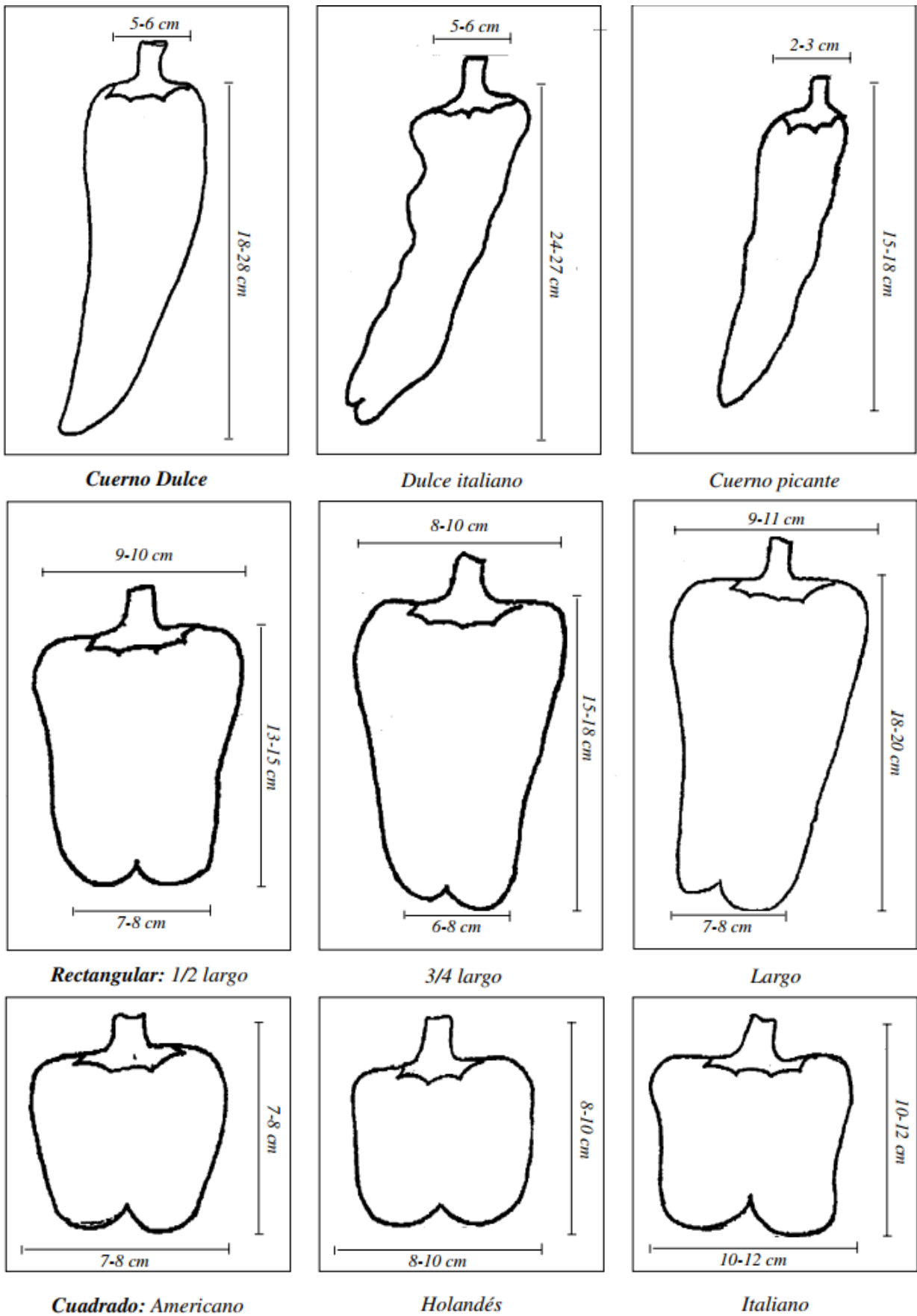










Figura 2.1 - Tipos de pimientos caracterizados por su tamaño.

En la tabla siguiente se puede mostrar la variabilidad genética del pimiento.

Tabla 2.3. - Variaciones de los pimientos.

Pimiento maravilla de california (rojo, amarillo, naranja)	
Pimiento Sitaki	
Pimiento de Reus	
Pimiento de Lamuya	
Pimiento Ñora de bola	
Pimiento de Guernica	
Pimiento dulce italiano	
Pimiento morrón morado	
Pimiento campana	

1.1.5.2. Importancia del Pimiento

Los usos del pimiento son básicamente tres; siendo el consumo en fresco el uso primordial, otro uso es la desecación para la preparación de pimentón o papikra, que se obtiene de la molienda de la cascara del pimiento. Un último uso es el cultivo y la fabricación de las variedades picantes del pimiento, los cuales son usados como especias.

Los pimientos destacan principalmente en el consumo humano, ya que se utiliza en una amplia variedad de comidas como especie o condimento. Aparte del consumo se utiliza en fresco, cocido o como un condimento o especia en comidas típicas de diversos países. Constituyen un ingrediente versátil, porque resulta ser muy nutritivo por ser una fuente importante de vitamina A, B1 y B2.

Es una hortaliza que se utiliza para combatir el resfriado, el asma, la bronquitis, las infecciones respiratorias, las infecciones gastro intestinales y el cáncer.

Los pimientos son ricos en fibra y tienen más vitamina C que las naranjas, contienen licopeno, el cual es primordial en el cuerpo humano por ser desintoxicante. Es igualmente importante esta vitamina para la adecuada absorción del hierro, del calcio o de otros aminoácidos.

De igual manera ayuda en la curación de las heridas. Su deficiencia provoca una debilidad general en el organismo, manifestada en síntomas como cabello frágil, encías que sangran, heridas que no cicatrizan, pérdida del apetito etc.

Es especialmente interesante comer este fruto en épocas de convalecencia, después de haber pasado alguna enfermedad porque ayuda a incrementar las defensas.

Estimula el apetito, especialmente los pimientos picantes, en ningún caso, debemos abusar de su consumo para evitar que, a la larga, nos produzcan una gastritis. [15]

La descripción botánica se realiza en base a las siguientes características: planta, sistema radicular, tallo principal, hoja, flor, fruto y semillas.

- Planta: Herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0,5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros en invernaderos. [16]



Figura 2.2.- Planta de pimiento.

- Sistema radicular: Tiene un sistema radicular pivotante y profundo, con un número elevado de raíces adventicias.

- Tallo principal: El tallo es de crecimiento limitado y erecto. “A partir de cierta altura (“cruz”) emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo; los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente”. [17]

- Hoja: La hoja es entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante (Cuellar, V. 2010). El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nervaduras secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto. [17].

•Flor: Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%. [17]



Figura 2.3. – Flor del pimiento.

•Fruto: El fruto es como baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos.

•Semillas: Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central (extensión del pedúnculo). Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 milímetros.

En la parte externa del pimiento se encuentra el tejido protector, el cual está compuesto por varias capas celulares llamadas epidermis. En la epidermis se encuentra una capa extracelular, llamada cutícula. La cutícula está formada por un complejo polímero de ácidos grasos hidroxilados llamados cutina.



Figura 2.4. – Parte interior del Pimiento Morrón

Los únicos pigmentos naturales que se encuentran en las plantas y en los animales son llamados Carotenos y Flavonoides.

Los carotenos son aquellos que emiten el color en las plantas. Los flavonoides son glúcidos formados por una aglucona, la cual es la responsable de la astringencia de diversos alimentos como él te, tiene la capacidad de Antioxidante [20,22].

Los carotenos y los flavonoides son importantes porque imparten el color naranja y rojo en el pimiento. El color verde del pimiento es debido a la clorofila. El color amarillo naranja del pimiento morrón es producido por la α y β -caroteno, luteína y β -criptoxantina. [22]

Se consideran tres grupos varietales en pimiento: Variedades para la obtención de pimentón, variedades de sabor picante y variedades dulces que a su vez se clasifican en California, Lamuyo e italiano [22]. A continuación, se citan sus características:

- Variedades para la obtención de pimentón: Son un subgrupo de las variedades dulces.
- Variedades de sabor picante: Muy cultivadas en Sudamérica, suelen ser variedades de fruto largo y delgado.
- Variedades dulces: Son las que se cultivan en los invernaderos y a campo abierto.

Estos frutos de gran tamaño para consumo en fresco e industria conservera, considerándose las siguientes variedades:

Tipo California: Frutos cortos (7 – 10 cm), anchos (6 – 9 cm), con tres o cuatro cascotes bien marcados, con el cáliz y la base del pedúnculo por debajo o a nivel de los hombros y de carne más o menos gruesa (3 – 7 mm). Son los cultivares más exigentes en temperatura.



Figura 2.5. – Pimiento California.

Tipo Lamuyo: Frutos de 13 - 15 cm de largo y 8 – 10 cm ancho, 3 – 4 lóculos. Los cultivares pertenecientes a este tipo suelen ser más vigorosos (de mayor porte y entrenudos más largos) y menos sensibles al frío que los de tipo California, por lo que es frecuente cultivarlos en ciclos más tardíos.



Figura 2.6. – Pimiento Lamuyo

Tipo Italiano: Frutos de 16 – 17 cm de longitud y 4 – 5 cm en la base, alargados, estrechos, acabados en punta, de carne fina, más tolerantes al frío, que se cultivan normalmente en ciclo único, con plantación tardía en septiembre u octubre y recolección entre diciembre y mayo, dando producciones de 6 - 7 kg/m². [23].



Figura 2.7. – Pimiento Italiano.

1.1.5.4. Morfología del Pimiento

La morfología del pimiento se determina por las condiciones del suelo, de fertilización, los cuidados dentro de su desarrollo, la adaptación de la planta a las condiciones climatológicas, etc. En la siguiente imagen se puede apreciar un breve ejemplo de morfología del pimiento.

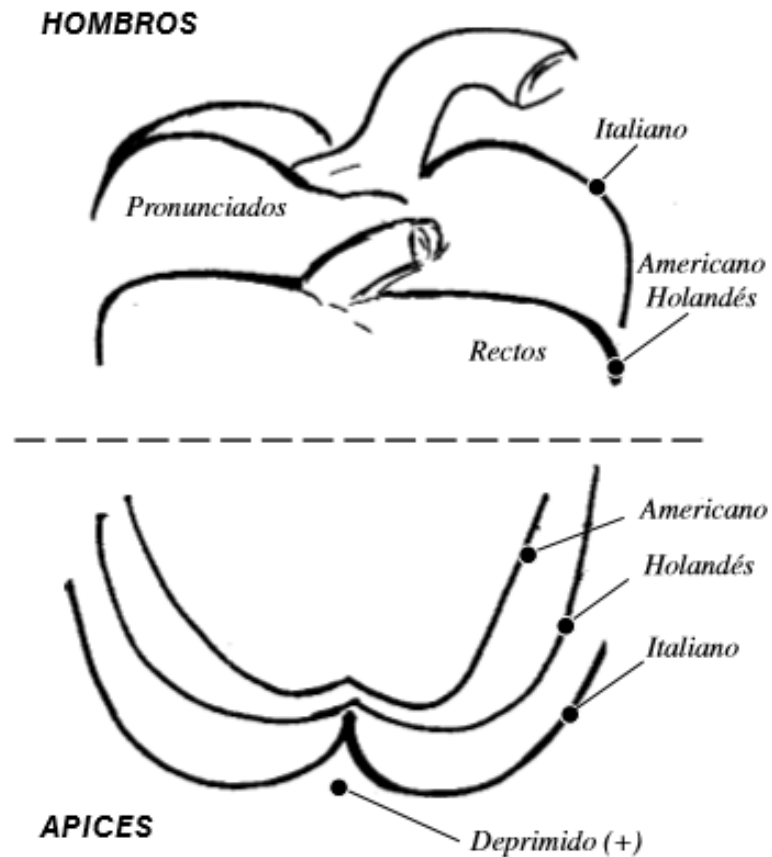


Figura 2.8. – Morfología de Pimientos.

1.1.5.5. Composición química y valor nutricional del pimiento

El principal componente del pimiento es el agua, seguido de los hidratos de carbono, lo que hace que sea una hortaliza con un bajo aporte calórico. Es una buena fuente de fibra y, al igual que el resto de verduras, su contenido proteico es muy bajo y apenas aporta grasas. [24]

La vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico.

Los folatos intervienen en la producción de glóbulos rojos y blancos, en la síntesis de material genético y en la formación de anticuerpos del sistema inmunológico. [24]

Entre los minerales, cabe destacar la presencia de potasio, en menor proporción están presentes el Magnesio, el Fósforo y el Calcio.

El calcio de los pimientos no se asimila apenas en relación con los lácteos u otros alimentos que se consideran muy buena fuente de este mineral.

El Potasio es necesario para la transmisión del impulso nervioso, la actividad muscular y regula el balance de agua dentro y fuera de la célula.

El Magnesio se relaciona con el funcionamiento del intestino, nervios y 12 músculos, forma parte de huesos y dientes, mejora la inmunidad y posee un suave efecto laxante.

El Fósforo juega un papel importante en la formación de huesos y dientes, al igual que el magnesio y el calcio. [24]

Los pimientos contienen vitamina C, la cual tiene efecto antioxidante que ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares, cáncer e hipertensión.

El ácido ascórbico ayuda a prevenir la oxidación en los pigmentos del alimento y evitar la pérdida de sus valores nutritivos. En el proceso de deshidratación el ácido ascórbico presenta una disminución, afectando con esto la calidad de vida para su almacenamiento y el cambio de color en el alimento.

Los pimientos más usuales alrededor del mundo son el Pimiento Verde y el Pimiento Rojo, en la tabla de abajo se puede apreciar el valor nutricional entre ambos morrones.

Tabla 2.4. – Información Nutricional comparativa de Pimientos Verdes y Pimientos Rojos.

	Rojos	Verdes		Rojos	Verdes
Hierro	0.37mg	0.49mg	VitaminaB6	0.28mg	0.27mg
Proteínas	1.25g	0.63g	VitaminaB7	0ug	0ug
Calcio	11.89mg	11.31mg	VitaminaB9	23.725ug	25.05ug
Fibra	1.50g	1.80g	VitaminaB12	0ug	0ug
Potasio	160mg	120mg	Vitamina D	0ug	0ug
Yodo	0.78mg	0.17mg	Vitamina E	0.80mg	0.87mg
Zinc	0.14mg	0.12mg	Vitamina K	17ug	11ug
Carbohidratos	4.20g	1.60mg	Vitamina C	138.73mg	107.19mg
Magnesio	12.82mg	10.51mg	Fósforo	22mg	19mg
Sodio	4mg	4mg	Colesterol	0mg	0mg
Vitamina A	539.3ug	32.8ug	Grasa	0.90g	0.80g
Vitamina B1	0.04mg	0.01mg	Azúcar	4.20g	1.53g
Vitamina B2	0.03mg	0.02mg	Purinas	0mg	55mg
Vitamina B3	1.10mg	0.23mg	Calorías	32.9kcal	19.68kcal
Vitamina B5	0.08ug	0.06ug			

En la siguiente tabla se puede mostrar el contenido nutricional del pimiento

Tabla 2.5 – Valor nutricional del pimiento

ELEMENTO	CANTIDAD
Agua	92.00%
Materia Seca	8.00%
Energía	26.00kcal
Proteína	1.30g
Fibra	1.40g
Calcio	12.00mg
Hierro	0.90mg
Carotenos	1.80mg
Tiamina	0.07mg
Riboflavina	0.08mg
Niacina	0.80mg
Vitamina C	103.00mg
Valor Nutritivo medio (ANV)	6.61
ANV por 100g de materia seca	82.60

1.1.6. Técnicas de conservación.

El deterioro de la calidad de los alimentos es debido a que se trata de un medio muy proclive a que tenga lugar crecimiento microbiano, así como reacciones de degradación. Para evitar que esto ocurra y así alargar la vida de los alimentos o material biológico, se utilizan métodos de control del pH (en medios más ácidos es menos probable el crecimiento), la temperatura (que desnaturaliza las estructuras microbianas), etc., para lo que se han desarrollado diferentes técnicas de conservación, entre ellas destacan:

Dentro de los procesos de industrialización más comunes en alimentos está el proceso de secado mediante aire caliente, el mismo que cubre la necesidad de poder consumir alimentos que en cierta época del año no se cosechan o producen y que por su composición química y microbiológica no tienen una vida útil prolongada. [25].

Otra forma de secado de alimentos es mediante el uso de microondas. Estas se han propuesto como alternativa al secado por aire caliente por su fácil control y por la elevada velocidad de calentamiento, además de que no provoca cambios en la superficie del alimento. Hay estudios que apuntan ventajas de la aplicación de microondas frente al secado por aire caliente desde el punto de vista de una mejor retención de fenoles totales, catequinas, vitamina C, carotenos totales y licopeno, por ejemplo. También, en algunos trabajos se indica que los productos tratados por microondas mantienen mejor color, brillo, aroma y sabor. [26,27]

Por otra parte, como tecnología que no requiera la aplicación de temperaturas altas para la mejor preservación de los compuestos bioactivos mencionados anteriormente y que son tan deseables en este tipo de productos, podemos hablar de la liofilización. Esta se introdujo inicialmente a gran escala en la década de 1940 para la producción de plasma seco y productos de sangre. Este proceso de conservación mediante sublimación como lo indica Ramírez-Navas, es utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termo-sensibles. Combina mediante vacío métodos fiables como la congelación y la deshidratación. Sin conservantes o productos químicos es uno de los procesos más adecuados ya que mayoritariamente las propiedades del alimento no se alteran y es rehidratado fácilmente [28].

1.2 Deshidratación de alimentos.

La deshidratación ha sido desde los tiempos más remotos, un medio de conservación de los alimentos. Su aplicación en la forma más sencilla se aprendió sin duda mediante la observación de la naturaleza.

La conservación es el motivo principal, aunque no el único, por el que se deshidratan los alimentos. Aparte de los fines de conservación, la deshidratación de alimentos determina una reducción del peso y normalmente también del volumen, por unidad de valor alimenticio. Estas reducciones de peso y volumen pueden resultar en ahorros en el costo del transporte y de los envases. Algunos procesos de deshidratación se escogen a fin de conservar el tamaño y la forma del alimento original.

La deshidratación siempre conlleva pérdidas en los aromas y otras características de los alimentos, lo que afecta a la calidad del producto deshidratado; sin embargo, en el caso de la liofilización, a diferencia de la mayoría de los métodos de secado más habituales, la deshidratación se realiza a partir del alimento congelado y el aporte de calor es mínimo, lo que minimiza los riesgos de deterioro.

La transformación durante la congelación de las disoluciones acuosas en cristales de hielo evita el encogimiento del alimento dando lugar, al finalizar el secado, a estructuras esponjosas que permiten una fácil rehidratación. Esta estructura se consigue porque los cristales de hielo adquieren formas de aguja que al sublimar dejan huecos que además provocan que la densidad de los productos finales sea baja. Sin embargo, esta situación también origina que los alimentos liofilizados presenten una higroscopicidad elevada, ya que cuando el agua está presente se establecen enlaces de hidrogeno con los solutos que al sublimar quedan vacantes, por lo que serán muy susceptibles de captar moléculas de agua durante el almacenamiento. [29]

Los alimentos líquidos azucarados deshidratados son por lo general amorfos siendo estables a temperaturas inferiores a su temperatura de transición vítrea; si el secado se ha realizado con la utilización de aditivos de elevado peso molecular, podrán ser estables a temperatura ambiente. Sin embargo, a medida que vayan captando agua, siendo esta el plastificante natural más importante, la temperatura de transición vítrea disminuirá provocando la inestabilidad del alimento.

No obstante, al ser por lo general estos alimentos higroscopicos, el aumento de humedad y actividad de agua genera una disminución de la viscosidad aumentando los movimientos moleculares, lo que debilita estas interacciones permitiendo la liberación de compuestos del aroma, degradación de nutrientes, etc. Por otro lado, esta menor viscosidad permitirá la incorporación de un mayor número de moléculas de agua, hasta llegar a la cristalización de azúcares [30].

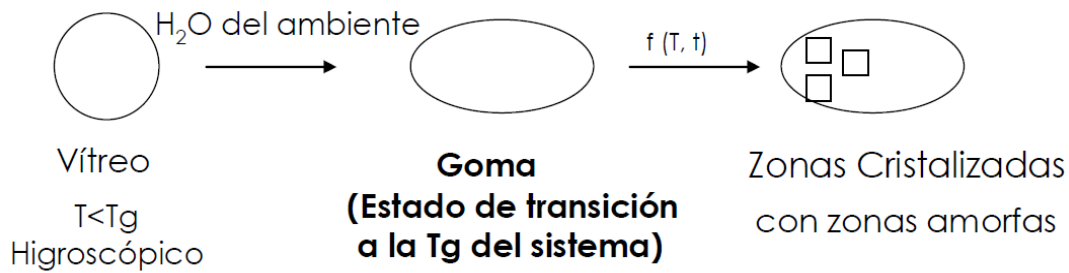


Figura 2.9.- Cambios físicos desde el estado amorfo pasando por goma hasta cristalino (adaptado y modificado).

La cristalización de los azúcares puede ocurrir cuando su concentración es elevada y son posibles los movimientos rotacionales y translacionales que les permita organizarse generando una estructura cristalina. Cuando se produce la cristalización de azúcares se eliminan sustancias del sólido amorfo, entre ellas los compuestos volátiles. Por otro lado, durante la cristalización el agua del alimento no puede acomodarse lo que incrementa aún más el valor de la actividad del agua del alimento aumentando los movimientos moleculares pudiéndose generar reacciones de degradación y crecimiento microbiano. Por ello para mantener las características de aquellos alimentos deshidratados estables a temperatura ambiente, es necesario evitar la absorción de agua por parte del sólido amorfo para que así no disminuya su transición vítrea provocando que adquiera el estado de goma [31,32,33].

Capítulo 2.- Liofilización.

La liofilización es el proceso de deshidratación por congelación y sublimación; el contenido líquido natural de los sistemas biológicos se congela y se elimina en forma de vapor, bajo condiciones cuidadosamente controladas de presión y temperatura, para dejar una estructura que revierta el estado previo por adición de agua; si se aplica a sustancias lábiles como alimentos, permite la conservación a la temperatura ambiente durante largos periodos, adecuadamente protegidos del agua, luz y oxígeno. Su aspecto, palatabilidad y valor nutritivo tras la reconstitución, sobreviven al almacenamiento mucho más que si los alimentos se someten a otro tipo de deshidratación, puesto que presenta diferencias muy notables tal como se muestra en la tabla 3. No debe confundirse con la deshidratación a vacío de los líquidos que produce evidentes alteraciones de tipo físico y químico. [34]

Tabla 2.6. Comparación entre deshidratación convencional y liofilización.

Deshidratación convencional	Liofilización
Eficaz, si se trata de alimentos fácilmente deshidratables (verduras y granos)	Es un sistema eficaz para la mayor parte de los alimentos, pero generalmente sólo se emplea cuando los otros métodos resultan ineficaces
Inadecuado para la carne	Eficaz con carnes crudas o cocinadas
Rango de temperatura 37-93°C	Temperaturas inferiores a las del punto de congelación
Presión atmosférica	Generalmente se realiza a presiones inferiores a la atmosférica (27-133 Pa) aunque el proceso se ha modificado para realizarlo a presión atmosférica.
Evaporación del agua desde la superficie del alimento	El agua se sublima desde el frente de hielo
Migración de los solutos y en algunas ocasiones acorchado	Migración de solutos mínima
El estrés que se genera en alimentos sólidos provoca daños estructurales y retracción	Cambios estructurales y retracción mínimos
Rehidratación lenta e incompleta	Rápida y completa rehidratación
Las partículas sólidas o porosas son a veces más pesadas que el alimento original	Las partículas de material deshidratado poseen menos densidad que el alimento original
Frecuentes olores y aromas anormales	Olores y aroma generalmente normales
El color es generalmente más oscuro	Color generalmente normal
Se pierde valor nutritivo	Pérdidas de nutrientes mínimas
Más barato	Hasta 4 veces más caro que la deshidratación convencional

Se define la liofilización como un proceso de estabilización en el cual el material primero se congela y se concentra el solvente, comúnmente agua, reduciéndolo mediante sublimación y desorción a niveles que no sostendrán más el crecimiento biológico o las reacciones químicas.

Orrego definió la liofilización como un proceso de secado mediante sublimación que se ha desarrollado con el fin de reducir la pérdida de los compuestos responsables del sabor y aroma de los alimentos, los cuales se afectan en gran medida durante los procesos convencionales de secado.

La liofilización es un proceso que se aplica en tres grandes categorías de productos biológicos:

- (1) Materiales no vivientes tales como plasma sanguíneo, suero, soluciones, hormonas y productos farmacéuticos.
- (2) Trasplantes quirúrgicos de especies tales como piel, arterias y huesos.
- (3) Células vivas destinadas a permanecer en ese estado por largos periodos de tiempo tales como bacterias, levaduras y virus, además de los alimentos, pero no células de mamíferos.

El proceso es también llamado criodesecación porque consiste primero en congelar un producto húmedo y luego en vaporizar directamente el hielo a baja presión. [35]

2.1.1. Ventajas de la liofilización.

Conserva la mayor parte de la calidad dietética y organoléptica de los alimentos.

- Permite la rehidratación instantánea sin necesidad de cocción.
- Genera un reducido peso, diez veces menor al peso inicial.
- Es una técnica de conservación que no necesita aditivos.
- Genera productos más estables con una larga vida de anaquel.
- Los productos son duraderos en un rango muy amplio de temperaturas, lo que elimina la necesidad de contar con sistemas complicados de cadena de distribución en frío.
- El peso reducido y la facilidad en el manejo reduce notablemente los costos de embarque.

Aseguran la conservación de una calidad excelente en una amplia variedad de productos como vegetales, frutas de climas templados y tropicales, pescados, carnes, comidas preparadas, café, esencias saborizantes y varios otros productos.

- Se mantiene el sabor original, las proteínas y las vitaminas.
- Sus productos mantendrán su forma, color y texturas originales y la rehidratación es rápida e íntegra.

- Detiene el crecimiento de microorganismos (hongos, moho, etc.), inhibe el deterioro de sabor y color por reacción químicas, enranciamiento y pérdida de propiedades fisiológicas; y facilita el almacenamiento y la distribución.
- Se obtienen productos de redisolución rápida.
- La forma y características del producto final son esencialmente las originales.
- Es un proceso idóneo para sustancias termolábiles.
- Genera una pérdida mínima de constituyentes volátiles.
- Logra un contenido muy bajo de humedad final.
- Es compatible con la elaboración en medio aséptica.
- Los constituyentes oxidables están protegidos.

Todas estas particularidades pueden resumirse en: una estabilidad óptima, una solubilidad fácil, rápida y completa; una conservación ilimitada; una buena protección contra las influencias externas nocivas y una rápida disponibilidad de uso. [36]

2.1.2. Aplicaciones de la liofilización.

Son distintas las aplicaciones que tiene la liofilización, especialmente en el campo de los alimentos ya que aquí su principal aporte es el de alargar el tiempo de vida útil y facilitar la transportación de estos.

La comida para montañistas, para las misiones espaciales, las raciones de campaña de los ejércitos son unos de los pocos ejemplos que se puede ilustrar, en donde la eliminación del peso tiene una importancia representativa.

Además, empresas reconocidas mundialmente requieren productos liofilizados que son más fácilmente aplicables a las formulaciones, como es el caso de productos como las sopas instantáneas, gelatinas con pulpa, computas para niños, yogures con fruta, y demás bebidas lácteas entre muchos otros productos.

Distintas e importantes aplicaciones se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 2.7.- Aplicaciones de la liofilización en la industria alimentaria.

SECTORES	PRODUCTOS LIOFILIZADOS
Cárnicos	Carne bovina, carne aviar, carne porcina.
Frutas	Frutilla, banana, moras, frambuesas.
Vegetales	Espárrago, choclo, zanahoria, brócoli, apio, papa, hongos, aceituna, espinaca, arroz, arveja.
Quesos	Prato, mozzarella, provolone, blanco.
Otros	Café, sopas, levaduras, caldos, salsas, especias, champiñones.

2.1.3. Desarrollo histórico.

El frío es utilizado desde tiempos inmemoriales para la conservación de alimentos. Doscientos años a. C. los incas desarrollaron un proceso rudimentario de liofilización, con el fin de obtener comida hipercalórica, ultraliviana e imputrescible para sus tropas militares. Aprovechando las nieves andinas se congelaban papas y carne de llama debido a las frías temperaturas de la montaña durante la noche, y se descongelaban en el día para extraer el agua por la baja presión atmosférica (4,500 metros sobre el nivel del mar). El proceso se repetía hasta obtener un producto estable de baja humedad.

La técnica también fue empleada por los vikingos, aprovechando las bajas temperaturas en el invierno, pero con montañas más bajas y sol más oblicuo, liofilizaron arenque con menos perfección. [36]

En 1904 físicos franceses desarrollaron una tecnología llamada crio-deseccación en razón de su fase inicial de congelación y posterior deshidratación del producto. Sin saberlo, ellos estaban dando inicio a la liofilización. La conservación de bacterias, virus u otros microorganismos fueron su primera aplicación. Éste proviene de los términos griegos *luen* o solvente y *phineo* o amigo.

Los trabajos de secado realizados a bajas temperaturas antes de 1905, no incluían el uso de vacío, ya que las bombas de vacío mecánicas no estaban disponibles en aquellas épocas, fueron Benedict y Manning quienes la introdujeron en el proceso de crio-deseccación, ellos informaron del secado de materiales provenientes de animales en un equipo con una bomba química de vacío, que trabajaba desplazando el aire de la cámara mediante la evaporación de éter etilo, posteriormente se conectaba la cámara de secado a una vasija que contenía ácido sulfúrico concentrado, así que al disolverse el éter etilo en el ácido se producía en el sistema una presión sub-atmosférica. Reportan que esta técnica no fue muy eficiente para pruebas con gelatina, tomándoles 2 semanas para reducir su contenido de humedad hasta 20% en peso. Fue Shackell en 1909 quien agregó una bomba mecánica de vacío a un equipo de secado similar al mencionado, reduciendo la presión por debajo de 133 Pa en pocos minutos. Usó una trampa de ácido sulfúrico para los vapores condensados antes de que entraran a la trampa de vacío. Su sistema estaba compuesto de una cámara de secado, una trampa de vapor de agua y el sistema de vacío; esencialmente los componentes principales de los equipos actuales de liofilización. Fue el primero en trabajar con alimentos, demostrando que las carnes, frutas y vegetales podían ser secados mientras estuvieran congelados. [36]

Aunque Flosdorf y Mudd introdujeron el término, no fue reconocido formalmente sino hasta 1934 cuando Alexander Fleming lo propuso. A finales de la década de 1930 resultó significativa la producción a gran escala de liofilizados. A través de toda la Segunda Guerra Mundial y en la posguerra, la fabricación de plasma de sangre seco, fue quizá el primer uso real de la tecnología de liofilización como un proceso productivo comercial.

Entre 1935 y 1940 Folsdorf y Mudd mejoraron el proceso de secado mediante liofilización, empleando fármacos y tejido animal, definieron las mejores condiciones de proceso para plasma sanguíneo y antibióticos, liofilizar a gran escala penicilina. Sus mejoras rigen el proceso de liofilización actual.

Desde 1958 se aplicó al sector alimentario, y por ser una técnica costosa se enfocó a pocos alimentos: leche, sopas, huevos, levaduras, zumos de frutas y café, aunque actualmente son más de 400 los alimentos que se liofilizan. En 1965 Cuper realizó un estudio de la aplicación de la tecnología de liofilización a los alimentos, llegando a la conclusión de su trascendental importancia estratégica con alta probabilidad de aplicación en carnes, frutos de mar, hortalizas, infusiones, etc. Respecto a la liofilización a presión atmosférica, en 1959 Meryman demostró la posibilidad de secar productos congelados sin necesidad de vacío. Estableció que el gradiente de presiones de vapor es el que facilita el paso del agua entre el frente de secado y la zona seca. Heldman, en 1974, en base a pruebas experimentales de liofilización a presión atmosférica y al desarrollo de un modelo matemático, concluyó que la principal limitante económico se debe a su baja velocidad de secado, controlada por la difusión molecular de vapor de agua en la estructura seca del producto y mostró que el mayor potencial para hacer practicable el secado por congelación a presión atmosférica es la aproximación a lechos fluidizados. Alvarado, en 1979 aplicó los principios de liofilización atmosférica a diferentes variedades de papa con el fin de realizar ensayos de almacenamiento (de 10 a 15°C durante periodos de 5 a 7 días, de 4.4°C para periodos de 4 a 5 meses) observó que temperaturas menores no son necesarias y resultan contradictorias en el almacenaje, concluyó que la liofilización atmosférica es una alternativa a la liofilización tradicional, conservando sus características y propiedades nutricionales.

En 1980 Kelly diseñó un sistema de alto vacío a bajo costo, mejoró la cámara de sublimación, el aislamiento de ésta y el cierre de su puerta, aunque no reportó información sobre la eficiencia del nuevo diseño. [36]

A partir de 1990, se han realizado numerosos estudios de liofilización, en los cuales se observa el comportamiento del alimento y sus componentes incluso antes de la operación misma, siendo el método de deshidratación que da lugar a productos alimenticios de más alta calidad que con cualquier otro, además de que previene el daño térmico, los volátiles diferentes al agua son retenidos, el producto se reconstituye y el encogimiento es despreciable. Sin embargo, el secado por congelación es una forma de deshidratación de alimentos bastante costosa, debido a la velocidad lenta de secado y a la necesidad de usar vacío. Una de las causas de éste elevado costo es la longevidad del producto procesado. En efecto, la baja presión del proceso y la débil conductividad de los productos liofilizados (debido a la textura porosa) afectan de manera significativa y negativa la transferencia de calor y de masa y por consecuencia la duración de la operación de deshidratación.

En la actualidad, varios estudios a escala laboratorio y escala planta piloto se realizan con el fin de obtener una mejor comprensión de los detalles de liofilización. [36]

2.1.4. Teoría de liofilización.

El principio en que se basa la liofilización es que, en ciertas condiciones de baja presión de vapor, el agua se evapora del hielo sin que éste se derrita. Cuando un material que puede existir como sólido, líquido y gas pasa directamente del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por la fase líquida, se dice que el material se sublima. El agua congelada se sublima si la temperatura está a 0°C o menos y se coloca en una cámara de vacío con una presión de 610.5 Pa o menos, como se observa en la figura 5 que representa el diagrama de fases del agua. Bajo estas condiciones, el agua permanece congelada y la rapidez con que las moléculas de agua salen del bloque de hielo es mayor que la de las moléculas del ambiente que vuelven a incorporarse al bloque congelado. [37]

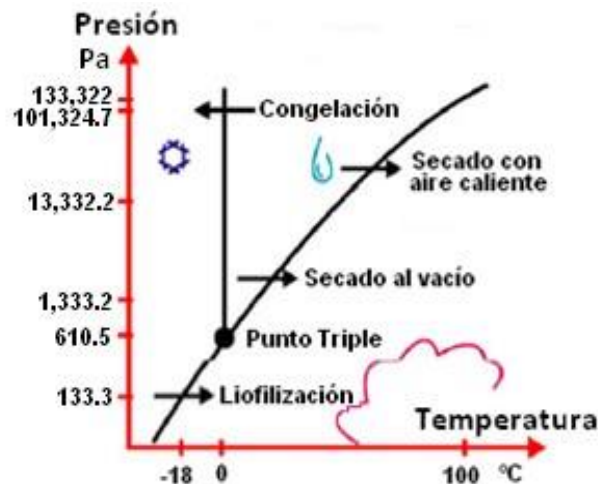


Figura 2.10.- Diagrama de fases del agua.

Los materiales procesados por liofilización son normalmente mezclas complejas de agua y sustancias diversas. Por enfriamiento de dichos materiales a una temperatura inferior de 0°C, se produce la separación de cristales de hielo y eventualmente la masa entera se vuelve rígida debido a la formación de cristales eutécticos. La mayoría de los productos alimenticios y biológicos solidifican completamente a una temperatura en el rango de -15 a -73°C. Cuando solidifica la masa entera, toda el agua libre se ha transformado en hielo, sólo una pequeña cantidad del agua original, el agua ligada, permanece fija en la estructura interna del material. Esta operación se ha mostrado como un método efectivo para ampliar la vida media de los alimentos, y tiene dos características importantes:

1.- Ausencia de aire durante el procesado: la ausencia de aire y la baja temperatura previene el deterioro debido a la oxidación o las modificaciones del producto.

2.-Secado a una temperatura inferior al ambiente: los productos que se descomponen o sufren cambios en su estructura, textura, apariencia, y/o aromas, como consecuencia de temperaturas altas, pueden secarse bajo vacío con un daño mínimo.

Cuando va a liofilizarse un material húmedo se efectúan tres operaciones básicas que se observan en la figura:

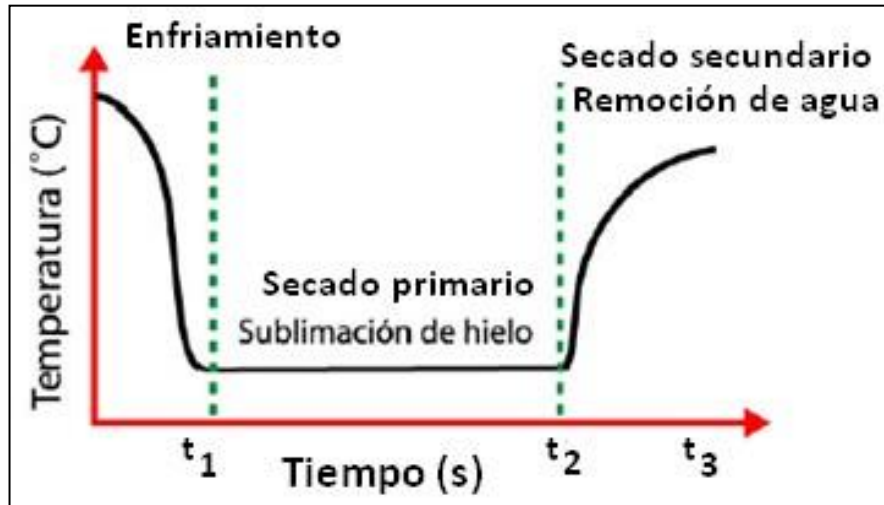


Figura 2.11.- Etapas de la liofilización.

Estas operaciones comprenden muchos procesos fundamentales que ocurren simultáneamente y las condiciones que gobiernan la velocidad en cada proceso deben optimizarse para un producto específico a fin de obtener una velocidad de secado satisfactoria.

Inicialmente, mediante la congelación, se separa el agua de los componentes hidratados del producto mediante la formación de cristales de hielo o mezclas eutécticas. Subsiguientemente, al sublimar estos cristales, se elimina el agua del seno del producto. Cuando se ha eliminado todo el hielo, los sólidos remanentes todavía tendrán una pequeña cantidad de agua absorbida en el interior de la estructura de sus componentes. Esta agua residual puede eliminarse por evaporación en el equipo de liofilización, cosa que normalmente se hace elevando la temperatura del producto. [39]

2.2.- Congelación.

La congelación es una fase muy importante de la deshidratación por liofilización ya que debe establecer una estructura que permita la difusión del agua sin modificar las propiedades de los alimentos, lo que resultara más eficaz si el agua congelada queda independiente de los solutos. La congelación de los alimentos tisulares puede realizarse de forma rápida puesto que sus partes solidas no dificultan la separación del agua durante la congelación, con lo que una congelación rápida permitirá la formación de cristales pequeños que podrán difundir a través de los tejidos. Sin embargo, en los alimentos líquidos el comportamiento no es el mismo, siendo la congelación lenta la que consigue la máxima crioconcentración (concentración de los solutos durante el enfriamiento), de manera que pueda obtenerse una estructura en la que por un lado se acumulen cristales de hielo y por otro se forme una estructura amorfa (principalmente si la composición contiene azúcares de bajo peso molecular) con mínima cantidad de agua no congelada. [40]

La congelación es aquella operación unitaria en la que la temperatura del alimento se reduce por debajo de su punto de congelación, con lo que una proporción elevada del agua que contiene cambia de estado formando cristales de hielo. Cuando la congelación y el almacenamiento se realizan adecuadamente, las características organolépticas y el valor nutritivo de los alimentos apenas si resultan afectados.

La temperatura de congelación del agua pura es 0°C, por lo que, si se parte de agua a una temperatura superior, inicialmente existe un descenso por debajo de 0°C.

Sin embargo, la temperatura no se mantiene si no que existe un pequeño descenso combinado debido a que el agua se transforma en hielo, y el agua no congelada se va concentrando en los sólidos solubles que contiene el alimento. Llega un momento que puede empezar la cristalización de alguno de los solutos, y se libera el calor de cristalización, aumentando de esta forma la temperatura.

El punto de congelación de un alimento es aquella temperatura en la que coexisten, en equilibrio, el agua y pequeños cristales de hielo. Sin embargo, para que un cristal de hielo pueda formarse debe primero existir un núcleo de moléculas de agua, es decir debe producirse primero la nucleación. Existen dos tipos de nucleación:

- (1) Nucleación homogénea. La orientación al azar de moléculas de agua.
- (2) Nucleación heterogénea: Formación del núcleo sobre partículas en suspensión o sobre la pared celular.

La nucleación más común en los alimentos es la heterogénea que se produce en el sobreenfriamiento. [35]

En el punto S, en el que el agua se halla a una temperatura inferior al punto de congelación, ésta se encuentra todavía en estado líquido. A este fenómeno se le conoce como sub-enfriamiento. El sub-enfriamiento puede producirse hasta 10°C por debajo del punto de congelación.

S-B. La temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación, ya que al formarse los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que éste se extrae del alimento.

B-C. El calor se elimina a la misma velocidad que en las fases anteriores. Se elimina el calor latente y se forma el hielo, pero la temperatura permanece casi constante. El incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provoca un descenso en el punto de congelación y la temperatura desciende ligeramente. Es en esta fase en la que se forma la mayor parte de hielo.

C-D. Uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. La liberación del calor latente de cristalización provoca un aumento de la temperatura hasta la temperatura eutéctica del soluto.

D-E. La cristalización de agua y solutos continúa. El tiempo total t_{fr} (meseta de congelación) se haya determinado por la velocidad a la que el calor se extrae.

E-F. La temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende hasta alcanzar la del congelador.

La proporción de agua no congelada, a las temperaturas de congelación utilizadas comercialmente, depende de la composición del alimento y de la temperatura de almacenamiento.

En la figura 2.13 se muestra el diagrama de estado que explica la ruta de congelación y secado que puede seguir un alimento formado únicamente por dos componentes. Inicialmente el alimento se encuentra a una temperatura A que con la eliminación de calor se desplaza hasta el punto B correspondiendo este con el punto de congelación inicial de la muestra. Debido a que la nucleación (comienzo de cambio de estado en el que empiezan a aparecer cristales de hielo) no es sencilla, es necesario un sobre enfriamiento de la muestra, lo que le sitúa en el punto C. En este momento, con la formación rápida de cristales de hielo, se libera calor latente que eleva la temperatura de la muestra situándola en el punto D. La formación adicional de hielo provoca cambios tales como una mayor concentración de los solutos (fracción no congelada), ya que la mayor parte del agua está quedando transformada en hielo, por otro lado, baja la temperatura eutéctica TE (Temperatura más alta a la que la cristalización máxima puede ocurrir pero que en el caso de las estructuras amorfas no ocurre), y además se altera la composición de

los solutos, pudiendo cambiar el pH, la capacidad oxidoreductora, viscosidad, etc. Todos estos cambios se generan en la ruta TE-E.

En un alimento complejo la TE se considera la temperatura eutéctica máxima de producto en su punto eutéctico más alto (la TE no se alcanza hasta la saturación del último soluto soluble).

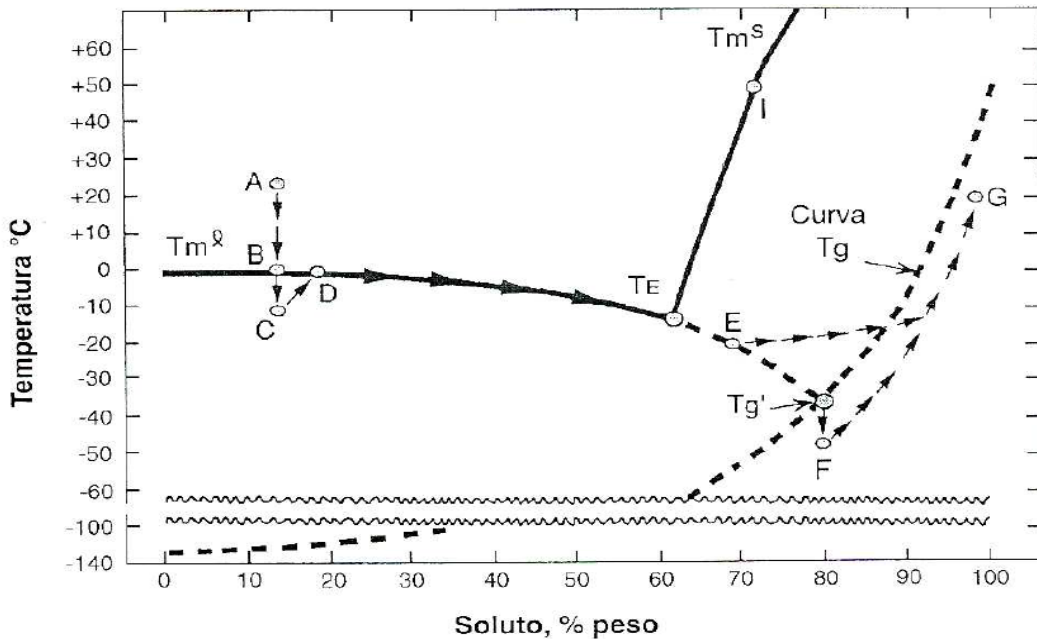


Figura 2.13.- Diagrama de estado de congelación.

2.2.1. Velocidad de congelación

La congelación de los alimentos puede realizarse de distintos modos, y dependiendo de ello, la calidad del alimento congelado variará. Así, si la congelación es instantánea se logra que existan muchos puntos del alimento donde empieza la formación de hielo; es decir, existe una gran nucleación, y los cristales de hielo que se forman son de pequeño tamaño, por lo que los tejidos del alimento quedarán poco afectados. Por el contrario, si la congelación es lenta existe poca nucleación y los pocos cristales de hielo formados irán creciendo con el tiempo. Esto acarrea el que se formen cristales de gran tamaño que pueden afectar la calidad final del producto congelado. [34]

Las moléculas de agua se desplazan preferentemente hacia los núcleos ya existentes, formando nuevos núcleos. La congelación rápida da lugar, por tanto, a la formación de un gran número de cristales de hielo. Sin embargo, en distintos tipos de alimentos se pueden encontrar cristales de hielo de tamaños muy variables.

Durante la mayor parte de la meseta de congelación la formación de cristales de hielo está controlada por la velocidad de transferencia de calor.

La velocidad de transferencia de masa (de las moléculas de agua hacia los cristales de hielo en crecimiento y de los solutos, apartándose de ellas) no controlan la velocidad de crecimiento de los cristales, excepto hacia el final del periodo de congelación, en el que los solutos se hallan más concentrados. Por tanto, el tiempo que tarda un alimento en atravesar la zona crítica determina tanto el número como el tamaño de los cristales.

En una pieza o paquete de alimento se encuentra un punto que será el que se enfríe más lentamente. Este punto se conoce como centro térmico y es el que se utiliza usualmente para medir la historia térmica durante la congelación. La temperatura más elevada a la que los cristales de hielo tienen una existencia estable en un producto alimenticio se denomina convencionalmente “punto de congelación” y la formación de los primeros cristales de hielo en la superficie del objeto sometido a congelación puede utilizarse para señalar el inicio del tiempo de congelación.

En condiciones de equilibrio y con temperaturas inmediatamente por debajo del punto de congelación siempre queda una cierta fracción de agua en estado líquido. Esta fracción se hace menor a medida que desciende la temperatura y pueden separarse mezclas eutécticas del líquido sin congelar e incluso a temperaturas comparativamente reducidas aún existe agua sin congelar. [25]

En la congelación rápida se forman cristales de hielo diminutos. Sin embargo, la congelación rápida o instantánea también reduce los efectos de concentración al disminuir el tiempo en que los solutos concentrados permanecerán en contacto con los tejidos de los alimentos, los coloides y los componentes individuales, durante la transición del estado original al estado de congelación total. Por estas razones especialmente, todos los métodos modernos de congelación y todos los aparatos de congelación son diseñados para lograr la congelación rápida ya que la calidad superior que resulta puede justificar el costo. En cuanto a las velocidades de congelación se puede decir que generalmente cuanto más rápida sea la congelación, mayor será la calidad del producto. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, las velocidades de congelación que equivalen a 1.25 cm por hora aproximadamente son satisfactorias para la mayoría de los productos y son fáciles de lograr con el equipo comercial. [27]

La velocidad de congelación de los alimentos se puede expresar generalmente en términos de dos factores variables, a saber, el potencial dividido por la suma de las resistencias a la transmisión de calor. El potencial es simplemente la diferencia de temperaturas entre el producto y el medio de enfriamiento.

Las resistencias dependen de factores tales como la velocidad del aire, el espesor del producto, la geometría del sistema de congelación y la composición del producto. Se

pueden hacer algunas deducciones respecto a un producto alimenticio y su velocidad de congelación bajo condiciones de control:

- Las velocidades de enfriamiento y congelación son influenciadas por la composición, y los altos contenidos de grasa o aire atrapado tienden a ejercer una influencia negativa.
- Las velocidades de congelación no son constantes durante los procesos porque el agua se está convirtiendo en hielo y la conductividad térmica está fluctuando.
- Es de esperarse que las diferencias en la estructura física de los alimentos influyan en la velocidad de congelación.
- Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el alimento y el refrigerante, mayor será la velocidad de congelación.
- Cuanto más delgado sea el alimento o el envase del alimento, mayor será la velocidad de congelación.
- Cuanto más íntimo sea el contacto entre el alimento y el medio de enfriamiento, mayor será la velocidad de congelación.

Con la congelación con aire frío se pueden congelar alimentos de formas irregulares e individuales, la congelación por aire forzado se usa ampliamente en las industrias de congelación de alimentos. Los congeladores de aire forzado discontinuos se usan sólo cuando la cantidad de material a congelar es reducida.

Una unidad de este tipo puede constar de una cámara bien aislada equipada con los enfriadores de aire y ventiladores apropiados. [41]

La temperatura y tiempo de congelación de productos alimentarios es función de los solutos en solución que contienen. La temperatura de congelación para el agua pura permanece constante en el punto de congelación hasta que el agua se ha congelado. Para los alimentos, la temperatura de congelación es más baja que para el agua pura, ya que los solutos del agua no congelada se van concentrando y la temperatura de congelación va disminuyendo continuamente hasta que la solución queda congelada. Al final de la congelación la masa entera del producto se ha convertido en rígida, formando un eutéctico, que consiste en cristales de hielo y componentes del alimento.

Se requiere llegar al estado eutéctico para asegurar la eliminación de agua sólo por sublimación, y no por combinación de sublimación y evaporación. La permeabilidad de la superficie congelada, puede verse afectada por la migración de componentes solubles durante la etapa de congelación. Sin embargo, la eliminación de la fina capa de la superficie del producto congelado, o la congelación bajo condiciones que inhiban la separación de la fase de concentrado, dan lugar a mejores velocidades de liofilización. [41]

En condiciones ideales, para realizar el proceso de liofilización correctamente, debería congelarse todo el líquido presente en el alimento. En la práctica, sin embargo, esto no es posible y además siempre que la calidad de líquido remanente no congelado sea pequeña la calidad del producto no resulta seriamente afectada.

La velocidad óptima de congelación con fines de liofilización depende en gran parte de la naturaleza del producto. La variación en la velocidad de congelación afecta al tamaño de los cristales de hielo y por tanto al tamaño de poro en el producto seco, siendo de esperar, en consecuencia, que influya en la velocidad de desecación y en las características del producto, sobre todo en rehidratación. Las velocidades óptimas de congelación tienen que determinarse experimentalmente. [35]

La estructura celular puede dañarse durante la congelación perjudicando la textura del producto reconstituido y el producto seco es muy quebradizo y susceptible a daños mecánicos. Los alimentos de tamaño pequeño se congelan más rápidamente, dando lugar a cristales de hielo más pequeños que dañan menos su estructura.

En los alimentos líquidos se procura que la congelación sea lenta, con objeto de que se forme una red cristalina que da lugar a la formación de canales por los que el vapor de agua puede escapar. [20]

2.2.2. Sublimación (deshidratación primaria).

La velocidad de deshidratación depende principalmente de la resistencia que el alimento ofrece a la transferencia de calor y en menor grado, a la transferencia de vapor (transferencia de materia) desde el frente de sublimación. La deshidratación primaria corresponde a la sublimación de toda el agua congelada del alimento, cuya velocidad es proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua de hielo que se encuentran a nivel del frente de sublimación y sobre el condensador. Esta diferencia de presión depende directamente de la diferencia de temperatura entre el producto todavía congelado y el condensador del liofilizador. Como las diferencias de presión de vapor que se manejan son muy bajas, se explica que la velocidad de liofilización siempre sea pequeña.

Esto es la razón por la que se trabaja frecuentemente bajo vacío a una presión absoluta comprendida entre 13 y 267 Pa (lo ideal sería que la presión absoluta fuese próxima a un tercio de la presión parcial de vapor de agua a nivel del frente de

sublimación). La sublimación tiene lugar desde la superficie del hielo, de manera que, al proseguir, el límite del hielo se va retirando hacia el centro del alimento, es decir que el alimento se deshidrata desde la superficie hacia adentro. Finalmente, el último resto de hielo se sublima y la humedad del alimento queda reducida a menos de 5%.

Ya que el alimento congelado permanece rígido durante la sublimación, las moléculas de agua que se escapan dejan huecos, lo cual resulta en una estructura seca, porosa y esponjosa. Por eso, los alimentos liofilizados se reconstituyen rápidamente, pero tienen que ser protegidos mediante envases adecuados contra la absorción de humedad atmosférica y oxígeno. [37]

El hielo sublima cuando se suministra la energía correspondiente al calor latente. La fuerza impulsora de la sublimación es la diferencia de presión entre la presión de vapor de agua en la interfase del hielo, y la presión parcial del vapor de agua en la interfase del hielo, y la presión parcial de vapor de agua en la cámara de secado. [22]

A medida que la liofilización progresa, el frente de sublimación se traslada hacia el interior del alimento y el calor latente para la sublimación se conduce hasta allí por conducción, o se genera en la masa del alimento por efecto de las microondas. El vapor de agua escapa del alimento a través de los canales formados por sublimación del hielo. El material congelado puede estar sujeto a una sublimación a presión atmosférica o bajo vacío. La sublimación de los cristales de hielo puede considerarse comprendida por dos procesos fundamentales: transferencia de masa y transferencia de calor. Se suministra calor para sublimar los cristales de hielo y el vapor de agua generado es transferido fuera de la interfase de sublimación.

La velocidad de deshidratación está limitada principalmente por la resistencia que el alimento ofrece a la transferencia de calor y en menor grado, a la transferencia de vapor (transferencia de materia) desde el frente de sublimación. [28]

El vacío operante determina la diferencia de presión y consiguientemente la velocidad de transferencia de masa que debe estar en equilibrio con la velocidad de entrada de calor. El calor requerido para sublimar (2,788.7 kJ/kg), puede suministrarse por conducción, radiación, resistencia eléctrica, microondas o calentamiento. [31]

2.2.3. Desorción (deshidratación secundaria).

La etapa secundaria de secado comienza cuando se ha agotado el hielo en el producto, y la humedad proviene del agua parcialmente ligada en el material que se está secando. En este momento la velocidad de calentamiento debe disminuir para mantener la temperatura del producto por debajo de los 30-50°C, lo que evita el colapso del material. Si la parte sólida del material está demasiado caliente, la estructura se colapsa, lo que se traduce en una disminución de la velocidad de sublimación de hielo en el producto. [28]

En ésta etapa, la pérdida de agua se produce por deshidratación evaporativa (desorción) del agua no congelada, el contenido de agua se reduce hasta el 2% (sobre peso húmedo). La desorción se consigue manteniendo el liofilizador a baja presión y elevando la temperatura hasta un valor próximo al del ambiente.

2.2.4. Transferencia de calor y materia.

Los fenómenos de transferencia de calor y materia de la capa congelada a la capa seca durante la liofilización son simultáneos. El calor puede transmitirse al frente de sublimación por tres diferentes métodos:

(1) *La transferencia calórica a través de la capa de alimento congelado:* la velocidad de transferencia de calor depende del grosor de la capa de hielo, por lo que a medida que la deshidratación progresa, el grosor de la capa de hielo disminuye, en consecuencia, la velocidad de transferencia de calor aumenta. La temperatura en la superficie del alimento se controla cuidadosamente para evitar su descongelación.

(2) *La transferencia de calor a través de la capa de alimento liofilizado:* la velocidad de transferencia de calor al frente de sublimación depende del grosor y área del alimento, de la conductividad térmica de la capa liofilizada y de la diferencia entre las temperaturas del alimento y del frente de hielo. Si la presión se mantiene constante en el liofilizador, la temperatura en el frente de hielo también se mantiene constante.

(3) *Calentamiento por microondas:* en este sistema de calentamiento el calor se genera en el propio frente de hielo, por lo que la velocidad de la transferencia de calor

no depende de la conductividad térmica del hielo ni del grosor de la capa de alimento liofilizado. Sin embargo, el control de este sistema de calentamiento, presenta una mayor dificultad. [25]

Comúnmente en el liofilizador se colocan placas calentadoras arriba y abajo del alimento a fin de acelerar la transmisión de calor y se deja un espacio abierto para no cerrar la vía de escape de las moléculas de agua sublimadas. Sin embargo, a medida que el secado prosigue y que el límite del hielo retrocede, la velocidad de la liofilización disminuye por varias razones. Por ejemplo, la capa seca porosa fuera de la capa de hielo retrocedente actúa como un aislante contra la transmisión de calor; la capa porosa disminuye la velocidad de escape de las moléculas de agua que se subliman desde la superficie del hielo. Pero en los sistemas de liofilización bien planeados se observa generalmente que la obstaculización de la transmisión efectiva de calor, más que la transferencia de masa causada por la creciente capa seca porosa, es el factor que más contribuye a limitar la velocidad de liofilización.

Algunos de los medios más prácticos para aumentar la velocidad de liofilización se basan, por lo tanto, en el uso de fuentes de energía con gran fuerza de penetración, como, por ejemplo, las radiaciones infrarrojas y de microondas, que pueden atravesar las capas de alimento seco y entrar al núcleo de hielo retrocedente [17]. Como se observa en la figura 3, la pérdida de agua durante la liofilización consta de tres fases:



Figura 2.14.- Etapas de deshidratación en la liofilización.

(1) La fase uno, es la etapa conductiva donde hay una remoción de agua del producto entre un 75 y un 90%. Es en esta etapa en la que el alimento pierde la mayor cantidad de agua.

(2) La fase dos, es la primera etapa difusiva que muestra un descenso importante de la velocidad de secado y por consiguiente una menor pérdida de agua en el alimento.

(3) La fase tres, es la segunda etapa difusiva en la cual es posible incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C.

En la práctica, la presión y temperatura más bajas que se utilizan y que son económicamente compatibles son 13 Pa y -35°C. En la teoría, la temperatura de hielo debiera elevarse hasta un valor justo por debajo de su punto de descongelación. Sin embargo, por encima de una determinada temperatura crítica, los solutos concentrados del alimento poseen suficiente movilidad como para permitir su migración a través de las fuerzas que se desarrollan durante el proceso. Cuando esto sucede, la estructura del alimento se colapsa inmediata e irreversiblemente, lo que reduce la velocidad de transferencia de vapor y en consecuencia, se detiene la deshidratación. La figura 10 muestra la migración de vapor de agua desde el interior del alimento a través de los poros formados. Donde W representa el contenido de agua en el frente de congelación y W_0 representa el agua presente en la matriz sólida. A medida que se va perdiendo vapor por sublimación, va decreciendo la actividad del agua del alimento.

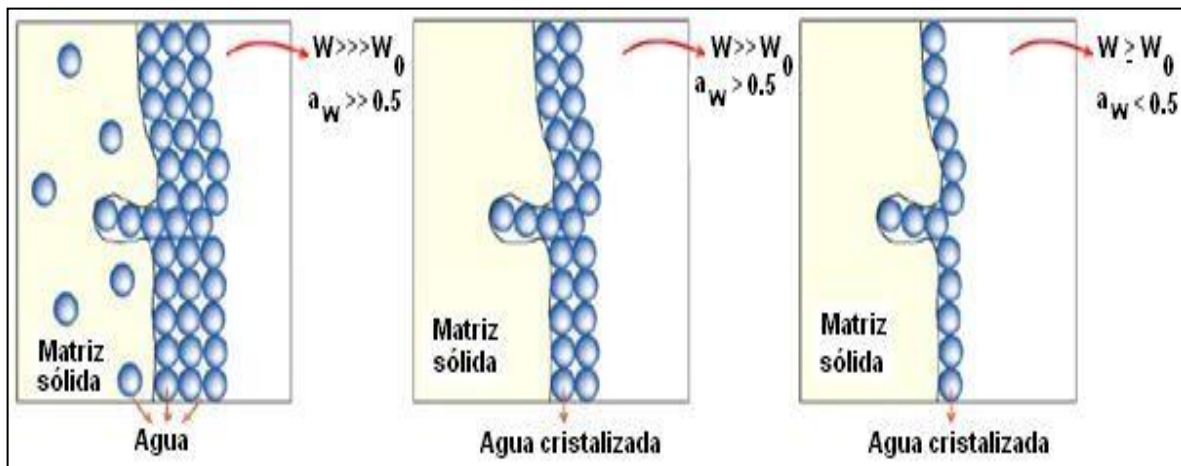


Figura 2.15. Transferencia de masa durante el proceso de liofilización.

Cuando el calor llega al frente de sublimación la temperatura y la presión de vapor en éste aumenta, el vapor se desplaza desde el alimento a la zona de baja presión de 67 Pa. Los factores que controlan el gradiente de presión de vapor son:

- La presión en el interior de la cámara de liofilización.
- La temperatura del condensador de vapor (tanto la presión como la temperatura deberán ser lo más bajas posibles).
- La temperatura de hielo del frente de sublimación (que debe ser lo más elevada posible para evitar la descongelación).

El producto se considera seco cuando las temperaturas superficiales e internas son iguales. La velocidad a la que el alimento se deshidrata no sólo depende de la aplicación de calor sino también de la velocidad con que puede formarse el vapor de agua en el centro del producto a través de la capa seca y también de la capacidad del condensador de retener todo el vapor de agua producido. La velocidad del secado y la calidad del producto terminado están afectadas por el tamaño, la forma y la distribución de los cristales de hielo formados durante la congelación y de la homogeneidad de la masa congelada. [19]

2.3. Equipos de liofilización.

Existen diferentes formas de deshidratación y en consecuencia varios tipos de liofilizadores. Una primera clasificación considera equipos de funcionamiento continuo y estacionario. Según el mecanismo de transmisión de calor se dividen en equipos basados en conducción, convección, infrarrojo y dieléctricos. [26]

Cualquier equipo para liofilizar consta fundamentalmente de cinco elementos indispensables:

- (1) El sistema de congelación: de éste depende la obtención de un producto con características adecuadas para poder procesarse posteriormente. Para productos de origen vegetal, la congelación se hace por inmersión en fluidos fríos (túneles de aire frío) o en bandas metálicas frías.
- (2) El sistema de vacío: cuya función es evacuar la cámara de secado de los vapores producidos sin permitir que el alimento se descongele.
- (3) El sistema de condensación: los tres métodos más comunes para eliminar el vapor de agua son: condensadores de contacto directo e indirecto, agentes deshidratantes y bombas de vacío. Los condensadores de contacto indirecto ofrecen un arreglo óptimo para eliminar el agua a escala industrial, son serpentines refrigerantes dotados de un sistema automático de descongelación con el objeto de mantenerlos libres de hielo, para que su capacidad de condensación se mantenga. La superficie de condensación puede estar colocada dentro de la cámara de secado o en una cámara separada. El vapor de agua condensa y forma una capa de hielo sobre la superficie enfriada y es eliminada en forma intermitente por lo que el condensador previene el retorno de vapor de agua hacia el producto.
- (4) El sistema de calefacción: es en dónde se suministra el calor latente de sublimación

Puede ser por resistencias eléctricas, calentamientos por circulación de un líquido caliente o calor radiante. Las placas calefactoras en las que es colocado el material congelado pueden ser huecas y en ellas se admite vapor al calentarlas.

(5) Sistema de medición y control: los instrumentos de medición deben de estar distribuidos de modo que se controle principalmente la temperatura en las placas de calentamiento, el producto, en el condensador y la presión en la cámara de secado, en la cámara de condensación y en el sistema de vacío. [33]

Los liofilizadores se caracterizan por el método utilizado para el suministro calórico a la superficie del alimento. Los sistemas más corrientemente empleados son la conducción y la radiación. En la actualidad se están poniendo a punto liofilizadores de calentamiento por microondas (el calentamiento por convección carece de importancia, dado el vacío relativo existente en la cámara de liofilización). De cada tipo de liofilizador existen versiones de funcionamiento discontinuo y continuo.

En las instalaciones discontinuas el producto se coloca en una cámara de liofilización hermética y la temperatura se mantiene inicialmente a 100-120°C, reduciéndose posteriormente de forma gradual a lo largo de la deshidratación (6-8 horas). Las condiciones adecuadas para la liofilización dependen del alimento, pero su temperatura superficial no debe superar en ningún caso los 60°C.

En los sistemas de liofilización continua las entradas y salidas de las bandejas se efectúan a través de puertas de seguridad. Las bandejas circulan, colocadas en placas calefactoras, en vagonetas que circulan sobre unos rieles a través de distintas zonas de calentamiento de una cámara que se mantiene a vacío. Las temperaturas de calentamiento y el tiempo de permanencia en cada zona se programan previamente para cada alimento y un microordenador mide y controla el tiempo de liofilización, la temperatura, presión en la cámara y la temperatura en la superficie del producto.

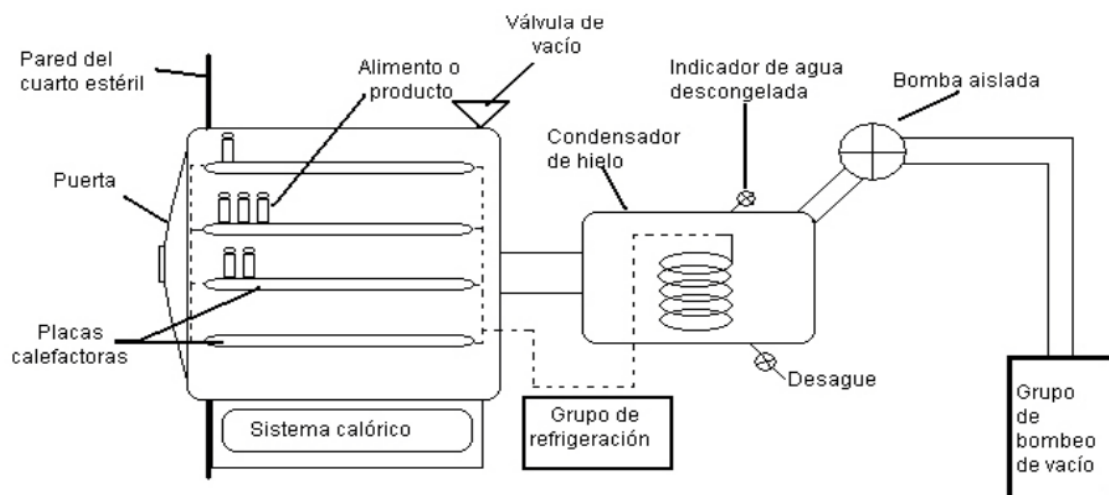


Figura 2.16.- Equipo liofilizador.

DESCRIPCIÓN GENERAL	
EQUIPOS	FUNCIONES
CAMARA DE SECADO	<ul style="list-style-type: none"> • Provee al proceso de un ambiente limpio y estéril. • Da las condiciones de presión y temperaturas exigidas para la congelación y posterior secado del producto.
CONDENSADOR	<ul style="list-style-type: none"> • Recoge el vapor de agua producto de la sublimación, y lo desublima.
SISTEMA DE VACIO	<ul style="list-style-type: none"> • Está conectado a la cámara del condensador. • Proporciona las condiciones de presión indicadas para las etapas de desecado primarias y secundarias.
INSTRUMENTACIÓN (medidor de temperatura de producto-estante, controlador de calefacción de estante, medidor de vacío cámara-condensador)	<ul style="list-style-type: none"> • Son de vital importancia para el control del proceso, de manera que el resultado del mismo siempre sea el mejor posible.

Tabla 2.8.- Proceso general de un proceso de liofilización.

El sistema de liofilización descrito, se corresponde con los equipos convencionales de Liofilización; los cuales son fabricados por muchas empresas proveedoras de esta tecnología. Los mismos se consiguen en escalas tipo laboratorio, piloto o industrial. En la siguiente tabla se especifican las características de cada uno:

	LABORATORIO	PILOTO	INDUSTRIAL
Bomba de vacío	6 m ³ /h	18 – 35 m ³ /h	
Capacidad del condensador	6 – 10 kg	15 - 30 kg	30 - 300kg
Temperatura del condensador	- 50°C	- 50 a - 80°C	- 75°C
Superficie * (por cantidad de estantes)	0,33 m ² * (3)	0,48 – 1,8 m ² * (3 a 5)	2 - 12m ² * (5 a 8)

Tabla 2.9.- Condiciones del equipo liofilizador.

2.4. Gasto energético

A pesar de los beneficios que aporta la liofilización esta técnica ha sido siempre considerada como un método de deshidratación muy costoso desde el punto de vista energético. Como se ha visto el proceso de liofilización consta de cuatro operaciones principales, congelado, vacío, sublimación y condensación. La figura 12 muestra cual es el porcentaje del coste energético que supone cada una de ellas en el total consumido.

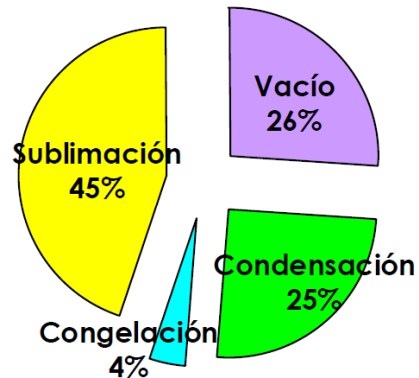


Figura 2.17.- Diagrama del costo energético.

Habitualmente se intenta evitar la utilización de la congelación como método para conservar los alimentos pues se considera una técnica muy costosa, reemplazándolo con la utilización de sustancias químicas (ej. anhídrido sulfuroso E220). El proceso de liofilización no solo la congelación es una operación costosa, ya que tanto el vacío, la condensación como la sublimación provocan un coste energético que se traduce en un gran gasto económico en el proceso. Esto indica que a pesar de que la liofilización es una técnica que ofrece productos de alta calidad, el beneficio de los productos deshidratados debe justificar este gasto energético y por tanto un coste tan elevados.

2.5. Efecto sobre los alimentos.

Los alimentos liofilizados correctamente envasados, se conservan durante 12 meses con la mínima modificación de su valor nutritivo y sus características organolépticas. Como los componentes del aroma no se encuentran ni en el agua pura, ni en los cristales de hielo, durante la sublimación no son arrastrados por el vapor de agua y quedan, por consiguiente, retenidos en la trama del alimento liofilizado. Por este sistema

se consigue retener 80% del aroma del alimento. La liofilización no modifica de manera considerable la estructura de los alimentos, casi no provoca en ellos retracción alguna y no endurece su capa superficial.

La estructura porosa de los alimentos liofilizados hace que su rehidratación sea muy rápida. Sin embargo, son alimentos frágiles que deben protegerse de eventuales daños mecánicos. El efecto de la liofilización sobre las proteínas, almidones y otros carbohidratos es mínimo pero su estructura porosa los hace accesibles al oxígeno, lo que puede provocar alteraciones por oxidación de lípidos. La liofilización afecta poco a la tiamina y ácido ascórbico y las pérdidas que provoca en otras vitaminas son despreciables. Sin embargo, las etapas preparatorias del alimento pueden afectar sustancialmente su valor nutritivo y calidad global. [27]

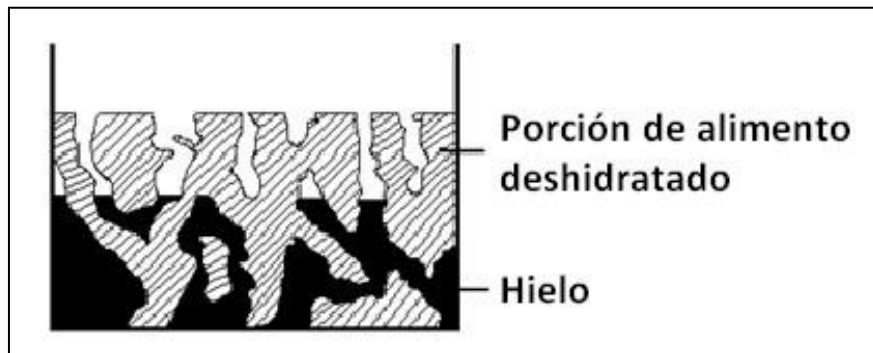


Figura 2.18.- Estructura porosa de un alimento liofilizado.

En la liofilización el alimento se conserva también por reducción de su actividad de agua, pero en este método aquél no se calienta, con lo que sus características organolépticas y su valor nutritivo resultan menos afectados. La liofilización es desde el punto de vista comercial, más importante y se utiliza para la deshidratación de alimentos de gran valor, de aroma y textura delicados. El producto poroso tiene la ventaja de la solubilidad o reconstitución rápida y de la apariencia de mayor volumen, pero también las desventajas del aumento en el volumen y generalmente de un periodo más breve de la estabilidad durante el almacenamiento debido al mayor grado de exposición de la superficie al aire, la luz, etc. [27].

La transformación durante la congelación de las disoluciones acuosas en cristales de hielo evita el encogimiento del alimento dando lugar, al finalizar el secado, a estructuras esponjosas que permiten una fácil rehidratación. Esta estructura se consigue porque los cristales de hielo adquieren formas de aguja que al sublimar dejan huecos que además provocan que la densidad de los productos finales sea baja. Sin embargo, esta situación también origina que los alimentos liofilizados presenten una higroscopicidad elevada, ya que cuando el agua está presente se establecen enlaces de hidrogeno con los solutos que al

sublimar quedan vacantes, por lo que serán muy susceptibles de captar moléculas de agua durante el almacenamiento. [42]

2.6. Rehidratación.

Los productos liofilizados se rehidratan rápidamente y pueden llegar a tener un contenido de humedad y propiedades organolépticas similares a las del alimento original.

Entre las propiedades de calidad más importantes de un alimento deshidrato que ha sido rehidratado, están las propiedades estructurales (densidad, porosidad, tamaño poro, volumen específico), ópticas (color y apariencia), texturales (fuerza de compresión, relajación, tensión), mecánicas (estado del producto: cristalino, elástico, vítreo), propiedades sensoriales (aroma, sabor, color) y propiedades nutricionales (contenido de vitaminas, proteínas, azúcares, entre otras). La evaluación de todas o alguna de estas propiedades depende de los parámetros a considerar para un mercado específico.

Es el término que se usa para indicar la velocidad y el grado en que los alimentos desecados captan y absorben agua para readquirir un estado parecido al del producto original cuando se ponen en contacto con un exceso de agua.

Es importante considerar que la rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen de factores distintos. Las operaciones previas a la deshidratación, llamadas pretratamientos, tienen marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado. Aquellos pretratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos permiten evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación. Ya durante el escaldado de vegetales, existen pérdidas por difusión de sólidos: vitaminas, azúcares, aminoácidos, minerales; adicionalmente una cantidad importante de sólidos solubles puede migrar a la solución durante la rehidratación, afectando la calidad nutricional del producto y su capacidad de imbibición de agua.

Los alimentos convenientemente liofilizados fijan al reconstituirse una cantidad de agua que se aproxima a su contenido original de modo que los constituyentes solubles de las células vuelvan a su estado primitivo. Los productos pre cocidos, como es el caso de los alimentos compuestos (guisos de carnes y vegetales, por ejemplo), al reconstituirse ofrecen todas las cualidades de las comidas corrientemente preparadas sin requerir nuevo tratamiento; los productos que no se cocieron pueden cocerse en casi todas las formas en que es posible hacerla con el producto fresco.

La rehidratación de los alimentos que han sido desecados en trocitos como las verduras cortadas o picadas o los productos cárnicos picados depende en gran parte de la estructura de los trozos desecados y del grado en que los componentes que retienen el agua, principalmente las proteínas y el almidón, han sido afectados por la operación de deshidratación.

La rehidratación es considerada como una medida del daño inducido en el material durante la deshidratación, como pérdida de integridad y reducción de las propiedades hidrofílicas, lo cual disminuye la capacidad del alimento para rehidratarse. Teóricamente, si no hay efectos adversos en la integridad de la estructura del tejido se debe de absorber la misma cantidad de agua que tenía el alimento antes de deshidratarse. Es muy importante que en los productos deshidratados se haga una rehidratación rápida y completa.

Los alimentos liofilizados suelen reconstituirse rápidamente debido a su estructura porosa distintiva de este método de deshidratación. Por otra parte, el excesivo daño térmico durante la desecación o el daño causado por la congelación en el caso de los alimentos liofilizados, puede determinar una reducción de la capacidad de retención de agua del producto reconstituido que se traduce en un aspecto y textura deficientes. [10]

Cuando se agrega al agua caliente a una temperatura aproximada a los 45 grados centígrados, el alimento liofilizado puede reconstituirse en solamente algunos minutos. Sin embargo, se puede rehidratar los alimentos en agua fría, pero requiere por lo menos el doble de tiempo para alcanzar la hidratación completa. [12]

Hay numerosos reportes en los cuales los autores miden la habilidad del material seco para rehidratarse. Sin embargo, no hay una consistencia en los métodos usados ni en la nomenclatura pues el agua de rehidratación puede o no ser agitada, así como el material rehidratado puede escurrirse sobre hojas de papel filtro o drenadas en un colador. La relación entre la masa de material seco y la masa de agua varía desde 1:5 hasta 1:50, la temperatura del agua utilizada para rehidratar va desde la temperatura ambiente hasta la ebullición. El tiempo de rehidratación varía de 2 minutos a 24 horas. Los resultados de los experimentos son expresados de distintas maneras y frecuentemente el mismo índice se nombra de otras formas. El índice más común para expresar la rehidratación de un tejido deshidratado es un cociente:

- Capacidad de rehidratación, coeficiente de rehidratación o porcentaje de agua absorbida.
- Tasa de rehidratación, este índice es ambiguo porque algunos autores no especifican si la masa de materia seca es tomada antes o después de la rehidratación.

- Otros índices de rehidratación propuestos en la literatura son: llamado rehidratación o habilidad de rehidratación.

La rehidratación de materia vegetal deshidratada consiste en dos procesos llamado absorción de agua y filtrado de solutos. Se ha observado que el incremento de la masa es el resultado neto de aquellos procesos y prácticamente no proporciona información acerca de la cantidad de agua absorbida o de la masa de solutos perdidos.

Capítulo 3.- Materiales y métodos.

3.1. Desarrollo de solución pretratamiento aplicado a vitis vinífera.

En el proceso de liofilización se distinguen dos etapas igualmente importantes, la congelación y el secado, en las que los parámetros de presión, tiempo y temperatura influirán tanto en el transcurso de cada una de las etapas como en las propiedades del producto final.

Las operaciones de liofilización deben ser realizadas en sitios de atmósfera controlada en lo posible con humedad relativa que no exceda el 40%. Si esto no es posible hay que retirar la humedad ambiental.

Dependiendo si se lleva a cabo a granel o en dosis unitarias, se requieren recipientes adecuados para las necesidades del proceso, sean viales o bandejas. En el trabajo a granel se utiliza bandejas en acero inoxidable, de fondo plano y de laterales bajos, como indica figura 3.1.



Figura 3.1.- Bandejas de acero inoxidable para la cámara de vacío.

En esta investigación se trabajó en dosis unitarias y se utilizó la porta materiales de aluminio o plato de aluminio, figura 3.2, que están diseñados para soportar fríos y presiones extremas.



Figura 3.2.- Plato de aluminio.

La uva fresca se obtuvo en el mercado local, se usaron 5 kilogramos de uvas enteras en el experimento. Todos los especímenes tenían buenas condiciones, sin cortes ni superficie dañada, y no mostraban evidencia de baja calidad, figura 3.3. Se lavaron con agua y se secaron a temperatura ambiente.



Figura 3.3.- Muestra de uva fresca.

Se usó una termo-balanza modelo Ohaus MB-35 con calentamiento de fuente halógena para la evaluación de la humedad, porcentaje de sólidos y peso (en gramos) de la muestra, figura 17. Este tipo de termo-balanza se utiliza en la industria alimentaria para la obtención del porcentaje de humedad inicial de la materia prima biológica y porcentaje de humedad final, al igual que se puede tener datos de sólidos restantes al pasar por el proceso de calentamiento, para analizar las características de calidad inicial.



Figura 3.4.- Termobalanza para pruebas de porcentaje de humedad.

Se depositó la muestra en el plato de aluminio, se calentó a 105 ° C durante un lapso de 15 minutos, donde se obtuvo una humedad inicial de 89.76% que es el común de porcentaje de humedad que se encuentra en este tipo de productos frescos, dada su característica de materia biológica.

Para el desarrollo de la solución de pretratamiento se preparó la emulsión alcalina mezclando 1,0 litro de agua alcalina (pH 10), 0,5 kg de K₂CO₃ (con 98% de pureza, reactivo ASC, Aldrich Co.) y 0,05 kg de aceite de oliva, figura 18.



Figura 3.5.- Carbonato de potasio y aceite de olivo.

Se utilizó un pHmetro, figura 3.6, para comprobar la alcalinidad de la solución, ya que este dato es muy importante en el desarrollo de las pruebas experimentales, la alcalinidad o acidez, puede llegar afectar el comportamiento a nivel celular en la muestra.



Figura 3.6.- pHmetro con cambio de lectura de 10 a 12 indicando la alcalinidad.

El equipo con el que se trabajó en esta investigación para el proceso de liofilización se utilizó el equipo Sanshon modelo FDG - O.5, figura 3.7, con un área de proceso de 31 cm x 54 cm, un área de secado de 0.5 m² y 5 litros de capacidad de agua cada 8 horas en el proceso de secado. Posee una bomba de vacío de 6×10^{-1} mbar modelo TRIVAC D16B, 3-ph, 240-265 / 415-480 V y 60 Hz. También contiene una cámara de vacío, equipada con tres placas calefactoras y tres estantes donde se coloca la muestra, cámara de congelación (-87 ° C), sistema de calentamiento de agua en placas (105 ° C).



Figura 3.7.- Equipo liofilizador.

3.2- Procedimiento.

Las muestras de uva se sumergieron en la solución (pH 12) durante 1 minuto a temperatura ambiente, antes de entrar a la etapa de congelamiento, figura 22 (a) (b).



Figura 3.8.- Se vierte solución a las muestras frescas.

3.3.- Penetración de la solución

Secciones de uva obtenidas inmediatamente después de ser inmersa en la solución y la tinción (fenolftaleína). En la figura 3.9 (a) las flechas continuas señalan el color rojo que revela la presencia de la solución. Las flechas discontinuas muestran daños/defectos/alteraciones en la cascara de la uva. En la figura 23(b) la flecha indica el color rojo que revela la presencia de la solución.

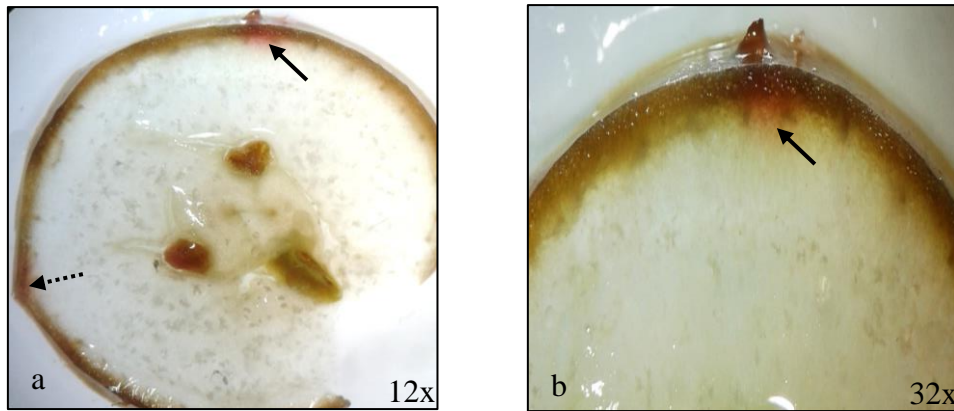


Figura 3.9.- Análisis de la penetración de la solución mediante la fenolftaleína.

También se analizó la penetración de la solución a nivel celular, mediante cortes histológicos de 100X, 400X y 1000X, haciendo una comparación de las muestras con solución y sin solución, figura 3.10 y 3.11.

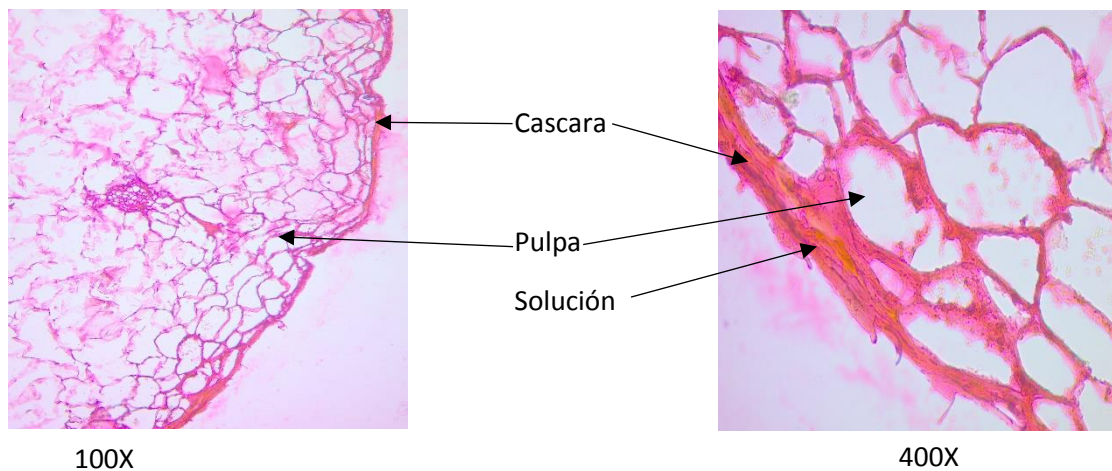


Figura 3.10.- Muestra la penetración de la solución a nivel celular.

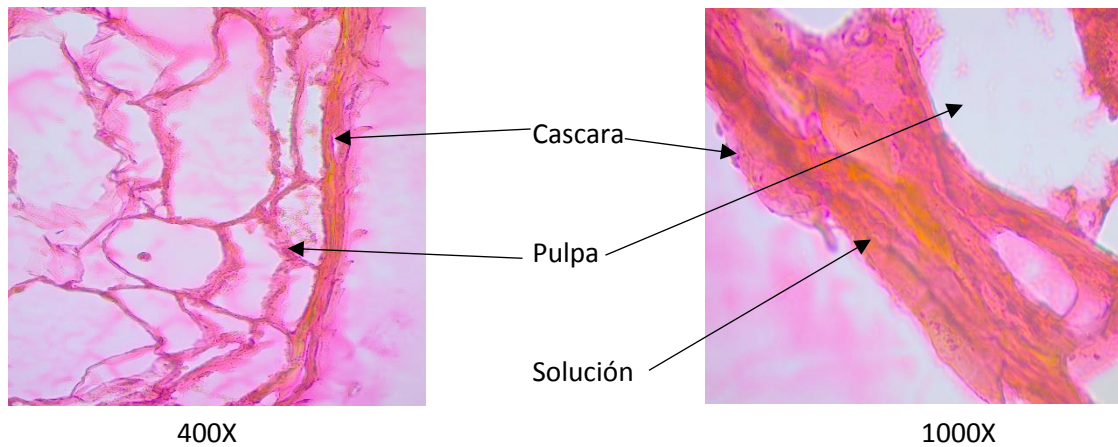


Figura 3.11.- Muestra la penetración de la solución a nivel celular.

El proceso de liofilizado se realizó por etapas; etapa de congelamiento, el producto se congeló durante 3 horas a -35°C , figura 26, un mayor enfriamiento permite la formación adicional de hielo, concentrando aún más la fracción no congelada, lo que modifica más su composición alcanzando la transición vítrea, a esta temperatura da lugar a la formación de sólidos amorfos y la mayor parte del soluto concentrado se transforma en vidrio, de esta manera es posible obtener cristales de hielo que se podrán difundir por la sublimación. Las uvas previamente ya sumergidas en la solución alcalina de aceite de olivo.



Figura 3.12.- Vitis vinífera en etapa de congelamiento.

Una vez que la muestra congelada entra a la segunda etapa, figura 3.13, sublimación, las muestras se metieron a la cámara de vacío, sometiendo a una baja presión de vacío de 6×10^{-1} mbar, después, se programó una rampa de temperatura a 80°C durante 5 horas, al aumentar el calor se genera la suficiente energía para que las moléculas de agua en forma de cristales de hielo sublimen.



Figura 3.13.- Muestras en la cámara de vacío, inicio de la segunda etapa.

Terminando el periodo de tiempo, empieza la tercera etapa, figura 3.14 desecación, donde se mantuvo la misma presión de vacío de 6×10^{-1} mbar, en esta parte del proceso, en la muestra se apreció sudor en su capa externa, son los solutos no congelados, lo cual indica que el poro está abierto y el vapor de agua en forma de hielo está siendo extraído por el vacío de la cámara. Se programó una segunda rampa de temperatura a 60°C por un tiempo de 9 horas, última etapa del proceso en la muestra permanece el poro abierto y extraer las remanencias de agua de vapor del interior de la estructura celular, donde la humedad del producto oscila en un 20%.



Figura 3.14.- Muestras en cámara de vacío, en última etapa.

Al término del proceso de liofilización, el producto muestra excelentes características de calidad en relación a las solicitadas por el mercado consumidor y de materias primas, propiedades organolépticas óptimas (olor, sabor, textura, color) teniendo una apariencia brillante por la caramelización del dulce natural y un aroma intenso, con una condición física liviana, figura 3.15 (a). En la zona interior, figura 3.15 (b), se aprecia una apariencia esponjosa y paredes porosas.

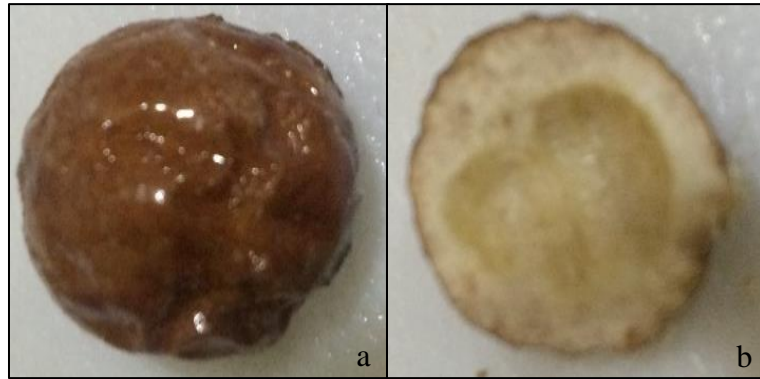


Figura 3.15.- Producto final.

Capítulo 4.- Microbiología del producto.

La microbiología es la ciencia encargada del estudio y análisis de los microorganismos, seres vivos pequeños no visibles al ojo humano (del griego «μικρος» mikros "pequeño", «βιος» bios, "vida" y «-λογία» -logía, tratado, estudio, ciencia), también conocidos como microbios. Se dedica a estudiar los organismos que son sólo visibles a través del microscopio: organismos procariotas y eucariotas simples.

Mediante la técnica por aislamiento de microorganismos en el presente trabajo, se describe los procedimientos para aislamiento y caracterización de microorganismos en medios de cultivo esto con el fin de ser capaces de identificar y caracterizar el tipo de microorganismo se trata. Aplicado en muestras naturales que, en la mayoría de los casos, son el medio de la producción de colonias aisladas en cultivos sólidos.

El crecimiento explosivo de las bacterias permite producir un gran número de ellas a partir de una única célula inicial de forma que, tras un periodo de incubación en las condiciones ambientales adecuadas, se produce una colonia observable a simple vista y formada por individuos iguales (un clon bacteriano).

4.1. Siembra por extensión

Para la siembra por extensión se extiende el inóculo uniformemente con una varilla acodada estéril por la superficie del medio de cultivo, figura 4.1. Las células diseminadas sobre la superficie formarán colonias aisladas. Para esto se requirieron 12 cajas de Petri, figura 4.2, estériles con medio de cultivo Mac Conkey para las diluciones de -1 a -6 y su respectivo duplicado, figura 4.3 [29].



Figura 4.1.- Varilla acodada.

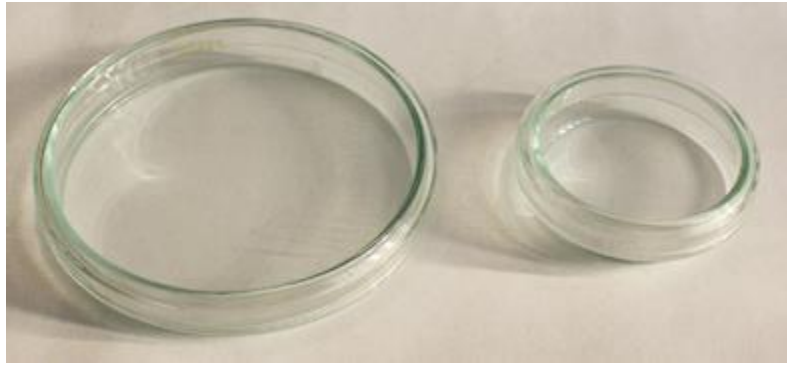


Figura 4.2.- Cajas de Petri.



Figura 4.3- Mac Conkey en presentación de polvo y ya lista en caja de Petri.

4.2 Preparación de disoluciones.

Se prepararon 6 tubos con 9ml de agua destilada estéril y un frasco con 90 ml de agua destilada estéril. Se pesaron 10g de la muestra de vitis vinifera y se agregaron al frasco de agua destilada estéril, se agito hasta tener una mezcla homogénea, de esta muestra preparada se tomó 1 ml y se agregó al primer tubo (10^{-1}), se agito con un Vortex a la velocidad máxima. De esta disolución se tomó 1 ml y se agregó al siguiente tubo (10^{-2}) y se repite el mismo procedimiento hasta tener disoluciones de 10^{-1} hasta 10^{-6} [29].



Figura 4.4.- Tubos de ensayo para la disolución

4.3 Siembra.

Se rotularon las cajas Petri, figura 4.6, con el medio de cultivo Mac Conkey con la disolución que se sembrara (de 10^{-1} hasta 10^{-6}) con su respectivo duplicado, figura 4.5. Se tomó 100 μl de cada tubo y se agregaron a las cajas, se extiende el inóculo uniformemente con una varilla acodada estéril por la superficie del medio de cultivo. Una vez que fueron inoculadas y selladas las cajas, se ponen en una incubadora a 35°C y se dejan 24 h, figura 4.7 [35].



Figura 4.5.- Siembra en caja de Petri con la disolución.



Figura 4.6.- Rotulación de la caja de Petri.



Figura 4.7.- Cajas de Petri en incubadora.

4.4 Conteo de colonias.

Se consideran “representativas” las cajas que tienen un número de colonias dentro del rango de sensibilidad del método, en este caso, entre 25 y 250 UFC, figura 4.8 (a).

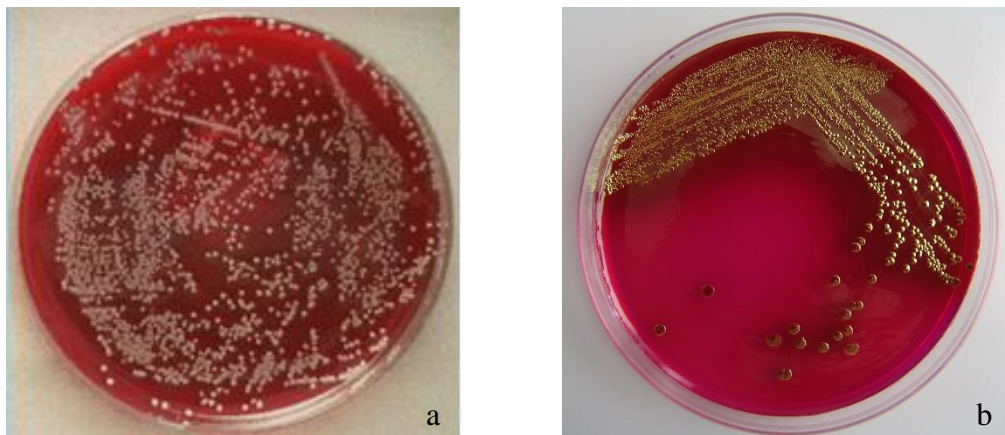


Figura 4.8.- Colonia de microorganismos en caja de Petri.

Se toma una pequeña muestra de una de las colonias de las placas inoculadas con un asa y se inocula la muestra sobre un extremo de la placa con el asa y se extiende formando estrías sobre la superficie en varios sentidos, figura 4.8 (b) cada célula aislada se multiplicará formando una colonia independiente, cada colonia representa un cultivo puro [35].

4.5 Tinción de Gram.

Se utilizó un portaobjetos previamente desinfectado con alcohol. Se coloca en ella una gota de agua, se toma una pequeña muestra de la colonia del microorganismo de interés y se diluye en el portaobjetos. Se fija la muestra al calor, flameándola en el mechero cuidando no quemar la muestra. Se coloca el portaobjetos sobre un soporte, se cubre la muestra con cristal violeta, se deja durante un minuto para luego escurrir y enjuagar. Luego, se cubre la muestra con solución de lugol y se deja un minuto, se escurre y enjuaga. Después se cubre la muestra con alcohol cetona durante 5 segundos, se enjuaga y escurre. Por último, se cubre la muestra con safranina, esperamos a que transcurra un minuto, se escurre y enjuaga. Se deja secar la muestra y observamos en el microscopio [29].

Esto para apreciar la morfología del microorganismo bajo microscopio y saber a qué familia pertenecen, del tipo Gram positivas o Gram negativas

4.5.1. Prueba presuntiva.

- Añadir 1.0 mL de la dilución 10^{-1} g/mL a cada uno de 3 tubos con 10.0 mL de caldo lauril sulfato de sodio.
Añadir 1.0 mL de las diluciones 10^{-2} g/mL y 10^{-3} g/mL a dos series de 3 tubos cada una con caldo lauril sulfato de sodio.
- Incubar a $35-37^{\circ}\text{C}$ durante 24-48 h.
- Los tubos después de la incubación, se registrarán como positivos si presentan crecimiento y producción de gas [29].

4.5.2. Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales.

- Transferir de 2 a 3 asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva a otro tubo de 16 x 150 mm que contiene caldo de bilis verde brillante (brila), con campana de Durham.
- Agitar los tubos para su homogeneización.
- Incubar a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 a 48 h.
- Registrar como positivos aquellos tubos en donde se observe crecimiento y producción de gas, después de un período de incubación de 24 a 48 h.
- Consultar las tablas de NMP que se encuentran en el anexo para conocer el número más probable de organismos coliformes totales por mL [35].

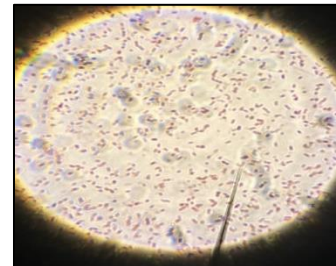
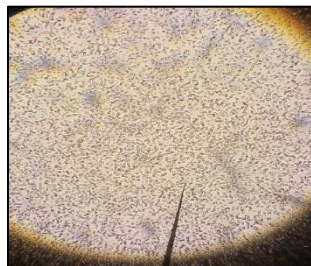


Figura 4.9.- Conteo total 160,000 NMP.10 UFC/g. Figura 4.10.- Conteo total 100,000 NMP.6 UFC/g

Para las muestras se analizaron en un microscopio bajo luz visible. Las imágenes se obtuvieron utilizando una cámara digital (AxioCam, Carl Zeiss, Alemania)



Figura 4.11.- Microscopio con cámara.

4.6 Pimiento

En la deshidratación del pimiento, se aplica calor a altas temperaturas para evaporar el agua y removerla después de su separación en los tejidos del mismo. Este método es el más común para eliminar el agua del alimento, porque se utiliza una corriente de aire caliente, donde la convección es el principal fenómeno de transferencia.

Una vez suministrado el calor a la capa externa del alimento, este se distribuye a través de las capas inferiores por conducción.

Durante la transferencia de calor al pimiento se tienen dos factores importantes que es la eliminación del agua desde el interior hasta la superficie del alimento y la remoción de está desde la superficie al medio ambiente. Una curva de secado relaciona el contenido de humedad del pimiento con el tiempo de extracción del agua desde la capa final hasta la superficie, teniendo varias fases; la primera se llama periodo de acoplamiento en la cual las condiciones de la superficie del pimiento llegan a un “equilibrio” con el aire caliente.

Consecutivamente se tiene la fase de velocidad de deshidratación decreciente, donde el periodo de deshidratación constante llevó al agua se encuentra fácilmente en la superficie del pimiento y, por lo tanto, la velocidad de deshidratación es determinada por la temperatura dada, la humedad relativa y la velocidad del aire caliente.

Cuando el pimiento pierde la mayoría del agua en su superficie, el agua restante deberá extraerse hasta llegar a las capas superficiales del alimento para ser evaporada, dando con esto un periodo de deshidratación más largo, donde se dificulta la pérdida del agua en el alimento alterando con esto sus propiedades físicas (color, textura, sabor). A este punto final se le llama contenido de humedad crítico.

El proceso de Liofilización en el pimiento es menos conocido, pero es más efectivo por la conservación de los nutrientes, porque no afecta a las propiedades organolépticas, evapora el agua en el alimento y la erradica los microorganismos.

Las pérdidas de proteínas, de enzimas y los deterioros en sus propiedades son mínimos a comparación de la deshidratación.

En cualquier método utilizado para la conservación del producto, siempre será evaluado por el consumidor el color, la textura y el sabor. El color es el primer atributo evaluado porque determina la calidad de vida útil en las frutas y hortalizas.

El método de liofilización conserva mejor el color y la textura del pimiento, disminuyendo el deterioro físico. Los factores como la presión y las temperaturas ocasionan una erradicación del crecimiento microbiano, además de mantener las condiciones adecuadas del alimento para su aceptación con el consumidor.

La pérdida de agua y el calentamiento provocan cambios en la estructura celular del pimiento, originando un cambio en la forma y disminución en la dimensión, afectando la calidad del producto seco o deshidratado.

Una consecuencia del encogimiento, es la disminución de la capacidad de rehidratación del alimento. Cuando el agua es removida se produce un desequilibrio en la presión entre el interior del pimiento y la presión externa, lo cual ocasiona el colapso de las capas internas.

Esta es la razón por la que el secado al vacío, como la liofilización, es más efectiva, porque genera un menor encogimiento.

4.7 Capsaicina

Los frutos del género *Capsicum* se comercializan de tres formas: en conservas, deshidratadas y como oleorresinas. Uno de los productos de mayor interés que se han obtenido a partir de las especies del género *Capsicum* es la oleorresina. Esta es una mezcla de derivados capsaicinoides, carotenoides, ácidos grasos y aceites esenciales. La oleorresina es un aceite que se obtiene por extracción con solventes orgánicos polares (acetona y etanol) y no polares (diclorometano, hexano, éter, entre otros), los cuales luego se evaporan para obtener un extracto aceitoso concentrado. La oleorresina es de naturaleza oleosa, viscosa, de color rojo intenso y con un aroma característico, según la procedencia del ají. [44]

La obtención de la oleorresina se justifica por sus excelentes propiedades nutricionales y farmacológicas. Tan es así que su uso como saborizante y colorante para quesos, embutidos, caldos, salsas, entre otros. Se ha visto incrementado en el ámbito nacional e internacional. En consumo en el país y las exportaciones de la oleorresina han aumentado en los últimos años, por lo que despierta mucho interés la obtención de este producto. [46]

Sin embargo, no sólo es el sabor especial que confiere el chile a la comida que lo hace exclusivo, sino a sus demás componentes que se ha visto, actúan como antioxidantes naturales. La capacidad antioxidante se ha relacionado con la posible prevención de enfermedades cardiovasculares, algunos cánceres, cataratas e incluso disfunción cerebral e inmune. La potencia antioxidante de estas sustancias está profundamente relacionada con su estructura, su concentración y las clases de compuestos presentes en los alimentos como es el caso del chile, ya que existe la posibilidad de sinergismo o antagonismo entre los diferentes componentes. Estos compuestos, al presentarse en concentraciones relativamente bajas en relación con el sustrato oxidable, son capaces de evitar o disminuir la oxidación del sustrato, por lo que combaten así el estrés oxidativo que se da en determinadas circunstancias en el organismo provocado por una disminución de las sustancias antioxidantes del mismo o un aumento de la síntesis de los radicales reactivos endógenos.

Los capsaicinoides también poseen propiedades analgésicas, anti-inflamatorias, antioxidantes e incluso anticancerígenas al inhibir el crecimiento dependiente de andrógenos en células transformadoras de seno, colon, adenocarcinoma gástrico y de próstata.

El chile habanero (*Capsicum chinense*) es considerado el de mayor picor; sin embargo, algunas variedades de *Capsicum annuum* pueden alcanzar niveles similares, en función de las condiciones en que se cultiven.

4.8.- Extracción por método soxhlet

La extracción es una de las operaciones básicas del laboratorio. Se define como la acción de separar una fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible. La extracción propiamente dicha envuelve la separación de las sustancias biológicamente activas de los materiales inertes o inactivos de una planta, a partir de la utilización de un disolvente seleccionado y de un proceso de extracción adecuado.

En el método de Soxhlet, el componente de interés y su solubilidad es la propiedad en la que se basa. Cuando el analito está en contacto con el disolvente, muestra tal afinidad que se separa del resto de los componentes, a este principio se le conoce como extracción sólido-líquido.

El método de Soxhlet se realiza en un equipo del mismo nombre, el proceso inicia a partir de una muestra previamente seca, para evitar que el agua se combine con el disolvente y lo altere. La cantidad de muestra necesaria se coloca dentro de un cartucho de celulosa, en el sifón. Lo que sucede en el equipo es que el disolvente contenido en el matraz alcanza su punto de ebullición por efecto de la fuente de calor, sube en forma de vapor por el cuello de éste, recorre el sifón y llega al refrigerante, en éste, se condensa y regresa al sifón en forma líquida, la condensación es gradual, se puede observar en la formación de gotas que caen del refrigerante al sifón. Así, gota a gota, el disolvente se acumula justo donde está el cartucho de celulosa, éste es el momento en que entra en contacto con la muestra y aunque la separación no es visible a nuestros ojos, al empaparla, los compuestos activos de la muestra son disueltos en el disolvente y extraídos. El sifón acumula el disolvente hasta que alcanza el nivel suficiente para regresar al matraz, el disolvente se recircula por el equipo repetidamente, extrayendo en cada recorrido una fracción del compuesto activo de interés, conforme se repite este ciclo, podemos ver que el disolvente cambia de color, lo que manifiesta la extracción de compuestos con solubilidad afín [44].

4.9.- Procedimiento de extracción.

En el procedimiento, el pimiento se secó para eliminar la humedad y luego se trituró para obtener un sólido más pequeño (figura 4.12). Cada una de las muestras, previamente pesada, se puso en el cartucho de material poroso y a continuación se introdujo en la cámara de extracción Soxhlet (figura 4.13). El solvente etanol se colocó en el balón de ebullición que estaba situado debajo de la cámara de extracción. Cuando se evaporó el etanol, el vapor llegó al condensador y se condensó y de esta manera se inició la extracción.



Figura 4.12. Muestra deshidratada y triturada para extracción de capsaicina.



Figura 4.13.- Equipo de extracción Soxhlet.

Cada vez que la cámara se encontraba llena con la mezcla (oleorresina y etanol), regresaba nuevamente al balón a través del sifón lateral (que se hallaba en la parte superior de la cámara). El proceso de extracción, que demoró aproximadamente 12 horas durante 60 ciclos, permitió la concentración de la oleorresina en el balón y la recirculación del solvente.

Conforme avanzaba la extracción de la oleorresina, se observaba un color rojizo en el solvente en la cámara de extracción. La extracción finalizó cuando se notó solamente el etanol (incoloro) en la cámara. El extracto de oleorresina frío se filtró y luego se procedió a trasvasar el extracto dentro del balón de un evaporador rotatorio al vacío (figura 4.14) que operaba a una temperatura de 40 °C con la finalidad de separar el etanol [46].



Figura 4.14. Destilador para la separación del extracto y etanol.

La oleorresina concentrada (figura 4.15) se colocó en probeta graduada para su análisis de visual y se colocó dentro del refrigerador.



Figura 4.15.- Concentración del extracto de capsaicina.

4.9.1.- Análisis de concentración de capsaicina

La capsaicina es el componente responsable de la sensación picante de los chiles, la cual incluso llega a ser utilizada como analgésico en psoriasis, artritis reumatoide o neuralgias. En dosis bajas y controladas, la capsaicina actúa sobre los receptores del dolor y engaña al sistema nervioso central. Igualmente, en estudios como el de donde ha demostrado que los vaniloides, familia de moléculas a las que pertenece la capsaicina, se unen a las proteínas en la mitocondria de la célula cancerosa y genera la apoptosis o muerte celular, sin dañar a las células sanas. La bioquímica de las mitocondrias en células cancerosas es muy diferente a la de las células normales, de ahí la gran selectividad de la capsaicina en el tratamiento de los diferentes tipos de cáncer [46].

Actualmente, el análisis de capsaicina o compuestos capsaicinoides está enfocada al uso de espectrofotometría, Se toma la fase orgánica para realizar la determinación espectrofotométrica de capsaicina con un espectrofotómetro, se realizó la estandarización del método y la cuantificación espectrofotométrica de capsaicina.



Figura 4.16.- Espectrofotómetro Jenway Genova Nano737501 longitud de onda 1000nm.

La figura 4.17 muestra el espectro obtenido para la solución patrón de capsaicina, puede observarse que el máximo de absorbancia se encuentra a una longitud de onda de 260nm.

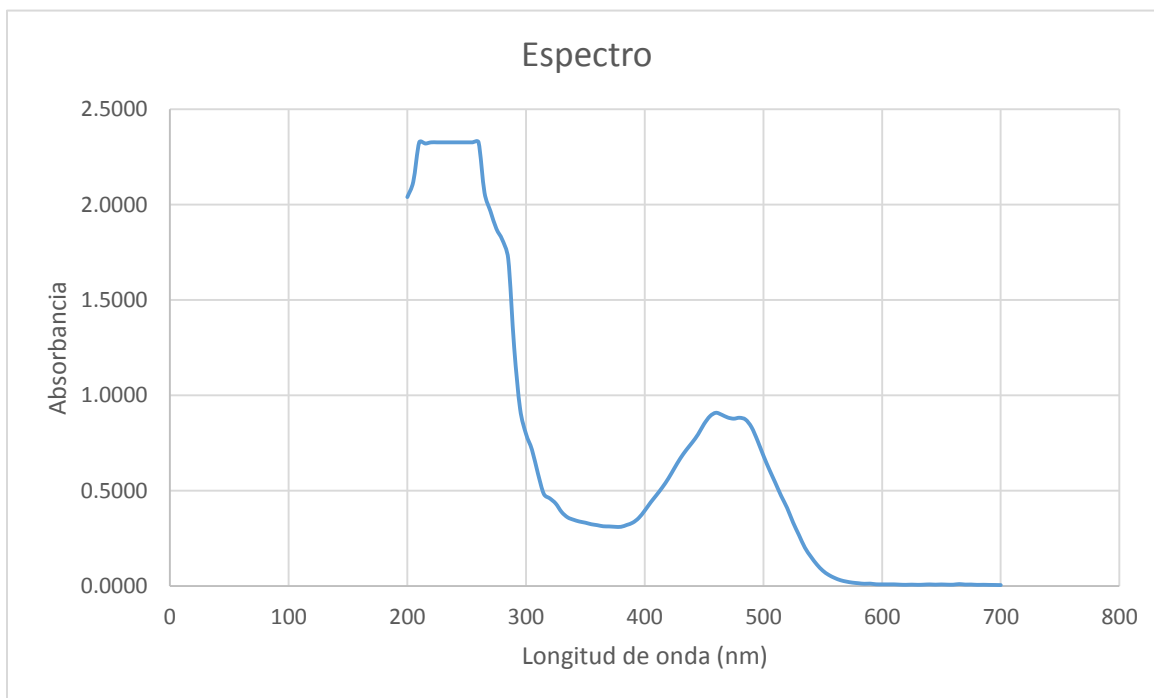


Figura 4.17.- Espectro de capsaicina.

Con los resultados se encontró que el método permite la cuantificación de capsaicina en la oleoresina. Se recomienda realizar estudios sensoriales para correlacionarlos con los resultados analíticos obtenidos.

Capítulo 5.- Resultados y Conclusiones.

Pimiento

Después de completar el proceso de deshidratado con las muestras con aceite de olivo, se desarrolló el mismo procedimiento con muestras de aceite de coco y aceite de aguacate en la solución de pretratamiento. El proceso de deshidratado “normal” es de 20 horas obteniendo un porcentaje de humedad final de 3-7%.

Comparando el tiempo total del proceso de liofilizado en las muestras normales, aceite de olivo y aceite de coco, se observa un ahorro energético de 40-45% respectivamente, tabla. La reducción del tiempo es importante, esto es debido a la alcalinidad de la solución que permea la cera en la piel de las muestras que impacta en la difusión del agua en el producto.

Tabla 6.1. Muestra resultados de tiempo del proceso de liofilizado.

Muestras de pimiento verde	Proceso de congelado	Proceso de deshidratado	Humedad final	Ahorro energético
Normal	3 horas	20 horas	4%	0%
Aceite de olivo	3 horas	12 horas	6.78%	40%
Aceite de Coco	3 horas	11 horas	3.90%	45%
Aceite de aguacate	3 horas	12 horas	5.98 %	40%

En la figura 6.1, se observa cortes de la muestra después de inmersión en la solución pretratamiento y en fenolftaleína, para determinar la penetración de la solución alcalina, el color púrpura revela la presencia de alcalinidad en la muestra. Donde se aprecia que no hay penetración de la solución, la solución se queda en la cascara, no impacta en la pulpa. También se aprecia en la figura, la rehidratación de la muestra por el método de inmersión (la muestra se sumergió en agua a 40 °C durante 5 minutos).

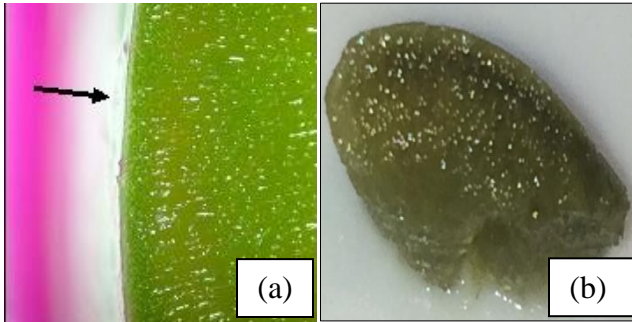


Figura 6.1. Pimiento verde corte en secciones, se muestra fenolftaleína en muestra (a), también se muestra rehidratación (b).

El efecto en el color en las muestras es debido al uso de las diversas soluciones aplicadas, como se aprecia en figura 6.2. Se observa una muestra sin solución, después se ve muestra con aceite de olivo con un color oscuro, para la muestra de aceite de coco un color verde rojizo, en la muestra con solución de aceite de aguacate un verde ligero, este cambio en los colores puede ser a la reacción de la clorofila de la muestra y el contacto con los diferentes aceites.

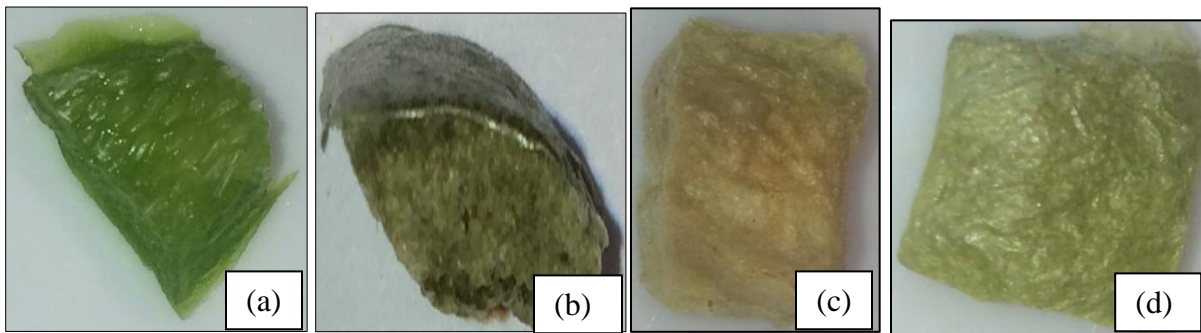


Figura 6.2. Se aprecia la comparación entre las muestras con los diferentes aceites, muestra natural (a), aceite de olivo (b), aceite de coco (c) y aceite de aguacate (d).

Uva

El tiempo determinado para el proceso de liofilizado es de 22 horas para muestras que no tienen solución alcalina de pretratamiento, teniendo en cuenta que para la fase de desecación (evaporar la remanencia de agua) son 14 horas a 60°C, esto para tener una humedad final de 3-7%.

Este tiempo es importante ya que afecta directamente la calidad en la muestra, al disminuir el tiempo del proceso sin añadir la solución pretratamiento a la muestra se obtiene un producto de baja calidad con apariencia pegajosa teniendo miel en la cascara, sin que el azúcar cristalice y brillante. En relación al tiempo de proceso, se encontró que la aplicación de la solución alcalina aplicada a uva, ayuda a reducir el tiempo de proceso de 22 horas a 14 horas, tiempo total, se observa un ahorro energético del 36%.

Figura 6.3 se muestra la penetración de la solución alcalina en la uva, teniendo a la fenolftaleína como detector de alcalinidad en el producto. El color purpura revela la presencia de la solución, el cual no ha tocado la pulpa, la solución alcalina solo impacta en la cascara.

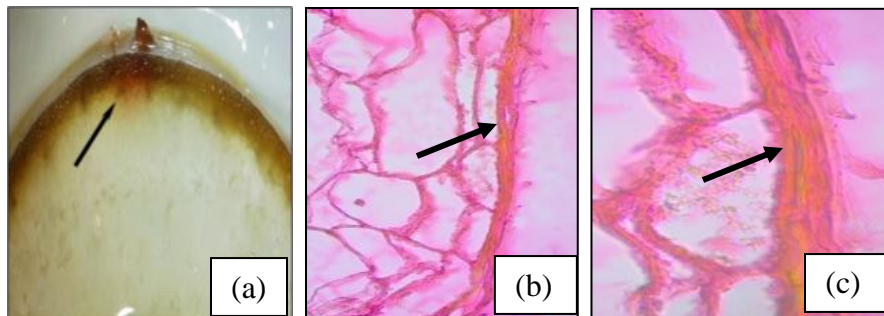


Figura 6.3. Corte de uva inmersa en solución alcalina, la fenolftaleína se torna en purpura al contacto con la solución alcalina: (a)cascara y pulpa de uva a 32x de aumento, (b) cascara y pulpa de uva a 400x de aumento, (c) cascara y pulpa de uva a 1000x de aumento.

También se comparó la humedad en las diferentes etapas del proceso con la solución alcalina aplicado al producto.

Tabla 6.2. Muestra el porcentaje de humedad a través del proceso de liofilizado.

Producto	Humedad inicial	Humedad final	Humedad de rehidratado
Uva	69.77%	4.58%	52.56%

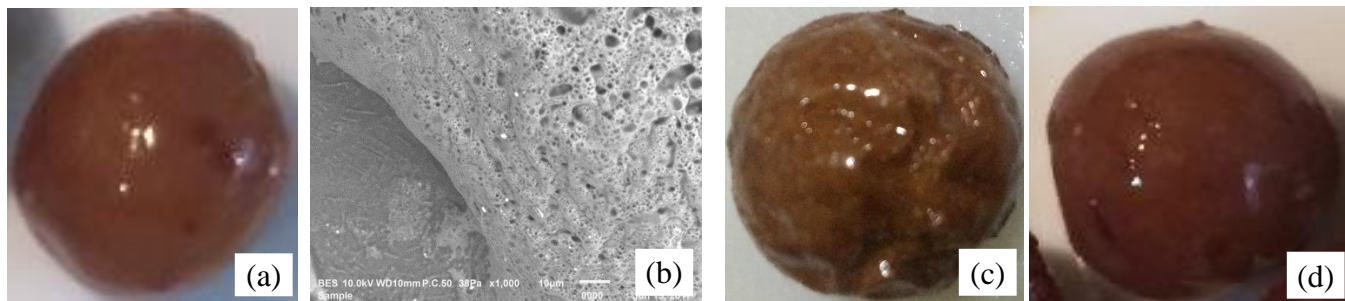


Figura 6.4. Uva vista exterior, uva fresca (a), uva liofilizado en MEB (b), uva liofilizada (c) y uva rehidratada (d).

Se analizó propiedades internas de calidad, donde en la figura 6.5 muestra características óptimas del producto en las diferentes etapas del proceso de liofilizado.

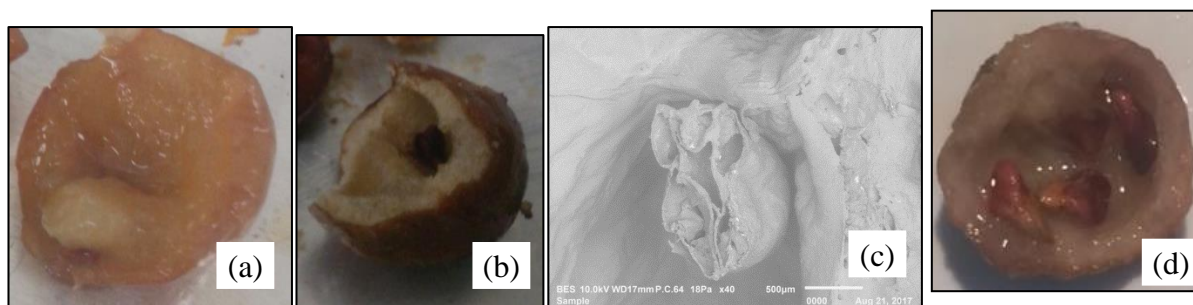


Figura 6.5. Uva vista interior: (a) uva fresca, (b) uva liofilizada, (c) uva liofilizada en MEB y (d) uva rehidratada.

Históricamente el proceso de liofilización se ha considerado el mejor método de conservación de productos de diversa naturaleza: farmacéutico (comprimidos, tejidos, plasma, sueros y otros productos biológicos), catalizadores, materiales orgánicos (madera, flores, animales), (a) ientos y otros. (b) iofilizar alimentos, además de conservar las características organolépticas y nutritivas, se le otorga un valor económico agregado.

La madurez del fruto afecta significativamente a la capacidad de rehidratación del producto liofilizado. Se encontró que, a una madurez mayor, el producto tiende a ser más higroscópico.

La velocidad y la capacidad de rehidratación son independientes de las temperaturas del medio de inmersión. Se encontró una ligera tendencia a que la velocidad de rehidratación aumente al disminuir la temperatura de la placa de calentamiento del liofilizador.

Se puede afirmar que por este procedimiento de deshidratado los productos *vitis vinifera* y *capsicum annuum* alcanza una rehidratación completa.

Luego de realizar la selección del material biológico y ser sumergido 1 minuto en la solución pretratamiento de aceite de olivo y someter a congelación durante 3 horas a $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión de 6×10^{-1} mbar, establecidos en el equipo, se deduce que el tiempo para alcanzar la deshidratación fue de 16 horas, tiempo en el cuál se logró obtener un mínimo de 3% y un máximo de 7% de humedad final, con lo cual se asegura que la uva (*vitis vinifera*) y pimiento verde (*capsicum annuum*) conservan su valor nutricional.

Para tiempos de congelamiento rápida, la velocidad y capacidad de rehidratación son independientes de la temperatura del medio de inmersión. Sin embargo, para tiempos de congelación superiores o congelación lenta, se observa una diferencia importante debido a que, los poros son grandes, lo que causa que se debilite la estructura y el desprendimiento de pequeñas porciones debido al exceso de agua presente, la formación de cristales del producto con las velocidades mencionadas es de vital importancia.

Se obtuvo uva liofilizada con las características organolépticas igual a la de la uva en estado original, en las condiciones dadas por el liofilizador y estándares de aceptación en el mercado industrial.

La investigación del proceso de liofilización de alimentos ha sido poco estudiada por su alto costo, pero se incentiva al desarrollo de trabajos en esta área del conocimiento.

A nivel microbiológico se establece que, en el producto liofilizado, existe menor incidencia de contaminación por mohos y levadura, debido a la disminución de humedad al 3%, obteniéndose los siguientes resultados: Conteo total 100,000 NMP.6 UFC/g, por ende, se conserva adecuadamente inocuo los productos deshidratados mediante este método.

Se concluye que la liofilización realizada a los productos biológicos es un método óptimo para alargar el tiempo de vida útil, puesto que los datos obtenidos en los análisis microbiológicos se ajustan a los criterios de aceptación propuestos.

Con los datos obtenidos del análisis microbiológicos realizados a los productos en estado original y estado liofilizado, observamos que en los casos donde existió crecimiento que fue en el tipo de estado original para el caso de microorganismos aerobios, al momento de ser rehidratadas luego del proceso de liofilización, dicho crecimiento disminuyó hasta encontrarse dentro de los parámetros microbiológicos aptos para frutas, con lo que se verifica que la liofilización inhibe el crecimiento de microorganismos.

Las diferentes variedades del género *capsicum*, comúnmente conocidas como pimientos, presentan concentraciones diferentes considerables de capsaicina, con diversas propiedades que lo hace un sustrato interesante para la industria alimentaria en el campo de la condimentación y la pigmentación, que en la actualidad atrae la atención de profesionales de la ciencia de los alimentos, la farmacéutica y la medicina por sus potenciales usos en beneficio de la salud. La realización de diferentes estudios tendientes a la caracterización de oleorresinas provenientes de frutos de tales variedades, es una

oportunidad para diversificar el mercado de los condimentos, especialmente cuando hay una tendencia tan alta en la comercialización de alimentos étnicos, especialmente aquellos provenientes del centro y sur del país.

Como es de suponer, es importante también contar con técnicas modernas, limpias y eficientes en cuanto a la extracción y el análisis de las oleorresinas, por lo cual la extracción empleando solventes y los análisis de espectrofotometría son de vital importancia.

Recomendaciones

Resulta importante la realización de futuras investigaciones sobre las especies de *capsicum annuum* y *vitis vinífera* presentes en el país, principalmente de la concentración de la pulpa de la uva y rendimiento de la oleorresina de diferentes poblaciones y cultivadores, aplicando métodos de extracción y cuantificación. Igualmente, y tomando en cuenta la información generada sobre los dos géneros, se recomienda continuar con investigación que busquen impulsar en nuestro país el aprovechamiento del potencial de estos productos.

Los alimentos liofilizados se hidratan fácilmente, se sugiere controlar este parámetro realizando un análisis de estabilidad en empaques de diferente permeabilidad, para de esta manera controlar el aumento de la humedad relativa producida por la porosidad de los empaques, situación que acortaría su vida útil.

Según trabajos realizados y con los resultados obtenidos en este, uno de los métodos que se debe utilizar para el alargamiento de la vida útil de un producto o materia prima que posea alta cantidad de agua, es la liofilización, ya que este método permite mantener los componentes del alimento en perfecto estado y en las mismas cantidades, provocando así que el tiempo de vida útil sea mayor.

Aparte de la liofilización se recomienda almacenar el producto en un empaque al vacío para evitar cualquier tipo de degradación por contacto con el oxígeno y así mejorar las condiciones de conservación.

Al liofilizar los productos biológicos, además de conservar las características organolépticas y nutritivas se le otorga un valor económico agregado.

Los análisis de cromatografía líquida de alta eficiencia y cromatografía de gases acoplada a masas resultan ser la mejor combinación, a la par, la rotavaporación acoplada con vacío es adecuada para la remoción de solvente residual; esto es importante considerando el uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

Referencias

- [1] Casp, Ana. Proceso de conservación de los alimentos. Madrid. Mundi prensa, 2003, pp. 386 -398.
- [2] Navas Ramirez y Sebastian Juan. (2006). Liofilizacion de Alimentos. Revista Recitela. Colombia. Pp 2,9,11-12.
- [3] N. Candia-Muñoz, M. Ramirez-Bunster, Y. Vargas-Hernández, and L. Gaete-Garretón, “Ultrasonic spray drying vs high vacuum and microwaves technology for blueberries,” *Phys. Procedia*, vol. 70, pp. 867–871, 2015.
- [4] J. Dávila-Torres, J. de J. González-Izquierdo, and A. Barrera-Cruz, “Panorama de la obesidad en México,” vol. 53, no. 2, 2015.
- [5] SIAP, “Producción agropecuaria y pesquera,” 2015.[Online]. Available: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. [Accessed: 15-Oct-2015].
- [6] AOAC. Official methods of analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists International. Moisture in dried fruits. Method 934.06. Arlington, USA. 1990. Pp. 911-912.
- [7] Krokida M, Maroulis Z. Quality changes during of food materials. In: A.S. Mujumdar, editor. Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. USA: Science Publishes. Inc. Enfield, NH; 2000. p. 61–106.
- [8] Cabezas Carrillo, M. D. P. (2010). *Evaluación Nutritiva y Nutraceutica de la Mora de Castilla (Rubus glaucus) Deshidratada a Tres Temperaturas por el Método de Secador en Bandejas*.
- [9] Tenesaca, J., & Rocio, E. (2011). *Evaluación nutricional de la uvilla (Physalis peruviana L.) deshidratada, a tres temperaturas mediante un deshidratador de bandejas*.
- [10] CONTRERAS RUIZ, M. A. R. I. N. A. (2014). *Estudio de Parámetros de Calidad de Manzana Deshidratada mediante Secado a baja Temperatura Asist Asistido con Ultrasonidos* (Doctoral dissertation).
- [11] Rodríguez-Hernández, G. R., Gonzalez-Garcia, R., Grajales-Lagunes, A., Ruiz-Cabrera*, M. A., & Abud-Archila, M. (2005). Spray-drying of cactus

pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*, 23(4), 955-973.

- [12] Pu, Y. Y., Feng, Y. Z., & Sun, D. W. (2015). Recent progress of hyperspectral imaging on quality and safety inspection of fruits and vegetables: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2), 176-188.
- [13] I. Doymaz and M. Pala, "The effects of dipping pretreatments on air-drying rates of the seedless grapes," *J. Food Eng.*, vol. 52, no. 4, pp. 413–417, 2002.
- [14] V. R. Sagar and P. Suresh Kumar, "Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 47, no. 1, pp. 15–26, 2010.
- [15] F. Pei, Y. Shi, A. M. Mariga, W. jian Yang, X. zhi Tang, L. yan Zhao, X. xin An, and Q. hui Hu, "Comparison of Freeze-Drying and Freeze-Drying Combined with Microwave Vacuum Drying Methods on Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) Slices," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 7, no. 6, pp. 1629–1639, 2014.
- [16] Shishegarha F, Makhlof J, Ratti C. Freeze-drying characteristics of strawberries. *Dry Technol.* 2002; 20 (1): 131-145.
- [17] Marques LG, Silveira AM, Freire JT. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Dry Technol.* 2006; 24 (4): 457-463.
- [18] M. Saclier, R. Peczalski, J. Andrieu. Effect of ultrasonically induced nucleation on ice crystals size and shape during freezing in vials. *Chemical Engineering Science*, 65 (2010) 3064 - 3071.
- [19] Saravacos, G. D. and Stinchfield, R. M. (1965), Effect of Temperature and Pressure on the Sorption of Water Vapor by Freeze-Dried Food Materials. *Journal of Food Science*, 30: 779–786. doi: 10.1111/j.1365-2621.1965.tb01840.x
- [20] C. de Torres, R. Schumacher, M. E. Alañón, M. S. Pérez-Coello, and M. C. Díaz-Maroto, "Freeze-dried grape skins by-products to enhance the quality of white wines from neutral grape varieties," *Food Res. Int.*, vol. 69, pp. 97–105, 2015.

- [21] Ayala-Aponte AA, Serna-Cock L, Giraldo-Cuartas CJ. Efecto de la agitación sobre la deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) empleando soluciones de sacarosa. *Interciencia*. 2009 Jul; 34 (7): 492-496.
- [22] F. A. N. Fernandes, S. Rodrigues, C. L. Law, and A. S. Mujumdar, "Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 163–185, 2011.
- [23] J. Samoticha, A. Wojdyło, and K. Lech, "The influence of different the drying methods on chemical composition and antioxidant activity in chokeberries," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 66, pp. 484–489, 2016.
- [24] V. B. De Souza, A. Fujita, M. Thomazini, E. R. Da Silva, J. F. Lucon, M. I. Genovese, and C. S. Favaro-Trindade, "Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace," *Food Chem.*, vol. 164, pp. 380–386, 2014.
- [25] C. James, G. Purnell, and S. J. James, "A Critical Review of Dehydrofreezing of Fruits and Vegetables," *Food Bioprocess Technol.*, vol. 7, no. 5, pp. 1219–1234, 2014.
- [26] A. Vallan, "Measurement system for lyophilization process monitoring," *2007 Ieee Instrum. Meas. Technol. Conf. Vols 1-5*, pp. 1512–1516, 2007.
- [27] M. J. Fabra, P. Talens, G. Moraga, and N. Martínez-Navarrete, "Sorption isotherm and state diagram of grapefruit as a tool to improve product processing and stability," *J. Food Eng.*, vol. 93, no. 1, pp. 52–58, 2009.
- [28] S. Ghio, a. a. Barresi, and G. Rovero, "A Comparison of Evaporative and Conventional Freezing Prior to Freeze-Drying of Fruits and Vegetables," *Food Bioprod. Process.*, vol. 78, no. 4, pp. 187–192, 2000.
- [29] J. N. Park, N. Y. Sung, E. H. Byun, E. B. Byun, B. S. Song, J. H. Kim, K. A. Lee, E. J. Son, and E. S. Lyu, "Microbial analysis and survey test of gamma-irradiated freeze-dried fruits for patient's food," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 111, pp. 57–61, 2015.
- [30] Abdelwahed W, Degobert G, Stainmesse S, Fessi H. Freezedrying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations. *Adv Drug Deliver Rev*. 2006 Dic 30; 58 (15): 1688-1713.
- [31] A. Basu, M. Wilkinson, K. Penugonda, B. Simmons, N. M. Betts, and T. J. Lyons, "Freeze-dried strawberry powder improves lipid profile and lipid

- peroxidation in women with metabolic syndrome: baseline and post intervention effects.,” *Nutr. J.*, vol. 8, no. 1, p. 43, 2009.
- [32] M. Zhang, J. Tang, A. S. Mujumdar, and S. Wang, “Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 17, no. 10, pp. 524–534, 2006.
- [33] E. B. E. Petrusa, A. B. C. Peresson, P. E. N. Loi, M. T. S. Passamonti, and F. M. A. Vianello, “Evidence for a putative X flavonoid translocator similar to mammalian bilitranslocase in grape berries (*Vitis vinifera* L .) during ripening,” pp. 203–213, 2008.
- [34] J. G. Swift, M. S. Buttrose, and J. V. Possingham, “2.-UVA SECCION HISTOLOGICA.pdf,” *Vitis*, vol. 12, pp. 38–45, 1973.
- [35] A . Camacho, M. Giles, A. Ortegón, M. Palao, and O. Velázquez, “Método para la determinación de bacterias coliformes , coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP),” *Técnicas para el Análisis Microbiológico Aliment.*, vol. 2, pp. 1–17, 2009.
- [36] Serafin-Higuera, N., Hernandez-Sanchez, J., Ocadiz-Delgado, R., Vazquez-Hernandez, J., Albino-Sanchez, M. E., Hernandez-Pando, R., & Gariglio, P. (2012). Retinoic acid receptor β deficiency reduces splenic dendritic cell population in a conditional mouse line. *Immunology letters*, 146(1-2), 15-24.
- [37] Schlosser, J., Olsson, N., Weis, M., Reid, K., Peng, F., Lund, S., & Bowen, P. (2008). Cellular expansion and gene expression in the developing grape (*Vitis vinifera* L.). *Protoplasma*, 232(3-4), 255.
- [38] Trentham, W. R., Sams, C. E., & Conway, W. S. (2008). Histological effects of calcium chloride in stored apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133(4), 487-491.
- [39] Braidot, E., Petrusa, E., Bertolini, A., Peresson, C., Ermacora, P., Loi, N., ... & Vianello, A. (2008). Evidence for a putative flavonoid translocator similar to mammalian bilitranslocase in grape berries (*Vitis vinifera* L.) during ripening. *Planta*, 228(1), 203.
- [40] Minjares-Fuentes, R., Femenia, A., Comas-Serra, F., Rosselló, C., Rodríguez-González, V. M., González-Laredo, R. F., ... & Medina-Torres, L. (2016). Effect of different drying procedures on physicochemical properties and flow behavior of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel. *LWT-Food Science and Technology*, 74, 378-386.
- [41] Ray, A., Gupta, S. D., Ghosh, S., Aswatha, S. M., & Kabi, B. (2013). Chemometric studies on mineral distribution and microstructure analysis of

freeze-dried Aloe vera L. gel at different harvesting regimens. *Industrial crops and products*, 51, 194-201.

- [42] Zhang, H., Zhang, J., & He, L. (2010, June). Effects of the sample's porous structure on the process of vacuum freeze drying. In *2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering* (pp. 1-4). IEEE.
- [43] Vallan, A. (2007, May). A measurement system for lyophilization process monitoring. In *2007 IEEE Instrumentation & Measurement Technology Conference IMTC 2007* (pp. 1-5). IEEE.
- [44] Cardona, J. A., Lopera, G. L., Montoya, A. M., Montoya, A. M., Peña, J. D., Gil, M., ... & Restrepo, G. M. (2006). Obtención de oleorresina de pimenton (*Capsicum annum* L.). *Vitae*, 13(1).
- [45] Athanasio, A. P., Smith, S., Vakilpour, N., Kumaran, A., Turner y D. Bagiokou. 2007. Vanilloid receptor agonists and antagonists are mitochondrial inhibitors: How vanilloids cause non-vanilloid receptors mediated cell death. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 364:50-55.
- [46] Restrepo Gallego, M. (2006). Oleorresinas de capsicum en la industria alimentaria. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(2).