

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación técnica y económica del proceso de liofilización de frutas a  
escala laboratorio

Trabajo de graduación presentado por Ximena Sofía Alvarado Leonardo para  
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

Guatemala

2021



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación técnica y económica del proceso de liofilización de frutas a  
escala laboratorio

Trabajo de graduación presentado por Ximena Sofía Alvarado Leonardo para  
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Química

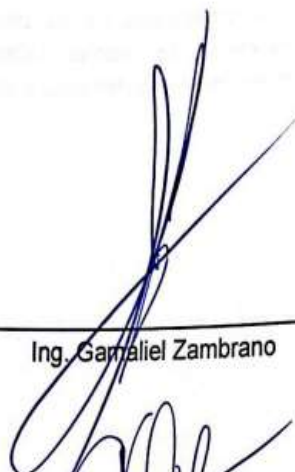
Guatemala

2021

Vo. Bo.:

(f)   
Ing. Frances Recari – Col.

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Gamaliel Zambrano

(f)   
Ing. Carmen Ortiz

(f)   
Ing. Frances Recari

Fecha de aprobación: Guatemala, 13 de diciembre del 2021

## **Prefacio**

Al final de este recorrido de cinco años, agradezco primeramente a Dios por haberme permitido culminar exitosamente mi carrera y haberles permitido a mis padres apoyarme desde el inicio de esta.

Agradezco a mis padres y mis hermanos por el apoyo incondicional que me dieron durante todos mis estudios y los ánimos y motivación que me ayudaron a llegar hasta donde estoy. Agradezco a mis abuelos por siempre estar para mí y motivarme todos los días a ser una profesional exitosa.

Agradezco a mis amigos y futuros colegas en la vida, por ser un apoyo constante y ayudarme en los momentos más difíciles de mi vida y de mi carrera. Una especial mención a Jimena, Fabiola, Camila, Valeria, Ernesto, Sebastián, Ricardo y Andrés

Finalmente, pero no menos importante, quisiera agradecer a los siguientes ingenieros: Alejandro Kong, Frances Recari, Luis Núñez y Gamaliel Zambrano, por ser una guía tanto personal como profesional y permitirme desarrollarme como la adulta e ingeniera que siempre aspiré a ser.

# ÍNDICE

LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS .....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. FRUTAS (CONTEXTO MUNDIAL).....	4
1. Panorama general .....	4
2. Producción .....	4
3. Comercio local .....	5
4. Composición de las frutas .....	6
B. FRUTA LIOFILIZADA .....	8
1. Características .....	8
2. Usos .....	8
3. Consumidores.....	9
4. Productos sustitutos .....	9
5. Competencia.....	9
C. LIOFILIZACIÓN .....	9
1. Proceso de liofilización.....	10
D. MÉTODO MANIFOLD .....	16
E. HUMEDAD .....	17
1. Balanza de humedad.....	17
F. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA COMIDA.....	17
G. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	18
1. Precio de venta .....	18
2. Punto de equilibrio.....	19
H. CONSUMO ELÉCTRICO.....	19
V. ANTECEDENTES.....	21
VI. METODOLOGÍA .....	23
A. Equipos .....	23
B. Materiales .....	23

C.	Reactivos.....	23
D.	Cristalería.....	23
VII.	RESULTADOS.....	28
VIII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	37
IX.	CONCLUSIONES .....	41
X.	RECOMENDACIONES.....	42
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
XII.	ANEXOS .....	45

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Precios de frutas en los establecimientos de: Mercado La Terminal, mercado al aire libre y Supermercado Paiz. (Actualizado a agosto 2021) .....	6
Tabla 2. Composición nutricional de frutas.....	6
Tabla 3. Propiedades térmicas de frutas.....	18
Tabla 4. Humedad promedio de la fresa a partir de distintos tiempos .....	29
Tabla 5. Humedad promedio del mango a partir de distintos tiempos .....	30
Tabla 6. Humedad promedio del coco a partir de distintos tiempos .....	31
Tabla 7. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; llevando a cabo corridas individuales en el equipo, durante un año.....	32
Tabla 8. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; utilizando el equipo a su máxima capacidad, durante un año .....	34
Tabla 9. Datos del liofilizador empleado en la Universidad del Valle de Guatemala.....	46
Tabla 10. Análisis de humedad de las frutas frescas.....	46
Tabla 11. Análisis de humedad de las frutas liofilizadas .....	46
Tabla 12. Energía cedida por las frutas a partir del proceso de congelación.....	46
Tabla 13. Balance de energía del proceso de liofilización de fresa .....	47
Tabla 14. Balance de energía del proceso de liofilización de mango .....	47
Tabla 15. Balance de energía del proceso de liofilización de coco .....	48
Tabla 16. Primera corrida de liofilización de fresa .....	49
Tabla 17. Segunda corrida de liofilización de fresa .....	49
Tabla 18. Primera corrida de liofilización de mango .....	50
Tabla 19. Segunda corrida de liofilización de mango .....	50
Tabla 20. Primera corrida de liofilización de coco .....	50
Tabla 22. Segunda corrida de liofilización de coco .....	50
Tabla 21. Consumos eléctricos de los equipos de la Universidad del Valle de Guatemala .....	51
Tabla 22. Precios de las frutas: fresa, mango y coco .....	51
Tabla 23. Datos de humedad y masa seca de las frutas frescas: fresa, mango y coco .....	51
Tabla 24. Peso de fruta fresca necesaria para obtener lotes liofilizados de fruta de 0.010 kg (10 gramos).....	51
Tabla 25. Consumo eléctrico del proceso de liofilización por tipo de fruta llevando a cabo corridas individuales en el equipo.....	51
Tabla 26. Costos variables para la producción de un lote de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada, llevando a cabo corridas individuales en el equipo.....	52

Tabla 27. Costos variables para la producción de 10 lotes de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada, utilizando el equipo a su máxima capacidad .....	52
Tabla 28. Prestaciones laborales anuales de un operario con salario mínimo .....	52
Tabla 29. Costos fijos del equipo para la producción de un lote de 0.01 kg (10 gramos) llevando a cabo corridas individuales .....	52
Tabla 30. Costos fijos del equipo para la producción de 10 lotes de 0.01 kg (10 gramos), utilizando el equipo a su máxima capacidad .....	53
Tabla 31. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales de fruta llevando a cabo corridas individuales en el equipo durante 1 año .....	53
Tabla 32. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales de fruta utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante 1 año .....	53
Tabla 33. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales del proceso de liofilización de frutas llevando a cabo corridas individuales en el equipo durante 5 años .....	54
Tabla 34. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales equilibrio del proceso de liofilización de frutas utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante 5 años .....	54
Tabla 35. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 1 año .....	54
Tabla 36. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante un año .....	55
Tabla 37. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante un año .....	55
Tabla 38. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 1 año .....	56
Tabla 39. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 1 año .....	59
Tabla 40. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 1 año .....	61
Tabla 41. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 5 años .....	64
Tabla 42. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 5 años .....	64
Tabla 43. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 5 años .....	65
Tabla 44. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 5 años .....	65

Tabla 45. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 5 años .....	68
Tabla 46. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 5 años .....	70
Tabla 47. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; llevando a cabo corridas individuales en el equipo, durante 5 años .....	73
Tabla 48. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; utilizando el equipo a su máxima capacidad, durante cinco años .....	75
Tabla 49. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lote mensuales de fruta utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante ocho años .....	77
Tabla 50. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lote mensuales de fruta utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante diez años .....	77
Tabla 51. Datos eléctricos del congelador y el aire acondicionado .....	77

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composición nutricional de la fresa.....	7
Figura 2. Composición nutricional del mango .....	7
Figura 3. Composición nutricional del coco.....	8
Figura 5. Esquema general del balance masa y energía de un congelador .....	12
Figura 6. Etapa del proceso de liofilización .....	13
Figura 7. Diagrama temperatura-concentración del agua y una solución acuosa en el que se muestran los pasos del proceso de liofilización (escala parcial).....	14
Figura 8. Esquema general del balance masa y de un liofilizador .....	15
Figura 9. Historia térmica de un proceso de liofilización: 1a: Enfriamiento; 1b: Tratamiento térmico (Annealing); 2a: Secado primario; 3a: Secado secundario .....	16
Figura 10. Balanza de humedad Ohaus .....	17
Figura 11. Tarifas finales para los usuarios; trimestre febrero – abril 2021 .....	20
Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de liofilización de fruta .....	28
Figura 13. Curva de humedad de la fresa.....	29
Figura 14. Curva de humedad del mango.....	30
Figura 15. Curva de humedad del coco.....	31
Figura 16. Punto de equilibrio a 1 año de la producción y ventas de fresa liofilizada, llevando a cabo corridas individuales en el equipo.....	32
Figura 17. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de mango liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo .....	33
Figura 18. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de coco liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo.....	33
Figura 19. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de fresa liofilizada llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad.....	34
Figura 20. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de mango liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad .....	35
Figura 21. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de coco liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad.....	36
Figura 22. Liofilizador Labconco de la Universidad del Valle de Guatemala y sus partes.....	45
Figura 23. Primeros intentos de fresas liofilizadas .....	45
Figura 24. Balance de masa y energía del proceso de liofilización de fresas .....	47
Figura 25. Balance de masa y energía del proceso de liofilización de mango .....	48
Figura 26. Balance de masa y energía del proceso de liofilización de coco.....	49

Figura 27. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de fresa liofilizada, llevando a cabo corridas individuales en el equipo .....	73
Figura 28. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de mango liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo .....	74
Figura 29. Punto de equilibrio a cinco años de la producción y ventas de coco liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo .....	74
Figura 30. Punto de equilibrio a cinco años de la producción y ventas de fresa liofilizada llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad .....	75
Figura 31. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de mango liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad .....	76
Figura 32. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de coco liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad.....	76

## RESUMEN

Este estudio muestra el análisis técnico y económico del proceso de liofilización de tres tipos de frutas: fresa, mango y coco. La producción de estas frutas en el país se da todo el año, a excepción del mango cuya producción se da únicamente de los meses de febrero a julio. Para el estudio técnico se analizó previamente el contenido de humedad de los tres tipos de frutas. Los resultados de este análisis mostraron que la fresa contiene 89.09% de humedad, el mango contiene 80.43% y el coco un 34.14%. A partir del proceso de liofilización se buscaba obtener un producto final con una humedad menor al 10%. Para esto se realizaron las curvas de humedad de los tres tipos de frutas, las cuales demostraron una relación directamente proporcional entre la humedad del producto y el tiempo de liofilización. En el caso de la fresa, se obtuvo un tiempo de liofilización total de 60 horas para obtener un producto final con 8.95% de humedad. Para el mango, es necesario un tiempo de liofilización de 45 horas para obtener un producto final de 8.62%. Finalmente, es necesario liofilizar el coco por 15 horas para obtener un producto final con 7.90% de humedad. A partir de estos datos, fue posible realizar el balance de masa y energía del proceso completo de liofilización, incluyendo las etapas previas al mismo. Se analizó el consumo energético proveniente del congelador y del equipo de liofilización conformado por el condensador y la bomba de vacío. El consumo energético total de cada tipo de fruta tropical fue el siguiente: para las fresas el consumo total fue de 410734 kJ, para el mango el consumo total fue de 360313 kJ, y para el coco el consumo energético total fue de 219470 kJ.

Empleando los datos de consumo energético y evaluación técnica, se realizó un análisis económico del punto de equilibrio para conocer el precio de venta y el número de unidades a vender para llegar a igualar los costos con las ganancias. Este análisis se realizó para dos escenarios: el primero es empleando el equipo una corrida a la vez para la producción de lotes individuales de 10 gramos de fruta liofilizada y el segundo, es empleando el equipo a su capacidad máxima para poder generar 10 lotes de 10 gramos de fruta liofilizada, esto durante 1 y 5 años. Los resultados mostraron que el escenario con un menor costo de operación fue el segundo. Sin embargo, ninguno de los dos escenarios demostró ser rentable ya que los precios de venta de los productos liofilizados no pueden competir con aquellos que se encuentran a la venta en el mercado. Los costos de operación del equipo de liofilización pueden ser reducidos empleando el equipo a máxima capacidad y aumentando la capacidad de producción.

# I. INTRODUCCIÓN

El proceso de liofilización tiene sus orígenes en el Imperio Inca, en el altiplano andino a 4000 metros sobre el nivel del mar. Allí los pobladores realizaban y continúan realizando un producto denominado Chuño, resultado de la deshidratación de la papa. La técnica consiste en dejar las papas cosechadas sobre el suelo, de manera que durante la noche se congelen como consecuencia de las muy bajas temperaturas, y durante el día el sol y el viento seco produzcan el cambio de estado del agua (desde el sólido al vapor sin mediar la fase líquida). Con el paso de los años se desarrolló industrialmente esta técnica de conservación que integra dos métodos confiables: la congelación y la deshidratación. El desarrollo comercial de este proceso se produjo durante la Segunda Guerra Mundial, donde se utilizó para conservar plasma sanguíneo y en la preparación de los primeros antibióticos de penicilina. Años después, alrededor de 1960, comenzó a utilizarse la misma tecnología sobre una gran variedad de productos, entre ellos los alimentos. Actualmente se aplica en industrias farmacéuticas, para preservar antibióticos, vacunas (por ejemplo, la vacuna del sarampión), plasma, hemoderivados, vitaminas, extractos, leche materna (Castro, 2009).

Con relación a la industria de los alimentos, se comenzó a utilizar en la fabricación de productos especiales para montañistas, astronautas, bases militares y otros similares. Desde hace un tiempo se comercializan liofilizados tanto como ingredientes industriales como para el consumidor en general, ampliándose así el mercado de estos productos de alto valor agregado (Castro, 2009).

La liofilización es un proceso de conservación mediante sublimación utilizado con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termosensibles. Es el más noble proceso de conservación de productos biológico conocido, porque aúna los dos métodos más fiables de conservación, la congelación y la deshidratación. Sin conservantes o productos químicos, es el proceso más adecuado para preservar células, enzimas, vacunas, virus, levaduras, sueros, derivados sanguíneos, algas, así como frutas, vegetales, carnes, peces y alimentos en general. En este proceso de secado los productos obtenidos no se ven alterados en sus propiedades y se rehidratan fácilmente (Garza, 2015).

Este proceso no altera la estructura química del material, pero permite su conservación indefinida sin cadena de frío, con menos del 5% de humedad y alta estabilidad microbiológica. A diferencia de lo que ocurre en el secado por calor, con la liofilización en alimento el encogimiento es mínimo, el aspecto, la textura, el sabor y el aroma no se pierden, se intensifican y se mantienen las características nutricionales. Es ideal para conservar productos alimenticios, farmacéuticos y biológicos, que no deben calentarse ni siquiera a temperaturas moderadas. La ventaja de los productos elaborados a base de frutas es que aseguran el mercado aún en épocas de escasez; se puede utilizar fruta de inferiores calidades incluso con daños físicos o su estado de madurez óptimo (Garza, 2015).

En el mercado nacional se encuentran a disposición del público algunas presentaciones de fruta deshidratada por medio del proceso de liofilización, de procedencia extranjera. El producto se empaca en bolsas laminadas de aluminio, normalmente en presentaciones de 10 y 28 gramos. Por otro lado, en Guatemala se produce y distribuyen snacks de fruta liofilizada en presentaciones de 15 y 20 gramos.

## II. JUSTIFICACIÓN

La liofilización es un proceso empleado ampliamente por la industria alimenticia para la producción de comidas con un porcentaje de humedad menor al 10%, cuya vida de anaquel pueda ser prolongada por años. Este procedimiento permite la eliminación de la humedad contenido en la comida se lleva a cabo mediante el proceso de sublimación, a diferencia del proceso de deshidratación que utiliza la evaporación. En la Universidad del Valle de Guatemala se llevó a cabo un análisis técnico y económico, a escala laboratorio, del proceso de liofilización de frutas tales como: fresa, mango y coco. Dichas pruebas fueron llevadas a cabo para determinar el tiempo de liofilización necesario para obtener un producto final con humedad menor al 10%. A partir del análisis mencionado anteriormente, fue posible definir los tiempos de secado para cada fruta y, a partir de esto, se determinó el gasto energético que conlleva el proceso.

Para determinar el precio de venta de snacks liofilizados en el laboratorio, fue necesario realizar un análisis económico partiendo de los datos técnicos obtenidos previamente. Se utilizó como tasa de cambio de dólar Q7.73, consultando como fuente el Banco de Guatemala. A partir de esto fue posible determinar si el precio de venta es competitivo con aquellos ofrecidos en tiendas y supermercados del país. Tanto el análisis técnico como económico, determinará la rentabilidad del proceso de liofilización de snacks de fruta a nivel laboratorio y la venta de este.

### III. OBJETIVOS

#### **A. General**

Realizar una evaluación técnica y económica del proceso de liofilización de frutas a escala laboratorio.

#### **B. Específicos**

1. Preparación e implementación del equipo de liofilización en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala para la realización de pruebas de liofilización en tres frutas
2. Realizar las curvas de secado de frutas para determinar el tiempo de liofilización necesario para determinar el tiempo de liofilización en la obtención de un producto final con menos del 10% de humedad
3. Realizar un análisis económico del proceso de liofilización a nivel laboratorio para obtener el costo de la fruta liofilizada a partir de los tiempos de secado.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. FRUTAS (CONTEXTO MUNDIAL)

En el comercio de las frutas en fresco se distinguen dos grandes grupos de productos según su zona climática de producción: las frutas de zona templada (cítricos, frutas de hueso, frutas de pepita, fresa, melón, sandía, etc.), también conocidas como frutas de estación (temporada) o contra-estación, que se producen en los Hemisferios Norte y Sur entre los paralelos 30 y 50 de las latitudes Norte y Sur y que requieren de frío en alguna etapa de su desarrollo; y las frutas, que se producen entre los paralelos 30 y el Ecuador en las zonas de los trópicos de Cáncer y de Capricornio de ambos hemisferios y que, por lo general, no requieren de frío y no tienen una marcada estacionalidad de producción (Álvarez, 2016).

#### 1. Panorama general

Los datos provisionales indican que el comercio mundial de las principales frutas alcanzó un nuevo máximo de 7,7 millones de toneladas en 2019, lo que supuso un incremento del 6,4 %, o 465 000 toneladas, en comparación con el año anterior (FAO, 2020).

Las cuatro principales frutas tropicales registraron situaciones de la oferta dispares, aunque en general fueron positivas, así como un crecimiento de la demanda, en particular de China, donde el incremento de los ingresos y el cambio en las preferencias de los consumidores están aumentando el interés en las frutas tropicales. Esto favoreció especialmente las exportaciones mundiales de mangostán y piña, tomando en cuenta de que la producción de China no pudo crecer al mismo ritmo que la demanda interna. Por consiguiente, el grupo de productos básicos compuesto por el mango, la guayaba y el mangostán registró el mayor crecimiento en cifras reales en 2019. A nivel mundial, la piña, el aguacate y el mango siguen siendo las tres frutas tropicales que más se comercializan, sin contar el banano (FAO, 2020).

Para fines de este trabajo, se estará trabajando con tres frutas principales, siendo estas: fresas, mango Tommy y coco. A continuación, se hablará de la producción y comercio de estas frutas en Guatemala.

#### 2. Producción

Los valores unitarios de exportación indicativos a nivel mundial de las cuatro principales frutas tropicales continuaron reflejando fielmente sus respectivas condiciones de la oferta y la demanda. Los valores unitarios de exportación indicativos a nivel mundial del mango siguieron ajustándose en líneas generales a sus variaciones estacionales habituales a lo largo del año, si bien fueron en promedio un 6 % más altos en 2019 que el año anterior al haber superado la demanda a la oferta, sobre todo durante los primeros cuatro meses del año (FAO, 2020).

En cuanto a la región de Guatemala específicamente, el Ministerio de Economía registra que para el año 2018, se tienen exportaciones de \$14.9 millones e importaciones de \$0.205 millones para las *berries*, lo cual comprende a las fresas, frambuesas, zarzamoras, moras y arándanos. Según el perfil comercial de las fresas presentado por el MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación), las fresas son un producto agrícola cuya producción se lleva a cabo todo el año debido al clima adecuado que presentan los siguientes departamentos del país: Chimaltenango, Sacatepéquez, Santa Rosa y Alta Verapaz. Este producto agrícola necesita de un clima entre 15°C a 20°C (MINECO, 2019).

Por otro lado, la comercialización de estos productos se realiza principalmente de dos formas, en fresco, para lo que se requiere una logística muy sincronizada entre los centros de producción y los puntos de exportación por avión. La otra forma en que se exportan estos productos es: congelado, lo que permite una

exportación en volúmenes mayores y con menores riesgos, pero con inversiones mucho más significativas (MAGA, 2014).

Según el Ministerio de Economía, para el año 2020 se tenía un total de \$5.6 millones en exportación de mango y \$0.4 millones en importación de mango y mangostanes. Según el perfil comercial del mango presentado por el MAGA, la época de cosecha de este producto es del mes de febrero al mes de junio, la cual se lleva a cabo principalmente en los departamentos de: Retalhuleu, Santa Rosa, Suchitepéquez, Escuintla, San Marcos y Jutiapa; esto se debe a los climas cálidos que poseen (MINECO, 2020).

Para las épocas del mes de julio a diciembre, un 90% del mango en venta en Guatemala es proveniente de importaciones, en su mayoría de Estados Unidos. Es por esta razón que el precio de este suele incrementar en comparación al primer semestre del año (MINECO, 2020).

Finalmente, según el Ministerio de Economía de El Salvador, Guatemala exporta aproximadamente un estimado de \$0.5 millones de coco. Actualmente no existe un dato exacto de la cantidad de coco importado a Guatemala, pero se tiene una estimación dentro de \$0.2 a \$0.4 millones. Esto se debe principalmente a que el coco es un producto agrícola disponible a lo largo de todo el año debido a la facilidad de siembra de los cocoteros (MAG, 2014).

Entre los principales departamentos del país donde se lleva a cabo la cosecha del coco se encuentran: Petén, Escuintla, Santa Rosa, Suchitepéquez y Jutiapa. Estos departamentos tienen la característica de tener climas que comprenden entre los 27°C hasta los 33°C, siendo el clima ideal para el cultivo del coco (SIG-MAGA).

### 3. Comercio local

La industria alimentaria del país es muy fuerte y cuenta con empresas locales de amplia trayectoria, pero también con una fuerte presencia de multinacionales. Estas últimas, algunas de las cuales han adquirido empresas locales, utilizan como estrategia común su propia distribución, reduciendo así el número de intermediarios de la cadena y ajustando los márgenes lo máximo posible. El resto de las empresas, sin embargo, suelen operar a través de un distribuidor, que les permite acceso a ambos canales. Una de las características principales del esquema de comercialización es la mayor participación del canal tradicional en relación con el moderno, pese a que existe una lucha entre ambos canales y es cada vez mayor el número de unidades de venta que abren las grandes superficies. La venta de productos agrícolas al consumidor, como lo es la fruta, se puede realizar a través del canal minorista moderno. Este canal lo domina tres grandes cadenas: Walmart, Unisuper y PriceSmart, las cuales aglutinan en torno a un 30% de las ventas de alimentos (ICEX, 2019).

Otro tipo de distribución de productos agrícolas es la *distribución tradicional*. Este se basa en el mercado informal. La última Encuesta Nacional de Empleos e Ingresos realizada en 2016 sitúa a un 66% de la población económicamente activa del país en el mercado informal, lo que supone alrededor de 4.6 millones de personas autónomas que no contribuyen con impuestos ni reciben ninguna ayuda de la seguridad social guatemalteca. Este grupo comprende tanto a los comerciantes de las tiendas de barrio y pequeños mercados como a los vendedores ambulantes (ICEX, 2019).

Los mercados al aire libre y/o vendedores ambulantes se abastecen de productos agrícolas, en su mayoría, provenientes del Mercado La Terminal. Este es el principal centro de abasto del área metropolitana. Es importante mencionar que un consumidor puede ir personalmente al Mercado La Terminal a comprar productos agrícolas a precios más accesibles que aquellos de los supermercados (ICEX, 2019).

Tanto en los mercados como en los supermercados, las fresas se encuentran en presentaciones de media libra y de una libra. Por otro lado, el mango y el coco pueden comprarse por unidad y por mano (5 unidades).

Como se mencionó anteriormente, este trabajo se centrará únicamente en el análisis de tres frutas: fresa, mango y coco. A continuación, se mostrará el rango de precios al consumidor de dichos productos en tres establecimientos distintos:

Tabla 1. Precios de frutas en los establecimientos de: Mercado La Terminal, mercado al aire libre y Supermercado Paiz. (Actualizado a agosto 2021)

<b>Producto</b>	<b>Presentación</b>	<b>Mercado La Terminal</b>	<b>Mercado al aire libre</b>	<b>Supermercado Paiz</b>
Fresa	Libra (0.454 kg)	Q6.5	Q15.0	Q18.0
Mango Tommy	Unidad (0.580 kg)	Q2.0	Q5.0	Q6.0
Coco	Unidad (0.500 kg)	Q3.0	Q5.0	Q5.0

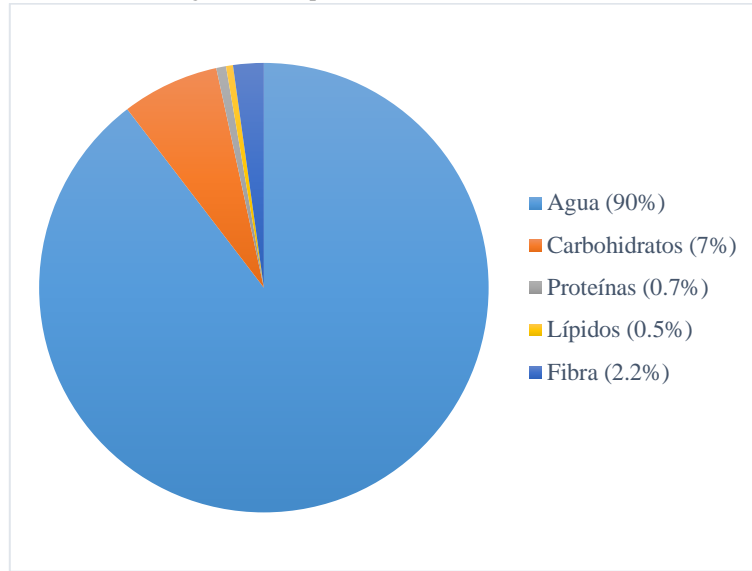
#### 4. Composición de las frutas

La composición química de las frutas depende sobre todo del tipo de fruta y de su grado de maduración. De manera general, las frutas están conformadas de los siguientes compuestos: agua, carbohidratos, fibra, vitaminas, sales minerales, lípidos, proteínas, aromas y pigmentos. A continuación, se mostrará la composición de las siguientes frutas: fresa, mango y coco (Leterme & Buldgen, 2005).

Tabla 2. Composición nutricional de frutas

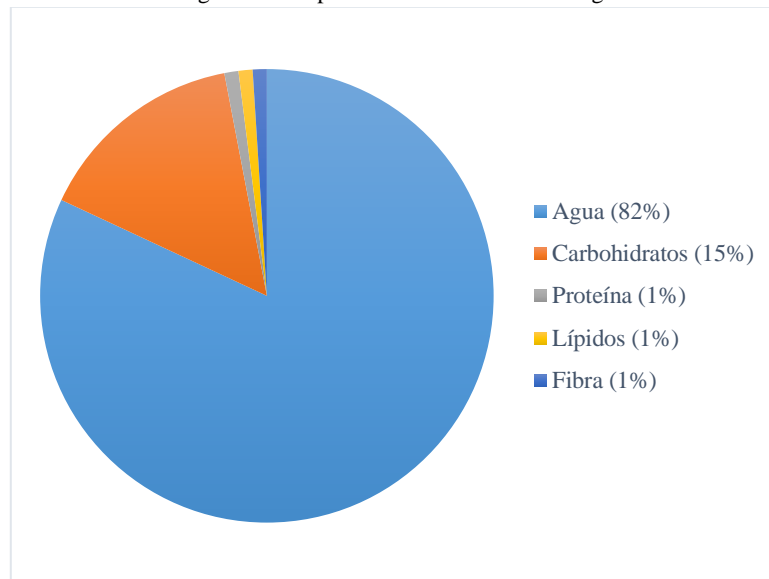
<b>Producto</b>	<b>Agua</b>	<b>Carbohidratos</b>	<b>Proteínas</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Fibra</b>
Fresa	89.6%	7.00%	0.70%	0.50%	2.20%
Mango	81.7%	17.0%	5.10%	2.70%	2.30%
Coco	38.4%	4.78%	4.63%	43.2%	9.00%

Figura 1. Composición nutricional de la fresa



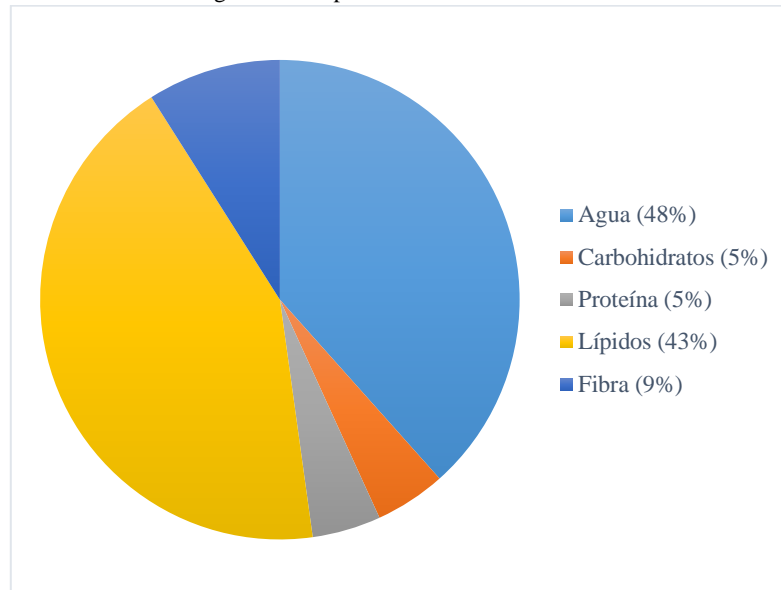
(Leterme & Buldgen, 2005)

Figura 2. Composición nutricional del mango



(Leterme & Buldgen, 2005)

Figura 3. Composición nutricional del coco



(Leterme & Buldgen, 2005)

## B. FRUTA LIOFILIZADA

### 1. Características

La técnica de liofilización se utiliza con el objetivo de reducir las pérdidas de los componentes responsables del aroma y sabor, los cuales se ven afectados en los procesos convencionales de secado, además de preservar algunos componentes como minerales y vitamina. Otras de las ventajas de emplear dicho método es la estabilidad microbiológica del producto final. Esto evita la proliferación de cualquier organismo microbiológico dentro del producto, que pueda resultar perjudicial a la hora de su consumo (Serpa, 2016).

La vida útil de un producto liofilizado es mayor que en su estado natural como, por ejemplo: para frutas y verduras es de 12 meses en un lugar fresco y seco, aunque puede extenderse a 24 meses si son refrigerados. El resto de los productos tienen una vida útil de aproximadamente 6 meses en su envase original. (Cuper, 1965).

Finalmente, el proceso de liofilización permite obtener un producto con un peso reducido, hasta diez veces menor al peso inicial. Esto aumenta la facilidad en el manejo del producto final y reduce notablemente los costos del embarque. De igual forma 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 (Serpa, 2016).

### 2. Usos

La fruta liofilizada es empleada como:

- Un *snack* ligero y fácil de llevar a todos lados
- Un sustituto para la fruta fresca
- Un producto para recetas de cocina
- Saborizantes de comida
- Una fuente de vitaminas y minerales

Poseen un 90 a 95% de rehidratación (Figueroa & Piña, 2006).

### 3. Consumidores

Los productos liofilizados satisfacen una necesidad básica de un grupo de consumidores muy específicos (como son clubes y ramas de montaña y andinismo) que realizan expediciones en condiciones extrema. De manera general, estos alimentos son consumidos por deportistas y personas que desean tener una fuente de vitaminas y sustento sin la preocupación de cómo y en donde conservar sus alimentos. Estos atletas se enfrentan a situaciones de climas extremos y necesitan una fuente de alimento fácil de cargar y sin necesidad de refrigeración. De igual forma es importante mencionar que cualquier consumidor promedio puede tener acceso a estos alimentos (Figueroa & Piña, 2006).

### 4. Productos sustitutos

Entre los productos sustitutos de la fruta liofilizada se encuentran la fruta deshidratada. La empresa guatemalteca Alimentos Campestres produce fruta deshidratada por el método de desecación por calor. La mayoría de su producción está destinada a las industrias alimentarias y al mercado de exportación. Los productos de fruta deshidratada por el proceso de desecación y deshidratada en su mayoría, en supermercados como Almacenes Paiz, La Torre, Wal-Mart, The Daily Shop, Vinoteca y Délica. Los usos y características de este tipo de productos son parecidos a los productos liofilizados, a diferencia de que el contenido final de humedad de estos es entre 10% al 25% del contenido inicial. Sin embargo, estos poseen una vida de anaquel de aproximadamente 6 a 12 meses (Garza, 2015).

La fruta congelada se considera como otro producto sustituto de forma indirecta. Esta puede ser consumida directamente como un *snack* o empleada para la cocina. Sin embargo, estas deben de mantenerse a temperaturas menores a su punto de congelación para poder asegurar una vida útil prolongada. Estos productos pueden ser encontrados a supermercados como Almacenes Paiz, Wal-Mart y La Torre (Garza, 2015).

Finalmente, otro producto sustituto de forma indirecta son las frutas conservadas en latas. La presentación de estos son pedazos de fruta cortada dentro de recipientes de aluminio. Estos tienen una vida de anaquel de aproximadamente 12 a 24 meses, sin necesidad de refrigeración. La venta de estos se lleva a cabo en supermercados como Almacenes Paiz, Wal-Mart y La Torre (Garza, 2015).

### 5. Competencia

Los productos de fruta liofilizada se importan a Guatemala desde Estados Unidos y Costa Rica, por dos diferentes empresas guatemaltecas. Debido a que este es un sector poco explotado, participan muy pocas empresas. Una de las empresas costarricenses que vende productos liofilizados en Guatemala, específicamente en Supermercados La Torre, es la empresa *YUM'S*. Esta empresa vende frutas y verduras liofilizadas en presentaciones de 10 gramos a un precio promedio de Q14.00. Este precio equivale a \$1.81, tomando en cuenta la tasa de cambio a la fecha (4 de noviembre, 2021): 7.72995. Esta empresa ofrece al consumidor tres presentaciones de fruta liofilizada: bolsa de 10g de fresa liofilizada, bolsa de 10g de mango liofilizado y bolsa de 10g de frutas surtidas (coco, banano, piña, fresa y mango) (Paiz, 2021).

## C. LIOFILIZACIÓN

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. Se ha desarrollado con el fin de reducir las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma en los alimentos, los cuales se pierden durante los procesos convencionales de secado. El proceso de liofilización consta principalmente de dos pasos; el primero consiste en congelar el producto y en el segundo paso el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida. Generalmente, al liofilizar adecuadamente un material se puede almacenar por períodos muy largos con reducciones muy bajas de sus características organolépticas, físicas, químicas y biológicas (Tonya, 2010).

T. A. Jennings (1993) reportó que el primer paso del proceso de liofilización debe ser el establecimiento de una formulación o un producto reproducible, es decir, en la cual exista un control cuidadoso sobre la composición química y las concentraciones de los constituyentes activos e inactivos. Considerando los medios a través de los cuales las propiedades físicas, ópticas y eléctricas pueden ser usadas para determinar si la naturaleza de la formulación cae dentro de límites predeterminados. El punto clave en la preparación de un producto a liofilizar es la reproducibilidad. Un producto liofilizado reproducible debe comenzar con una formulación reproducible o una composición conocida. El conocimiento de la formulación o composición del producto a liofilizar es el paso más importante del proceso.

La naturaleza, tiempo y gasto del proceso de liofilización son directamente dependientes de la naturaleza química y física del producto, su impacto sobre el proceso de secado y sobre la naturaleza del producto final no es frecuentemente bien entendido. La disminución del costo de la liofilización es un paso inmediato que se logrará mediante una reducción de la temperatura en la operación.

T. A. Jennings (1993) indica que existen conocimientos previos de vital importancia:

- En lo relacionado a la composición o formulación del producto es conveniente conocer el o los ingredientes activos y los constituyentes del producto, con la finalidad de analizar sus límites de concentración y propiedades tales como color, conductividad, índice de refracción, turbidez, etc., que al liofilizar podrían cambiar.
- También es muy importante el agua contenida en el producto a liofilizar, por la formación de los cristales de hielo durante la congelación, el súper-enfriamiento, el grado de cristalización y la conductividad del hielo.
- Grado de cristalización y la conductividad del hielo. En lo referente a los cambios de fase se debe determinar qué tan homogéneo o heterogéneo son sus componentes y cuáles son las variables de estado intensivas.

## 1. Proceso de liofilización

### a. Etapa de congelación

Tanto los productos sólidos (frutas y verduras) como los líquidos (café y zumos) deben congelarse previo a iniciar el proceso de liofilización. La congelación es la cristalización de un disolvente que, en el caso de los productos alimenticios, es el agua. Convertir la humedad de las frutas en hielo posee los siguientes beneficios:

- Inmoviliza los solutos en solución y evita la formación de espuma durante la reducción de presión en la cámara del liofilizador (Nowak, 2020).
- Limita los cambios químicos, bioquímicos y microbiológicos que tienen lugar en el material (Nowak, 2020).
- Crea una estructura específica de cristales de hielo en el producto congelado que, en el siguiente paso, facilita o limita la migración de vapor de agua del material seco; la estructura del hielo que se forma durante la congelación determina la intensidad del movimiento de la masa y, como resultado, da forma a la morfología final del material liofilizado (Nowak, 2020).
- Refuerzo de la estructura, contrarrestando la contracción de las células del tejido vegetal o animal provocada por la eliminación del agua de estas, lo que es posible debido a la plastificación del material por el agua líquida (Nowak, 2020).

b. Mecanismo de transferencia de calor durante el equilibrio de la congelación

El proceso de congelación consiste principalmente en factores termodinámicos y cinéticos, que pueden dominarse entre sí en una etapa particular del proceso de congelación. Se lleva a cabo una reducción en el contenido de calor del material durante el proceso de congelación. Inicialmente el producto se enfría hasta la temperatura a la que comienza la nucleación. Antes de que se pueda formar el hielo, se requiere un núcleo o una semilla sobre la cual pueda crecer el cristal; el proceso de producción de esta semilla se define como nucleación. Una vez que aparece el primer cristal en la solución, se produce un cambio de fase de líquido a sólido con un mayor crecimiento de cristales. Por lo tanto, la nucleación sirve como el proceso inicial de congelación y puede considerarse como el paso crítico que da como resultado un cambio de fase completo. El proceso de transferencia de calor durante el equilibrio de la congelación se conforma de tres etapas principales: (FAO, 2019).

1. Energía necesaria para enfriar el producto a la temperatura del inicio de la congelación ( $Q_1$ ). En el caso de las frutas, cada una de estas posee un punto de congelamiento inicial distinto.
2. Energía necesaria para cambiar de fase de líquido a sólido ( $Q_2$ )
3. Energía necesaria para llevar el producto a un congelamiento profundo de  $-80^\circ\text{C}$  ( $Q_3$ ) (FAO, 2019).

A continuación, se mostrarán las ecuaciones matemáticas empleadas para cada una de las etapas:

Ecuación 1. Etapa 1 de congelación

$$Q_{C1} = m_m \times c_{pm1} \times \Delta t_{1-2}$$

Ecuación 2. Etapa 2 de congelación

$$Q_{C2} = m_m \times r_m$$

Ecuación 3. Etapa 3 de congelación

$$Q_{C3} = m_m \times c_{pm2} \times \Delta t_{2-3}$$

Ecuación 4: Calor total de congelación

$$Q_{Ctotal} = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3}$$

Donde:

$Q_{C1}$  = Energía para enfriar el producto inicio de la congelación (kJ)

$Q_{C2}$  = Energía para cambio de fase de líquido a sólido (kJ)

$Q_{C3}$  = Energía para congelamiento profundo a una temperatura final (kJ)

$Q_{Ctotal}$  = Pérdida de energía total por congelación

$m_m$  = Fruta fresca por batch (kg)

$c_{pm1}$  = Capacidad calorífica punto crítico de congelación (kJ/kg°C)

$c_{pm2}$  = Capacidad calorífica congelación profunda (kJ/kg°C)

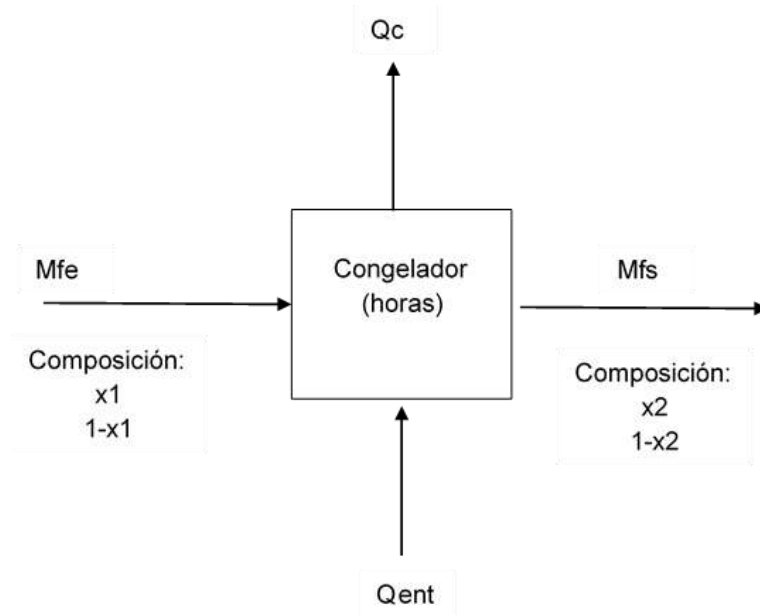
$r_m$  = Calor latente de líquido a sólido (kJ/kg)

$\Delta_{1-2}$  = Diferencia de temperatura inicial a congelamiento (°C)

$\Delta_{1-3}$  = Diferencia de temp de congelamiento a temperatura final deseada (°C)

c. Balance de masa y energía de un congelador

Figura 5. Esquema general del balance masa y energía de un congelador



(CDI 2009)

Donde:

$M_{fe}$  = Masa de fruta entrada (kg)

$M_{fs}$  = Masa de fruta salida (kg)

$x_1$  = % de humedad estado líquido

$x_2$  = % de humedad estado sólido

$Q_{ent}$  = Energía requerida para el trabajo del congelador (kJ)

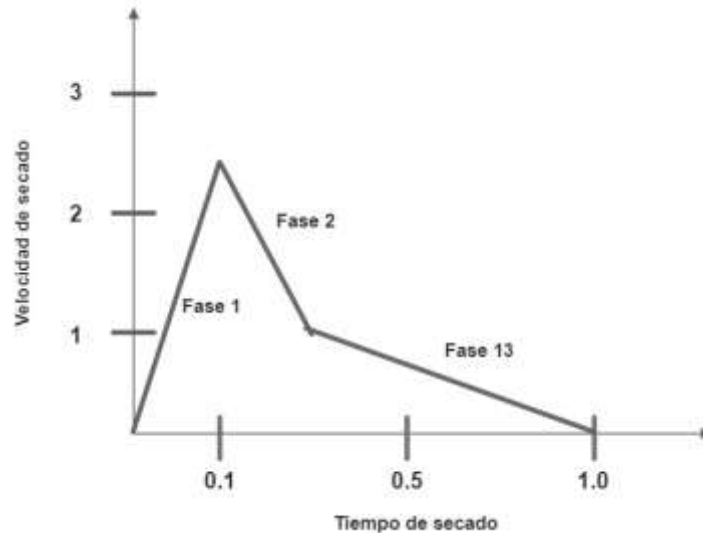
$Q_c$  = Energía disipada por el congelación (kJ)

d. Etapa de secado primario por sublimación

Sublimación es la conversión directa de vapor a sólido. Un proceso de sublimación significa un procedimiento mediante el cual una sustancia sufre una transición de estas o una combinación de ellas. El proceso de sublimación es mucho más eficiente a presiones mínimas debido a que el agua se extrae por un impulso originado por el gradiente de presión total

Cuando se realiza el secado mediante la liofilización se distinguen tres fases o etapas que se esquematizan en la Figura 6. Cuando en el proceso de liofilización se comienza el calentamiento, empieza a formarse un frente de sublimación o interfase entre la capa seca y la capa congelada de la muestra, el cual avanza progresivamente. La transferencia de masa ocurre por la migración de vapores a través de la capa seca de la muestra bajo la acción de una diferencia de presión

Figura 6. Etapa del proceso de liofilización



(CDI 2009)

Las tres fases que se pueden distinguir son las siguientes:

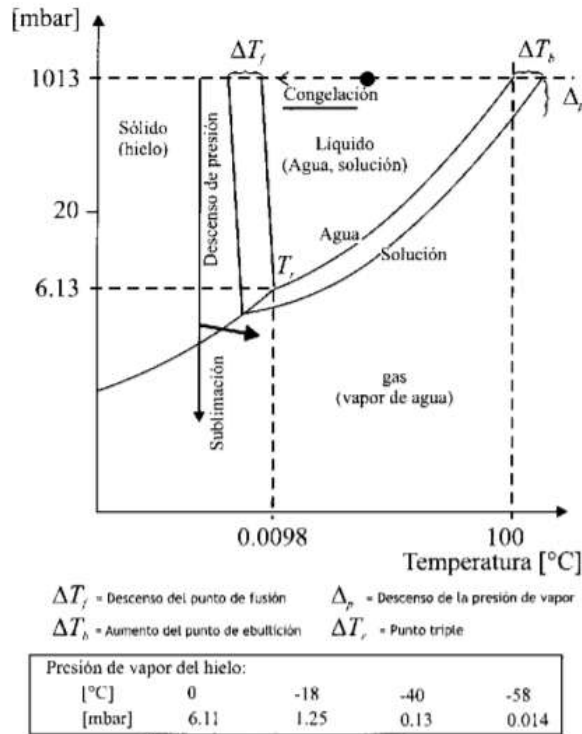
- Fase 1: a esta se le llama etapa conductiva. Inicialmente, por el calentamiento de la muestra, la velocidad de sublimación crece rápidamente hasta llegar a un máximo. El tiempo para agotar esta fase es relativamente corto, entre un 10 y 15% del tiempo total del proceso (CDI 2009).
- Fase 2: a esta se le llama etapa difusiva. Muestra un descenso importante de la velocidad de sublimación debido a la formación de una capa porosa de material seco que opone resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado (CDI 2009).
- Fase 3: a esta etapa se le llama secado secundario. La velocidad de sublimación continúa decreciendo de forma que se aproxima a cero. Esto debido a que el calor necesario para retirar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación. Puesto que la difusividad de los aromas disminuye sensiblemente cuando la humedad es pequeña, es posible en esta etapa incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C, dependiendo del material que se trate (CDI 2009).

Durante las primeras dos fases es donde se lleva a cabo la mayor parte de remoción de agua del producto (entre un 75-90%). Estas se denominan secado primario.

En la transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas impulsoras, que deben vencer las resistencias puestas por el espesor de la muestra y sus características físicas. El espesor es importante: mientras este es más delgado hay menor resistencia para que el flujo de calor y masa pase a través de la muestra (CDI 2009).

En el secado primario el hielo se retira de la muestra mediante sublimación desde la fase sólida a la gaseosa. Mientras se dispone de un sistema que constantemente retire este vapor, el proceso de secado por sublimación continuará hasta que se agote el hielo presente. Este papel lo cumple en un liofilizador el condensador (o mejor desublimador), elemento del equipo que ofrece una superficie suficientemente fría como para que el vapor de agua pase nuevamente a la fase sólida. La fuerza impulsora que mantiene la sublimación es el gradiente de presión de vapor entre la superficie congelada del producto y el condensado. A continuación, se muestran los pasos que se siguen en un proceso de liofilización en un diagrama temperatura-concentración (CDI 2009).

Figura 7. Diagrama temperatura-concentración del agua y una solución acuosa en el que se muestran los pasos del proceso de liofilización (escala parcial)



(CDI 2009)

e. Mecanismo de transferencia de calor y masa durante la sublimación

Las temperaturas bajo cero pueden provocar la formación de cristales de hielo en las superficies de las plantas. Para que el vapor de agua se condense como rocío o se deposite sobre las superficies como hielo por sublimación, el aire en contacto debe en primer lugar saturarse (i.e. alcanza el 100% de humedad relativa). Con una posterior caída de la temperatura, el vapor de agua tanto se condensará como se depositará sobre la superficie. Ambas son reacciones exotérmicas, por ello el calor latente se convierte en calor sensible durante los procesos de condensación o deposición y la liberación de calor disminuirá la caída de temperatura.

La humedad contenida dentro del producto en estado sólido es convertida en vapor y condensada dentro de la cámara de condensación del liofilizador. Como resultado se obtiene un producto final con una menor composición húmeda. La ecuación matemática empleada para el cálculo de la pérdida de energía de un producto por sublimación se muestra a continuación:

Ecuación 5. Pérdida de energía por sublimación

$$Q_s = m_m \times H_c$$

Donde:

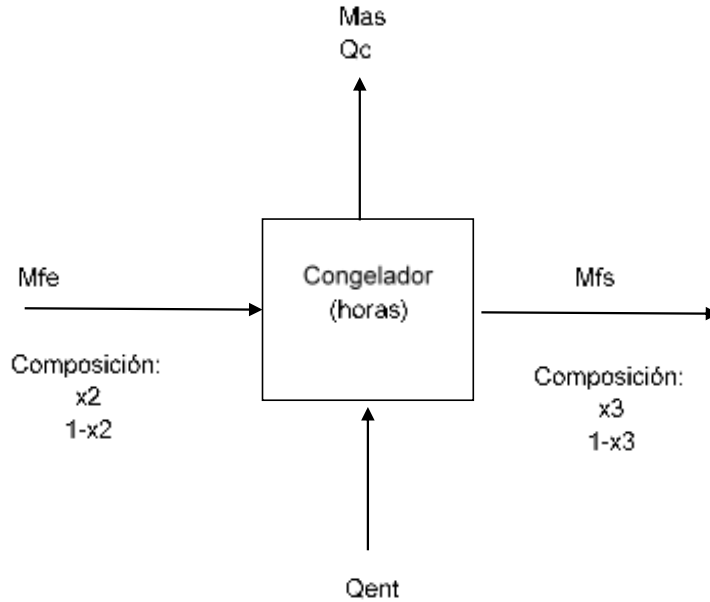
$Q_s$  = Energía por sublimación (kJ)

$m_m$  = Fruta fresca congelada por batch (kg)

$H_s$  = Entalpía del producto a x temperatura (kJ/kg)

f. Balance de masa y energía de un liofilizador

Figura 8. Esquema general del balance masa y de un liofilizador



(CDI 2009)

Donde:

$M_{fe}$  = Masa de fruta entrada (kg)

$M_{fs}$  = Masa de fruta salida (kg)

$M_{as}$  = Masa de agua salida (kg)

$x_2$  = % de humedad estado sólido

$x_3$  = % de humedad estado líquido

$Q_{ent}$  = Energía requerida para el trabajo del liofilizador (kJ)

$Q_s$  = Energía disipada por sublimación (kJ)

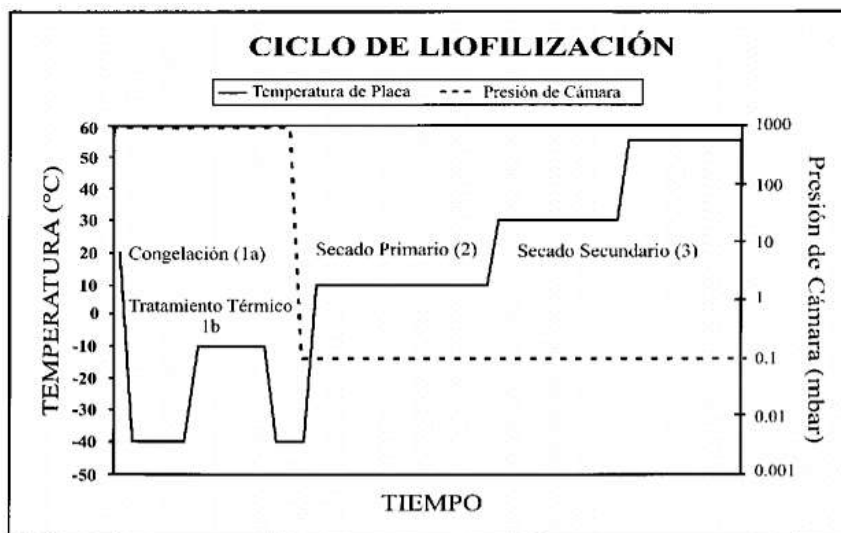
g. Etapa de secado secundario

Las porciones remanentes de agua no congelada, que no subliman en la primera etapa del secado, lo hacen por evaporación en la segunda etapa al incrementarse la temperatura de la matriz del alimento. Para el caso de matrices cristalinas, el mecanismo de secado es el de desorción y evaporación del agua desde la superficie cristalina. Con sustancias amorfas de hasta un 40% de agua lo preponderante es la difusión del agua a través de la fase vítrea, lo que hace muy prolongado el secado secundario.

Las partes secas de la muestra que se liofiliza pueden comenzar su secado secundario, aunque haya presencia en el alimento de hielo que sublima en fase primaria; mientras estas dos fases coexistan, y debido que el hielo que sublima enfría la estructura, permanece controlada la temperatura del alimento. Cuando desaparece la última porción de hielo se presenta un incremento de la temperatura. Con materiales amorfos debe tenerse

cuidado de no superar en el secado secundario su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ). Como este valor crece a medida que la muestra se seca es recomendable hacer en forma gradual el incremento de temperatura del plato calefactor y, consecuentemente, del alimento en esta fase de la operación Figura 8

Figura 9. Historia térmica de un proceso de liofilización: 1a: Enfriamiento; 1b: Tratamiento térmico (Annealing); 2a: Secado primario; 3a: Secado secundario



#### D. MÉTODO MANIFOLD

En el método de *Manifold*, los matraces, ampollas o viales se unen individualmente a los puertos de un colector o cámara de secado. El producto se congela en un congelador, por inmersión directa en un baño de baja temperatura o por congelación de cáscara, dependiendo de la naturaleza del producto y el volumen a liofilizar. El producto pre-congelado se conecta rápidamente a la cámara de secado o al colector para evitar que se caliente. El vacío debe crearse en el contenedor del producto rápidamente y el operador confía en el enfriamiento por evaporación para mantener la baja temperatura del producto. Este procedimiento solo se puede utilizar para volúmenes y productos relativamente pequeños con altas temperaturas eutécticas y de colapso. El punto eutéctico representa a la temperatura más baja en la que se puede obtener la máxima cristalización del solvente y el soluto. En este caso, es la temperatura más baja a la que se puede congelar completamente el agua y el resto de los sólidos de las frutas empleadas para la liofilización.

El secado por *Manifold* tiene varias ventajas sobre el secado en bandeja por lotes. Dado que los recipientes están conectados al colector individualmente, cada vial o matraz tiene un camino directo al colector. Esto elimina parte de la competencia por el espacio molecular creado en un sistema por lotes, y lo ideal es que se realice en una cámara de secado cilíndrica donde la distancia desde el colector a cada recipiente de producto es la misma. En un colector en "T", las moléculas de agua que dejan el producto en los recipientes más alejados del colector experimentan algunas congestiones de tráfico cuando pasan por los puertos de otros buques.

La entrada de calor puede verse afectada simplemente exponiendo los recipientes a temperatura ambiente o mediante un baño de circulación. Para algunos productos, donde se requiere un control de temperatura preciso, el secado múltiple puede no ser adecuado. Se pueden acomodar varios recipientes en un sistema múltiple que permite el secado de diferentes productos al mismo tiempo, en recipientes de diferentes

tamaños, con una variedad de sistemas de cierre. Dado que los productos y sus volúmenes pueden diferir, cada recipiente puede retirarse del colector por separado a medida que se completa su secado. La proximidad al colector también creó un entorno que maximiza la eficiencia del secado.

## E. HUMEDAD

La determinación de humedad es una de las técnicas más importantes y de mayor uso en el procesado, control y conservación de los alimentos, puesto que la mayoría de los productos alimenticios poseen un contenido mayoritario de agua, así, por ejemplo, la leche posee un 88%, el yogurt, entre un 80 y 90%, las carnes frescas (60-75%) y aún los llamados productos secos como las leguminosas o el arroz, alcanzan un contenido de humedad de hasta un 12%. El contenido de humedad en un alimento es, frecuentemente, un índice de estabilidad del producto. Por otra parte, el control de la humedad es un factor decisivo en muchos procesos industriales tales como la molienda de cereales, el mezclado de productos sólidos finos, en la elaboración de pan, etc. Así mismo, en la evaluación de muchos procesos industriales es de gran importancia conocer el contenido de agua de los productos o materias primas para formular el producto y evaluar las pérdidas durante el procesado (UNIZAR, 2013).

### 1. Balanza de humedad

Es un instrumento empleado de manera comercial o industrial el cual determina la humedad exacta que contiene una sustancia húmeda. La calefacción halógena distribuye el calor de manera uniforme sobre la muestra y acelera el proceso de secado, logrando mediciones rápidas y precisas. Para fines de esta experimentación se empleó una balanza de humedad marca Ohaus modelo MB90. Para el análisis de humedad de las frutas frescas se trabajó con el equipo a 120°C por 30 minutos, mientras que, con los productos liofilizados, se trabajó con el equipo a 70°C por 30 minutos.

Figura 10. Balanza de humedad Ohaus



## F. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA COMIDA

Para poder realizar los diversos cálculos de transferencia de calor involucrados en el diseño de equipos de almacenamiento y refrigeración y estimar los tiempos de proceso para refrigerar, congelar, calentar o secar alimentos, es necesario conocer las propiedades térmicas de los mismos. Debido a que las propiedades térmicas de los alimentos dependen en gran medida de la composición química y la temperatura, y debido a que hay muchos tipos de alimentos disponibles, es casi imposible determinar y tabular experimentalmente las propiedades térmicas de los alimentos y bebidas para todas las condiciones y composiciones posibles. Sin embargo, los datos de composición de alimentos y bebidas están disponibles de fuentes como Holland et al. (1991) y USDA (1975). Estos datos consisten en las fracciones de masa de los componentes principales encontrados en datos (D'Aragona, 2016).

Las propiedades termofísicas que a menudo se requieren para los cálculos de transferencia de calor incluyen densidad, calor específico, entalpía, conductividad y difusividad térmicas (D’Aragona, 2016). A continuación, se muestran los datos teóricos de las propiedades térmicas específicas de tres frutas:

Tabla 3. Propiedades térmicas de frutas

Producto	Capacidad calorífica punto crítico de congelación $c_{pm1}$ (kJ/kg°C)	Capacidad calorífica congelación profunda $c_{pm2}$ (kJ/kg°C)	Calor latente líquido a sólido $r_m$ (kJ/kg)	Entalpía a -80°C temperatura $H_S$ (kJ/kg)	Punto de congelación (°C)
Fresa	4.019	1.842	307.0	2260	-0.8
Mango	3.726	1.968	327.9	2260	-0.8
Coco	2.850	1.880	125.6	2260	-12.0

## G. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de proyectos de inversión consiste en medir el verdadero impacto en la economía de un país y la eficiencia en el uso de los recursos utilizados. Acá se analiza la rentabilidad del proyecto tanto sin financiamiento como con financiamiento; para lo cual se utilizarán cinco indicadores básicos: Valor Actual Neto, Relación Beneficio-Costo, Tasa Interna de Retorno, Periodo de Recuperación de la Inversión y Periodo de recuperación de la Inversión a Valor Presente. De los resultados obtenidos en ambas evaluaciones (con financiamiento y sin financiamiento), se definirá la viabilidad y rentabilidad del proyecto. Para proyectos pequeños que no necesitan de un gran financiamiento inicial, existe un análisis contable que demuestra la rentabilidad del proyecto: punto de equilibrio. Es importante mencionar que el siguiente análisis económico se realizó en la moneda de quetzales guatemaltecos (UNAM, 2014).

### 1. Precio de venta

El coste unitario o costo unitario es el valor monetario de producir un bien o un servicio. Se suele calcular como el costo de producir todos los bienes entre el número de bienes producidos. Para calcular el coste unitario se tienen en cuenta la suma de costos fijos y variables, divididos por la cantidad de bienes producidos. Para los productos alimenticios se suele tener un porcentaje de utilizada entre el 30 al 40%. Por otro lado, la SAT en Guatemala exige el pago del Impuesto del Valor Agregado (IVA) a la venta de productos, el cual tiene un valor del 12% (CDI, 2009).

Ecuación 6. Precio de venta de valor unitario

$$P = \frac{(Cvu + CF/U_p)}{1 - u} + 12\% \times (Cvu + CF/U_p)$$

Donde:

$P$  = Precio de venta unitario

$Cvu$  = Costo variable unitario

$CF$  = Costos fijos

$U_p$  = Unidades de producción

$u$  = Margen de utilidad

## 2. Punto de equilibrio

En términos de contabilidad de costos, es aquel punto de actividad (volumen de ventas) donde los ingresos totales son iguales a los costos totales, es decir, el punto de actividad donde no existe utilidad ni pérdida. Hallar el punto de equilibrio es hallar el número de unidades a vender, de modo que se cumpla con lo anterior (que las ventas sean iguales a los costos) (CDI, 2009). La información necesaria para hallar y analizar el punto de equilibrio es la siguiente:

- a. **Definir costos:** Son aquellos desembolsos, incluyendo los gastos de administración y de ventas, pero sin incluir los gastos financieros ni a los impuestos (CDI, 2009).
- b. **Costos variables:** Son los costos que varían de acuerdo con los cambios en los niveles de actividad, están relacionados con el número de unidades vendidas, volumen de producción o número de servicios realizado, por ejemplo, materia prima, combustible, salario por horas, etc (CDI, 2009).
- c. **Costos Fijos:** Son costos que no están afectados por las variaciones en los niveles de actividad, por ejemplo, alquileres, depreciación, seguros, etc (CDI, 2009).
- d. **Costo variable unitario:** Se obtiene al dividir los Costos Variables totales entre el número de unidades a producir (CDI, 2009).
- e. **Fórmula del punto de equilibrio:**

Ecuación 7. Punto de equilibrio a partir de costos variables, fijos y unitarios

$$(P \times U) - (Cvu \times U) - CF = 0$$

Donde:

$P$  = Precio de venta unitario

$U$  = Unidades del punto de equilibrio

$Cvu$  = Costo variable unitario

$CF$  = Costos fijos

(CDI, 2009)

- f. **Análisis del punto de equilibrio:** A partir de los resultados obtenidos utilizando la ecuación anterior, se puede determinar cuánto se necesita vender para alcanzar el punto de equilibrio, cuánto se debe de vender para obtener una determinada utilidad, cuál sería la utilidad si se vendieran una determinada cantidad de productos, etc (CDI, 2009).

## H. CONSUMO ELÉCTRICO

La Universidad del Valle de Guatemala está catalogada bajo el rubro de *grandes usuarios*, debido a un consumo aproximado de 250,000 kWh mensuales. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) suele definir tarifas especiales para este tipo de consumidores debido a la alta demanda de energía eléctrica que poseen. La tarifa aplicada a este tipo de consumidor es del tipo “No Social”, el cual comprende a al 6% de usuarios del país. La distribuidora encargada es EEGSA. La conversión de 1 kWh es igual a 3600 kJ A continuación, se muestra el ajuste tarifario trimestral para el trimestre de febrero-abril del 2021 (CNEE, 2021).

Figura 11. Tarifas finales para los usuarios; trimestre febrero – abril 2021

Tarifa No Social

Tarifa	Nov 2020-Ene	Feb-Abr	Variación	Variación
	2021, Q/kWh	2021, Q/kWh	Q/kWh	%
DEOCSA TNS	1.9696	1.9986	0.029	1.5%
DEORSA TNS	1.8375	1.8655	0.028	1.5%
EEGSA TNS	1.2986	1.3036	0.005	0.4%

(CNEE, 2021)

Ecuación 8. Consumo eléctrico del congelador

$$E_1 = t_1 \times e_1$$

Ecuación 9. Consumo eléctrico del liofilizador

$$E_2 = t_2 \times e_2$$

Ecuación 10. Consumo eléctrico del aire acondicionado

$$E_3 = t_3 \times e_3$$

Ecuación 11. Consumo eléctrico total de los equipos empleados para la producción de un lote de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada

$$E_{total} = E_1 + E_2 + E_3$$

Ecuación 12. Costo del consumo eléctrico total de los equipos empleados para la producción de un lote de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada

$$C_T = E_{total} \times P$$

Donde:

$E_1$  = Consumo eléctrico del congelador por tiempo de trabajo (kJ)

$E_2$  = Consumo eléctrico del liofilizador por tiempo de trabajo (kJ)

$E_3$  = Consumo eléctrico del aire acondicionado por tiempo de trabajo (kJ)

$t_1$  = Tiempo de trabajo del congelador (h)

$t_2$  = Tiempo de trabajo del liofilizador (h)

$t_3$  = Tiempo de trabajo del aire acondicionado (h)

$e_1$  = Consumo eléctrico del congelador (kJ)

$e_2$  = Consumo eléctrico del liofilizador (kJ)

$e_3$  = Consumo eléctrico del aire acondicionado (kJ)

$E_{total}$  = Consumo eléctrico total (kJ)

$P$  = Precio por consumo eléctrico (Q/kJ)

$C_T$  = Costo total del consumo eléctrico

## V. ANTECEDENTES

En el 2017 los estudiantes Krstan Keselj e Ivan Pavkov, de la Universidad de Serbia, realizaron un estudio del consumo energético de los procesos de deshidratación y liofilización de frambuesas. Ambos procesos fueron comparados para determinar cuál de ellos consumía la menor cantidad de energía para el secado de 100 kg de fruta fresca. Inicialmente la fruta posee 84.6% de humedad. Con el método de deshidratación tradicional, se empleó aire de 50°C por 15 horas. Por el otro lado, en el proceso de liofilización se tomó en cuenta el tiempo de congelado de la fruta (24 horas a -40°C) y el tiempo de liofilizado (24 horas)

A partir del balance de masa y energía se determinó que el proceso de deshidratación convencional consume un total de 489,500 kJ, mientras que el proceso de liofilización consume un total de 937,177 kJ. El proceso de liofilización consume 3.2 veces más energía que el proceso de deshidratación. Sin embargo, este factor no es crucial en la selección del equipo, sino la calidad del producto final. El proceso de liofilización resulta en productos de mayor calidad que el de deshidratación (Keselj & Pavkov, 2017).

La Universidad del Istmo de Guatemala realizó un plan de negocio para una planta liofilizadora de frutas. Al finalizar el análisis de sensibilidad se concluyó que no solo se depende de las preferencias de los consumidores, sino también de los costos y gastos que se deben de cubrir durante la producción. Ambos rubros pueden incidir negativamente en la producción y las ganancias de la empresa y, por tanto, la recuperación de la inversión inicial. Se puede poner en riesgo la puesta en marcha del proyecto ya que la TIR disminuye considerablemente con las ventas anuales lo que eleva el riesgo de inversión y, por tanto, la atracción de los inversionistas. Al realizar el análisis de los costos de operación se logró llegar al valor aproximado de la presentación final por 28 g de fruta deshidratada por medio del proceso de liofilización empacada sería en Q22.48 para el canal. Este precio equivale a \$2.84, tomando en cuenta la tasa de cambio a la fecha (4 de noviembre, 2021): 7.72995. (Garza, 2015).

En el 2010, los estudiantes Alfredo Ayala y Liliana Serna realizaron un análisis del proceso de liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la liofilización y la osmoliofilización sobre las cinéticas de congelación y de secado, la actividad de agua, el volumen, la porosidad y la capacidad de rehidratación en rodajas de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Como pretratamiento osmótico a la liofilización (osmoliofilización), las rodajas se sumergieron en una solución de sacarosa con 55 °Brix a 25°C; se congelaron a -35°C, la sublimación se llevó a presión de vacío de 8 Pa y el secado se realizó desde -35 hasta 35°C. Los resultados de los tratamientos evidenciaron, al final del proceso, diferencias significativas en la porosidad, volumen y capacidad de rehidratación (que fueron mayores para el tratamiento liofilizado), mientras que la cinética de secado y la actividad de agua no presentaron diferencias significativas. El tratamiento de liofilización fue adecuado para la conservación de rodajas de pitahaya amarilla, ya que permitió reducir la actividad de agua por debajo de 0,4; conservó significativamente el volumen y presentó alta capacidad de rehidratación (Ayala & Serna, 2010).

Finalmente, en el 2015, se llevó a cabo un estudio de la optimización experimental del proceso de liofilización de uchuva adicionada con componentes activos por impregnación al vacío. El objetivo del estudio fue optimizar el proceso de liofilización para obtener uchuvas (*Physalis peruviana* L.) semiesféricas adicionadas con componentes activos y de excelentes atributos de calidad. Las muestras semiesféricas (3-4 g) fueron tratadas inicialmente por impregnación al vacío con una emulsión que contenía proteína de soja, sucralosa, tensoactivos, calcio, vitamina D3 (Colecalciferol), vitamina E (DL- $\alpha$ -tocoferol acetato) y vitamina B9. La optimización experimental del proceso de liofilización se realizó con un diseño factorial 22 con el fin de determinar la condición óptima de operación, utilizando como variables independientes la velocidad de calentamiento de la placa (°C/min) y el tiempo de sostenimiento a la temperatura de la placa para cada segmento del proceso y como

variables dependientes: concentración de los componentes con actividad fisiológica, actividad de agua, humedad, textura, color y tiempo total de proceso (Cortés, Herrera & Rodríguez, 2015).

Como resultado, se identificó una influencia de las condiciones del proceso sobre las variables de respuesta, donde una porción de 49 g de uchuvas liofilizadas alcanzó contenidos superiores al 20% del valor diario de referencia de vitamina D y entre el 10 y 20% del valor diario de referencia en calcio y vitaminas B9, C y E; permitiendo identificar al producto como “Excelente fuente de vitamina D” y “Buena fuente de calcio y vitaminas B9, C, E”, según la normativa colombiana. La condición óptima de proceso se alcanzó a una velocidad de calentamiento de placa de 0,04 °C/min y un tiempo de sostenimiento de la temperatura de la placa de 1,2 h (Cortés, Herrera & Rodríguez, 2015).

## VI. METODOLOGÍA

### A. Equipos

Los equipos empleados para este trabajo son encontrados dentro de la Universidad del Valle de Guatemala. Esto son los siguientes:

1. Liofilizador
  - a. Marca: Labconco
  - b. Modelo: 77500
  - c. Capacidad: 12 válvulas de entrada
  - d. Precisión: -
2. Congelador industrial
  - a. Marca: *SO-LOW Environmental equipment Co., Inc.*
  - b. Modelo: U85-13
  - c. Rango: -40°C a -85°C
  - d. Precisión: -
3. Balanza de humedad
  - a. Marca: Ohaus
  - b. Modelo: MB120
  - c. Rango: 0-100%
  - d. Precisión:  $\pm 0.01$
4. Balanza analítica
  - a. Marca: Ohaus
  - b. Modelo: PA114
  - c. Rango: 0.0001g a 110g
  - d. Precisión:  $\pm 0.0001$

### B. Materiales

- Tres tipos de fruta fresca: fresa, mango Tomy y coco
- Tres tipos de muestras de fruta liofilizada de marca comercial (fresa, mango Tommy y coco)
- Tabla para cortar
- Cuchillo
- Papel film
- Bolsa con cierre hermético
- Bolsa de papel
- Gel packs
- Jabón
- Desinfectante para comida
- Agua

### C. Reactivos

- Aceite para bomba de vacío

### D. Cristalería

- Frascos de 300ml o 600 ml marca *Labconco*, específicos para el liofilizador
- Adaptador de acero inoxidable para frascos de liofilización

### Pasos

#### 1. Evaluación previa de la fruta liofilizada

- Para tener un parámetro de comparación en cuenta a la fruta liofilizada, se llevó a cabo un análisis de humedad y color de muestras de fruta liofilizada de una marca comercial que se encuentra actualmente en el mercado guatemalteco. Esto con la finalidad de poder comparar los aspectos

fisicoquímicos y el precio de venta de los productos en el mercado, con los resultados obtenidos a partir de la liofilización a nivel escala en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala. Los resultados de este análisis se encuentran en la tabla 9 de la sección de anexos.

- Para este análisis, se utilizó el contenido de fruta liofilizada (fresa, mango y coco) de una bolsa de marca comercial. Estos productos fueron sacados de la bolsa y cortados en pedazos de 2 a 3 cm de largo. Las muestras fueron separadas dependiendo de cada tipo de fruta.
- Estos pedazos fueron introducidos en la balanza de humedad marca Ohaus del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle. Se determinó la cantidad de humedad en cada muestra empleando el método de secado lento por aproximadamente 30 minutos a una temperatura de 70°C. Este paso se repitió para cada tipo de fruta (fresa, mango y coco). Los datos obtenidos fueron tabulados en una tabla para luego ser empleados en el análisis técnico.

## 2. Evaluación previa de la fruta fresca

- Para determinar el contenido inicial de la fruta fresca con la que se trabajó para el proceso de liofilización, primero fue necesario lavar y desinfectar cada fruta: fresas, mango y coco, utilizando agua, jabón y desinfectante natural. Se lavó aproximadamente 3 minutos y se desinfectó por aproximadamente 15 minutos.
- Estas frutas fueron cortadas en trozos de aproximadamente 8 cm, y se utilizó la balanza de humedad del Laboratorio de Operaciones Unitarias para determinar el contenido de humedad inicial de cada fruta.
- El tipo de secado que se empleó fue el *secado lento* por aproximadamente 30 minutos, a una temperatura de 120°C.
- Los resultados de este análisis se encuentran en la tabla 8 de la sección de anexos.

## 3. Preparación de las muestras de fruta fresca

- Se lavó y desinfectó cada fruta: fresas, mango y coco, utilizando agua, jabón y desinfectante natural. Se lavó por aproximadamente 3 minutos y se desinfectaron por aproximadamente 15 minutos.
- Las frutas con cáscara (mango y coco) fueron peladas para obtener únicamente la carne.
- Se cortaron las muestras de fruta en trozos similares a aquellos de las muestras de la marca comercial. La forma y el tamaño depende del tipo de fruta con el que se esté trabajando. Para tener una mejor referencia, observar las figuras 30, 31 y 32 de la sección de anexos.
- La cantidad de fruta fresca cortada para cada muestra fue con base a la obtención final de un lote de 10 gramos de fruta liofilizada. Para la fresa, se cortó un aproximado de 55 gramos de fruta; 40 gramos para el mango y 20 gramos para el coco.
- Los frascos para liofilizar fueron previamente lavados, utilizando jabón de trastos y agua potable.
- Cada muestra de fruta fresca fue colocada en uno de los frascos del equipo. Solo se contaba con dos frascos, por lo que solo se pudo trabajar con dos muestras a la vez.

## 4. Preparación de muestras para congelación

- Cada una de las muestras de fruta fresca en los frascos de vidrio, fueron selladas con papel film sobre la parte superior. Luego, fueron puestas dentro de una bolsa con cierre hermético y dentro de una bolsa de cartón; esto con la finalidad de no contaminar las muestras en caso de que el congelador contenga alguna otra muestra de otro tipo. Este paso se repitió para cada corrida que se llevó a cabo en el liofilizador.
- Es importante mencionar que no se le debe de colocar la tapadera al frasco al momento de congelar debido a que este puede explotar.

- El congelador empleado fue uno de tipo industrial localizado en el edificio II de la Universidad del Valle de Guatemala. Este trabaja de temperaturas desde  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$ .
- Debido a que únicamente se contaba con dos frascos, sólo podían congelarse dos muestras de fruta a la vez. La cantidad de fruta fresca a congelar fue mencionada anteriormente en la sección de *preparación de las muestras de fruta fresca*. Para obtener 10 gramos de fruta liofilizada, se congeló 55 gramos de fresa fresca, 40 gramos de mango fresco y 20 gramos de coco fresco. Estas cantidades fueron calculadas a partir del contenido (%) de humedad que tiene cada una de las frutas y sus otros componentes (Ver Tabal 2 en la sección de Marco Teórico). Estas cantidades son el producto entre el contenido de masa húmeda (kg) por tipo de fruta y el % de humedad final dividido el % de humedad inicial de fruta fresca. A este resultado se le suma la cantidad de masa seca por fruta (kg) y se obtiene la cantidad de fruta fresca que se debe de liofilizar por batch.
- Las muestras permanecieron un mínimo de 24 horas en el congelador a una temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$ .
- Se trabajó a una temperatura de  $-70^{\circ}\text{C}$  ya que esta es menor al punto eutéctico de cada fruta y permitió que la fruta permaneciera congelada por más tiempo.

## 5. Diseño del experimento

- Para determinar el tamaño de muestra que se utilizaría para determinar el tiempo de liofilización para cada tipo de fruta (fresa, mango y coco), se realizó un análisis estadístico de tamaño de muestra. Para esto se tomaron en cuenta los siguientes criterios: tamaño de población, margen de error, nivel de confianza (convertido en la puntuación Z) y desviación estándar.
- Se le asignaron las siguientes puntuaciones a Z, dependiendo del nivel de confianza con el que se fuera a trabajar:
  - o 90%: puntuación Z = 1.645
  - o 95%: puntuación Z = 1.96
  - o 90%: puntuación Z = 2.576
- La población a partir de la cual se escogerían las cantidades de muestras dependía directamente de tiempo disponible para liofilizar a partir del equipo a disposición. El tiempo disponible debía de ser dividido entre los tres tipos de frutas para sacar corridas con humedad final variable. En este caso, se podían llevar a cabo un total de 65 muestras a 8 distintos tiempos.
- A partir de eso, se empleó a siguiente fórmula para el cálculo del tamaño de muestra:
 
$$\text{Tamaño de muestra} = \frac{Z^2 \times (\text{Desviación estándar}) \times (1 - \text{Desviación estándar})}{\text{Margen de error}}$$
- Para este caso, debido a que no se ha realizado la experimentación, se selecciona una desviación estándar de 0.5. El valor de Z escogido fue de un 99% para el mayor nivel de precisión. Finalmente, el margen de error recomendado para experimentación según la Universidad de Mayorga es de un 5%.
- El cálculo anterior nos muestra que, para una población de 65 corridas, el tamaño de muestra empleado es de 60 corridas. A partir de esto, se dividió entre los tres tipos de fruta, para obtener un número de 20 corridas por fruta, de las cuales se determinaría el nivel de humedad variando las horas de liofilización (Mateu y Casal, 2003).

## 6. Arranque y preparación del equipo

- Las instrucciones del arranque se encuentran en el manual, en la sección de Anexos en la página 76
- Se llevó a cabo una prueba preliminar con alguna de las frutas para poder verificar el correcto funcionamiento del equipo. Esta prueba consistió en la liofilización por 20 horas de una muestra de fresa preparada como se mencionó previamente. Con esta prueba se aseguró que la bomba de vacío y el condensador funcionaran simultáneamente. También, se confirmó que ninguna alarma

se activara en el equipo, ya que estas suelen indicar si la bomba o el vacío no están funcionando, o si ya no hay suficiente aceite en la bomba de vacío.

- Se debe de realizar una revisión periódica (semanal) del nivel de aceite que posee el equipo. Esta se hace chequeando el nivel de aceite que hay que la parte posterior de la bomba de vacío, el cual contiene un indicador de nivel a la mitad del tanque. El nivel del aceite nunca debe de estar debajo de este nivel.
- Uso del equipo:
  - Conectar el equipo a una fuente de corriente
  - Encender el equipo
  - Revisar que todas las válvulas de vacío se encuentren cerradas
  - Encender la bomba de vacío
  - Seleccionar la opción “auto” y permitir que el equipo llegue a la presión y temperatura estable (0.3 mbar y -54°C)
  - Colocar el frasco con la muestra a una de las entradas del condensador
  - Abrir la entrada para permitir que el vacío entre
  - El frasco debe de colocarse sobre algún tipo de soporte para evitar que este se caiga al suelo en caso de que haya algún movimiento brusco en el equipo.

## 7. Liofilización de las muestras (secado primario)

- El método por seguir será el de *Manifold*. Este método consiste en colocar el matraz con la muestra previamente congelada hacia una de las válvulas del equipo para luego ser previamente sublimadas a partir del vacío.
- Encender el equipo
- Permitir que la temperatura del condensador se estabilice (aproximadamente entre -50°C a -58°C)
- Permitir que la presión del vacío de la bomba se estabilice a menos de 0.005 mbar.
- Solo se tiene un adaptador de metal, por lo que únicamente se puede trabajar con una muestra a la vez
- Retirar la muestra del congelador donde permaneció por un mínimo de 24 horas.
- Retirar la bolsa con cierre hermético, la bolsa de papel y el papel film. Colocar la tapadera al frasco y el adaptador en la parte superior de la tapadera
- Este procedimiento debe de repetirse para cualquier tipo de fruta con la que se esté trabajando (fresa, mango y coco)
- Conectar el frasco con el producto en la válvula deseada y girarla para permitir que se genere el vacío
- Se aplicó una presión de 0.3 mbar en la cámara de vacío para el proceso de sublimación. El tiempo en el que permaneció las muestras se varió dependiendo de los resultados que se obtuvo.
- Se manejó tiempos distintos para el secado de cada muestra de fruta. Estos variaron dependiendo de la fruta y la cantidad de humedad inicial de cada una. En un inicio se trabajó con las siguientes horas: 15, 20, 25, 30, 35 y 40. Estas horas aumentaron o disminuyeron para cada fruta hasta que se obtuvo un producto final con una humedad menor al 10%.
- Para cada uno de estos tiempos, se trabajó en duplicado para cada tipo de fruta y poder calcular la humedad final a partir de un promedio.
- Se trabajó por lotes de fruta cuyo producto final fue la obtención de 10 gramos de fruta liofilizada.
- Se realizaron las curvas de humedad para cada fruta utilizando las distintas horas de liofilización con el contenido de humedad final para cada corrida.

## 8. Apagado del equipo

- Luego de retirar la muestra liofilizada, permitir que el vacío se libere de la válvula.

- Permitir que la temperatura y la presión del equipo suban hasta que se estabilicen (esto se puede observar en las curvas que muestra el equipo en la pantalla).
- Apagar la bomba de vacío
- Apagar el equipo
- Desconectar el equipo
- En caso de que hubiera agua alrededor del condensador, secarla con una toalla o pedazo de papel

## 9. Evaluación final de las muestras liofilizadas

- Retirar la muestra liofilizada del frasco de liofilización
- Para cada muestra liofilizada, analizar los siguientes parámetros: peso final, contenido de humedad y color
- Para el parámetro del peso final, se debe de pesar la fruta liofilizada obtenida la final del proceso en una balanza analítica
- Para el contenido de humedad, utilizar entre 10 gramos a 20 gramos de fruta liofilizada y medir el contenido de humedad final empleando la balanza de humedad del Laboratorio de Operaciones. Las mediciones se deben de llevar a cabo por 30 minutos en el método de *secado lento* a una temperatura de 70°C.
- Finalmente, el color y la textura de las muestras obtenidas deben de ser comparadas con aquellas de la marca comercial de forma física. Apuntar cualquier diferencia.

## 10. Análisis económico

- A partir de los resultados obtenidos del análisis técnico (horas de liofilización y humedad final) de las muestras liofilizadas, se debe de llevar a cabo un análisis económico del proceso de liofilización a nivel laboratorio para obtener el precio de venta y hacer una comparación con los productos liofilizados que actualmente se encuentran en el mercado.
- Para esto se definió los costos fijos, los costos variables y la cantidad de unidades que se pueden producir al mes empleando el liofilizador del laboratorio de la Universidad del Valle.
- Para los costos fijos se tomaron en cuenta los siguientes rubros: Salario mínimo al mes de un trabajador, 1 adaptador, 1 frasco y aceite para la bomba de vacío.
- Para los costos variables se tomó en cuenta el precio del mercado de cada fruta y el gasto de energía eléctrica necesario para el tiempo de liofilización de cada fruta. Es necesario mencionar que la tarifa eléctrica que se utilizó es específica a la Universidad del Valle.
- A partir de estos datos, se determinó el precio de venta final por lote de 10 gramos de cada fruta liofilizada. Se tomó en cuenta un 12% de IVA y una ganancia del 35% sobre el costo del producto
- A partir de los costos fijos, costos variables y el precio de venta, se determinó las unidades que se deben de vender en un mes para igualar costos con ganancias y poder llegar al equilibrio. Este cálculo se llevó a cabo empleando el modelo de análisis económico para *punto de equilibrio*.
- A partir de estos datos fue posible determinar la rentabilidad del proceso de liofilización a escala laboratorio y comprar los precios con aquellos de la competencia en el mercado.

## VII. RESULTADOS

Figura 12. Diagrama de bloques del proceso de liofilización de fruta

\*El diagrama hace referencia a las operaciones unitarias que se llevaron a cabo para obtener como producto final la fruta liofilizada

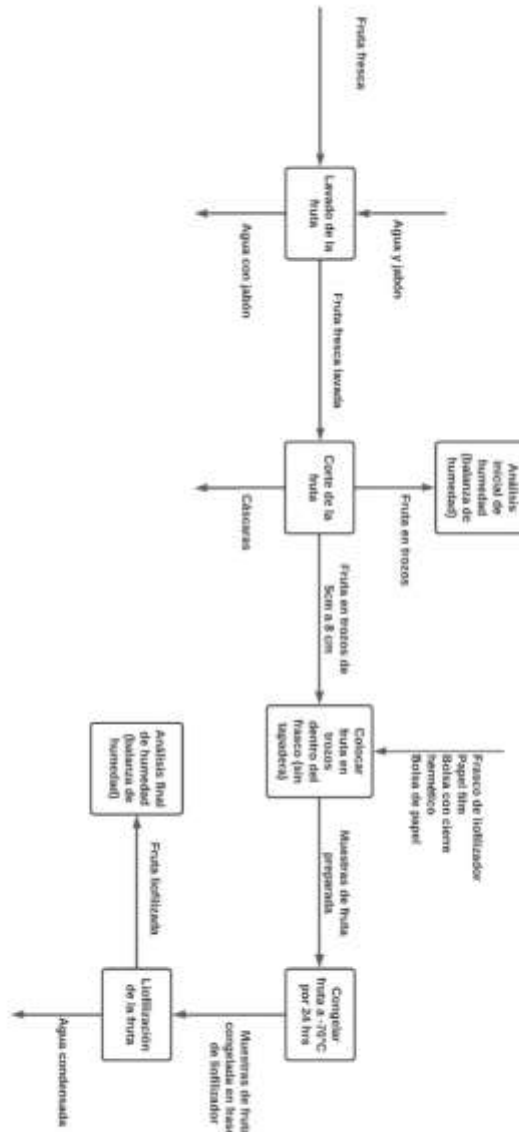
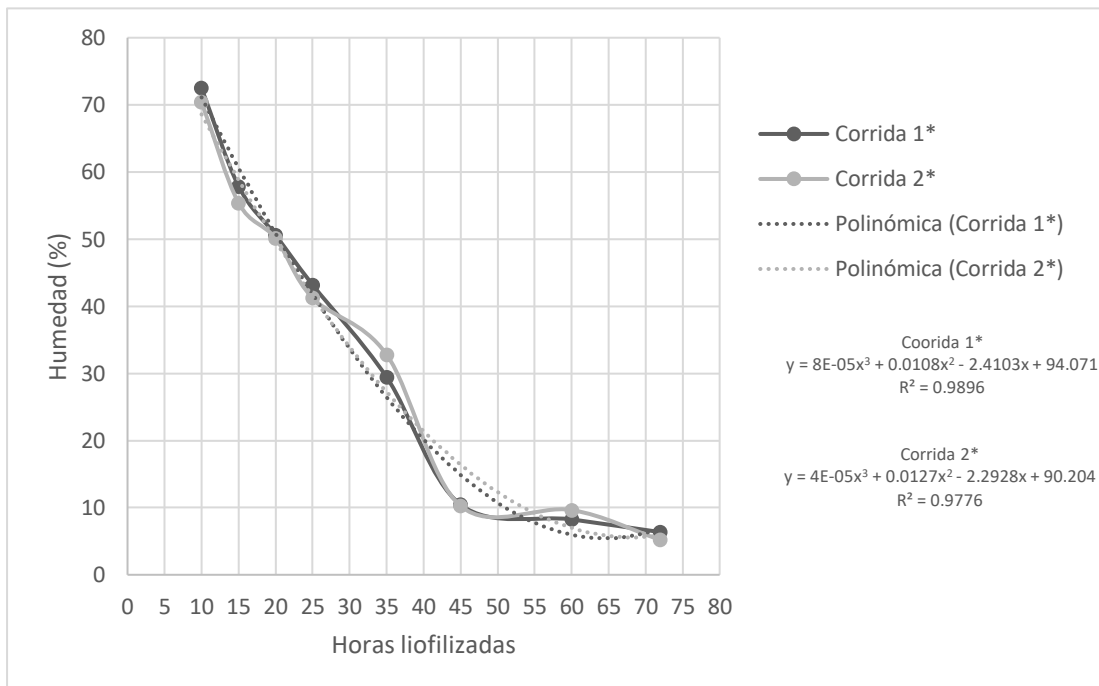


Tabla 4. Humedad promedio de la fresa a partir de distintos tiempos

Tiempo (h)	Humedad ( $\pm 0.001\%$ )
10	71.465
15	56.650
20	50.360
25	42.215
35	31.310
45	10.350
60	8.950
72	5.775

\*El promedio de los datos de humedad fueron calculados a partir de los datos de las tablas 14 y 15 en la sección de Anexos. Dichos datos fueron empelados para las curvas de humedad.

Figura 13. Curva de humedad de la fresa



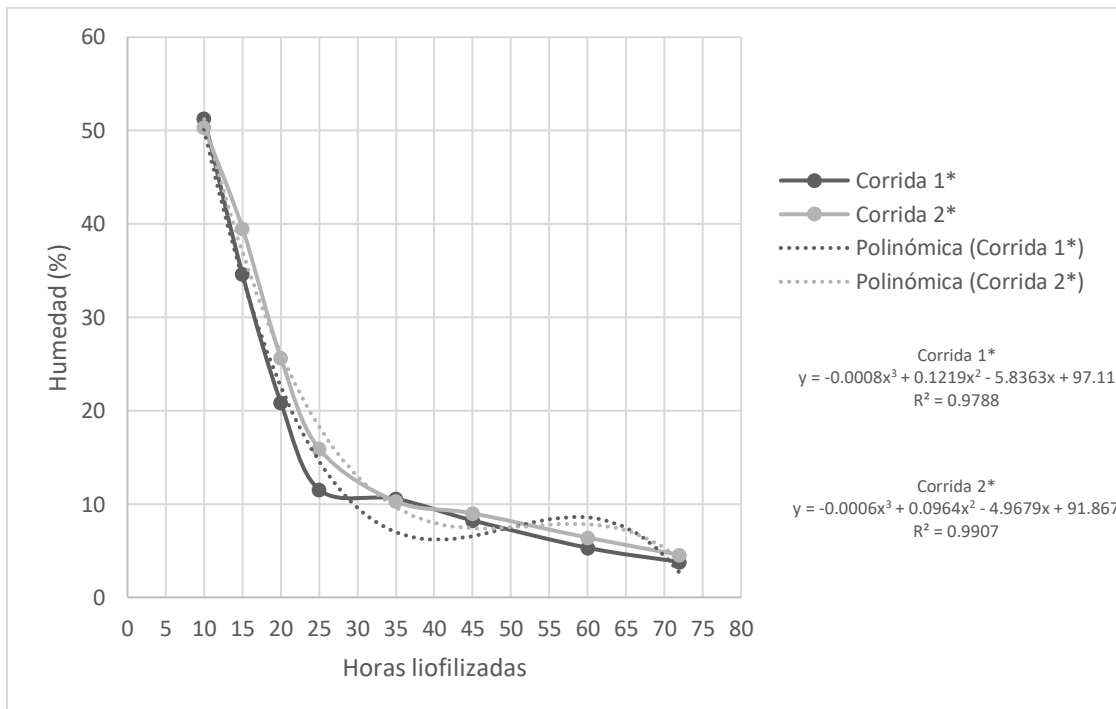
\*El número de corrida hace referencia al número de veces que se liofilizó la fruta a distintos tiempos, esto con la finalidad de tener un duplicado en datos de humedad y poder hacer un promedio final de la humedad contenida en la fruta al final de ciertas horas liofilizadas.

Tabla 5. Humedad promedio del mango a partir de distintos tiempos

Tiempo (h)	Humedad ( $\pm 0.001\%$ )
10	50.810
15	37.050
20	23.245
25	13.720
35	10.428
45	8.620
60	5.855
72	4.173

\*El promedio de los datos de humedad fueron calculados a partir de los datos de las tablas 16 y 17 en la sección de Anexos. Dichos datos fueron empelados para las curvas de humedad.

Figura 14. Curva de humedad del mango



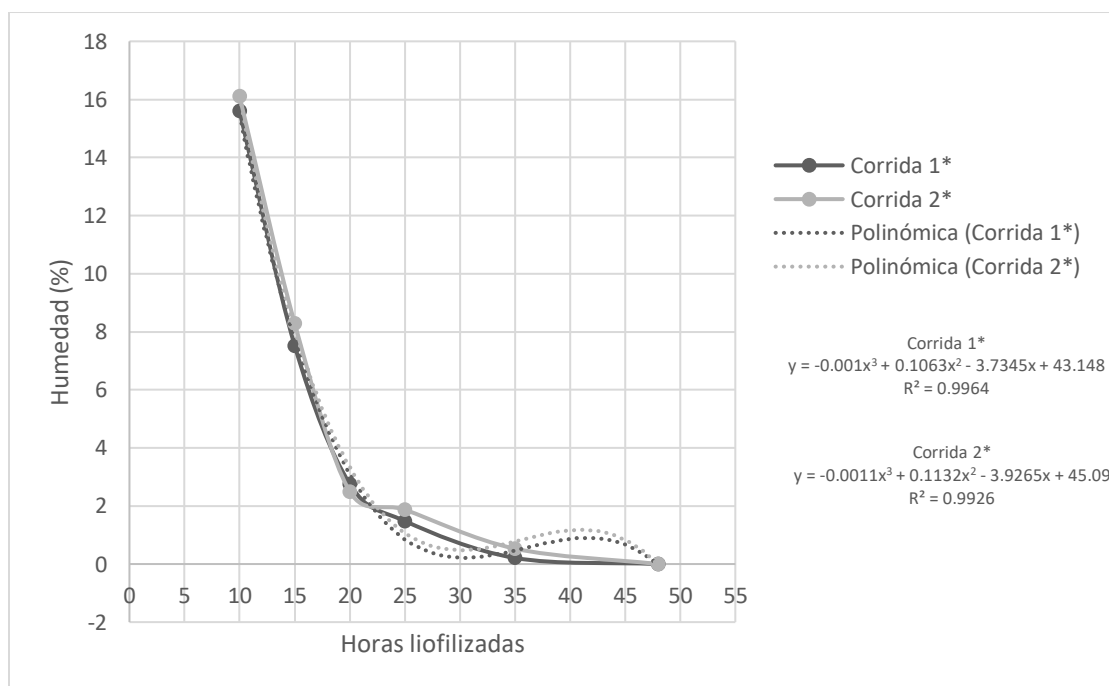
\*El número de corrida hace referencia al número de veces que se liofilizó la fruta a distintos tiempos, esto con la finalidad de tener un duplicado en datos de humedad y poder hacer un promedio final de la humedad contenida en la fruta al final de ciertas horas liofilizadas.

Tabla 6. Humedad promedio del coco a partir de distintos tiempos

Tiempo (h)	Humedad ( $\pm 0.001\%$ )
10	15.853
15	7.905
20	2.631
25	1.675
35	0.37
45	0.000

\*El promedio de los datos de humedad fueron calculados a partir de los datos de las tablas 18 y 19 en la sección de Anexos. Dichos datos fueron empelados para las curvas de humedad.

Figura 15. Curva de humedad del coco



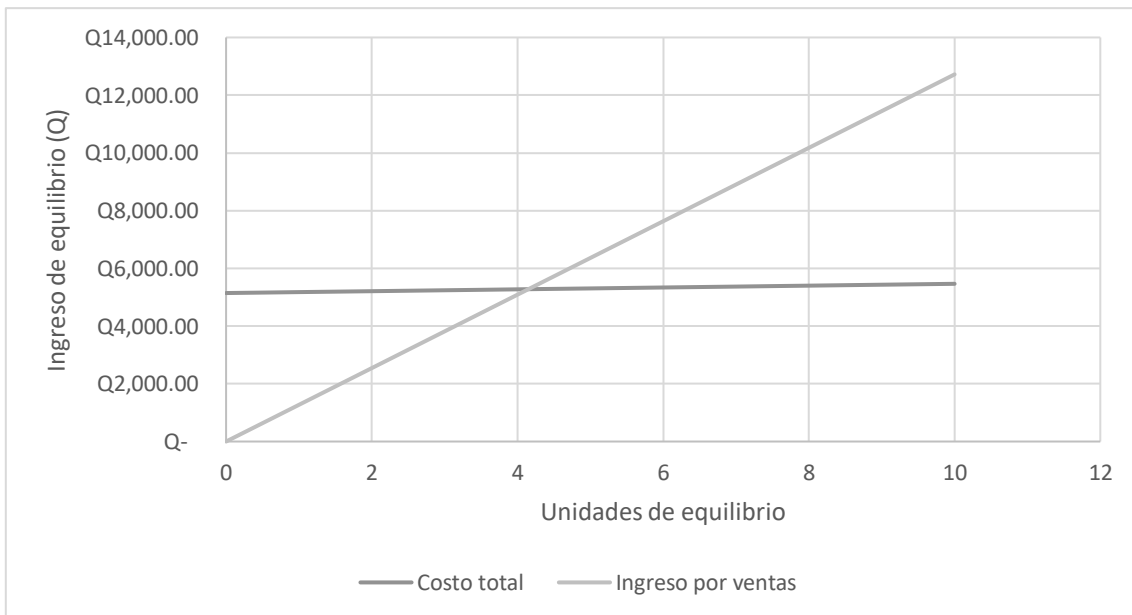
\*El número de corrida hace referencia al número de veces que se liofilizó la fruta a distintos tiempos, esto con la finalidad de tener un duplicado en datos de humedad y poder hacer un promedio final de la humedad contenida en la fruta al final de ciertas horas liofilizadas.

Tabla 7. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; llevando a cabo corridas individuales en el equipo, durante un año

Producto	Costo fijo	Costo variable	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	Q5047.62	Q224.12	Q1249	5
Mango	Q5047.62	Q180.63	Q867.09	6
Coco	Q5047.62	Q96.23	Q568.72	9

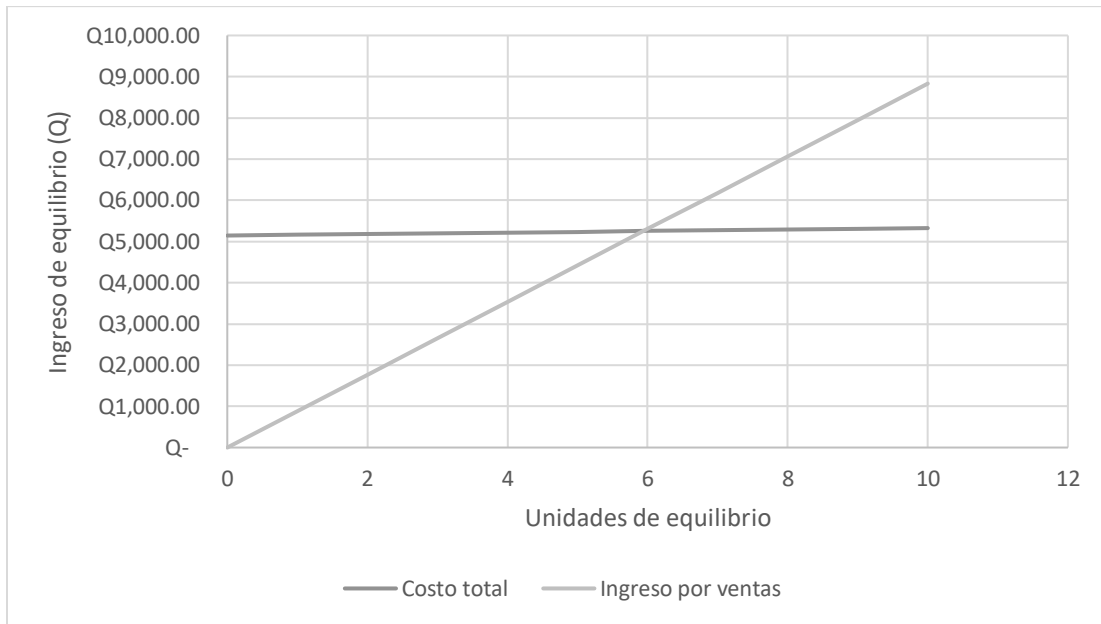
\*El ejemplo de cálculo para estos datos se encuentran en la sección de anexos del cálculo 11 al cálculo 15. Los números de lotes mensuales de 10g de fruta liofilizada son la cantidad de corridas individuales por la renta de equipo que se debe de llevar a cabo al mes durante un año para igualar los ingresos con los costos de producción.

Figura 16. Punto de equilibrio a 1 año de la producción y ventas de fresa liofilizada, llevando a cabo corridas individuales en el equipo



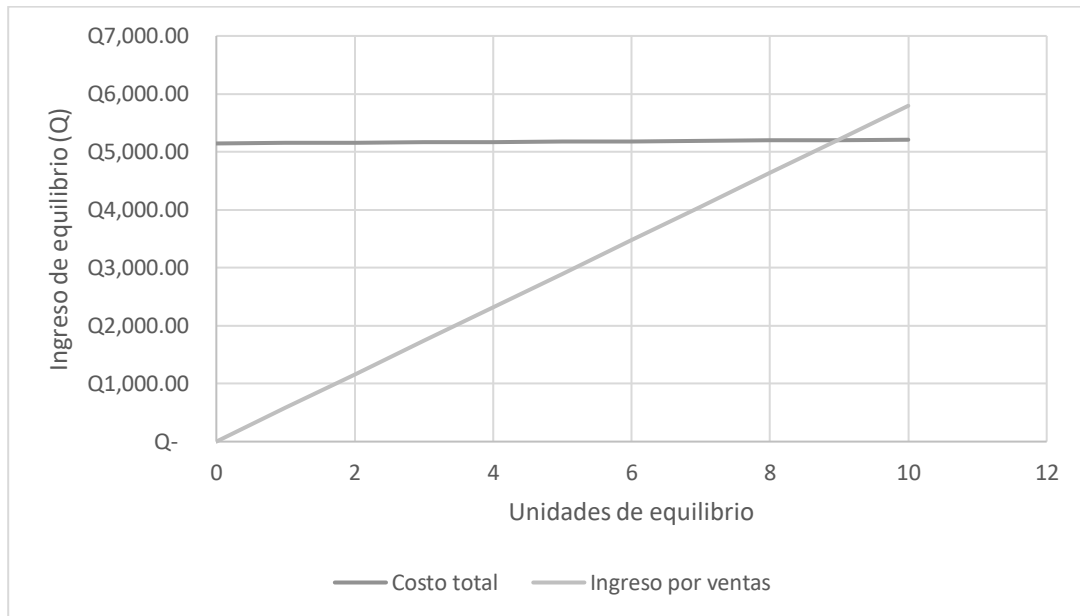
\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de fresa que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es llevando corridas individuales en el equipo.

Figura 17. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de mango liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo



\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de mango que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos iguallen a los ingresos. Esto es llevando corridas individuales en el equipo.

Figura 18. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de coco liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo



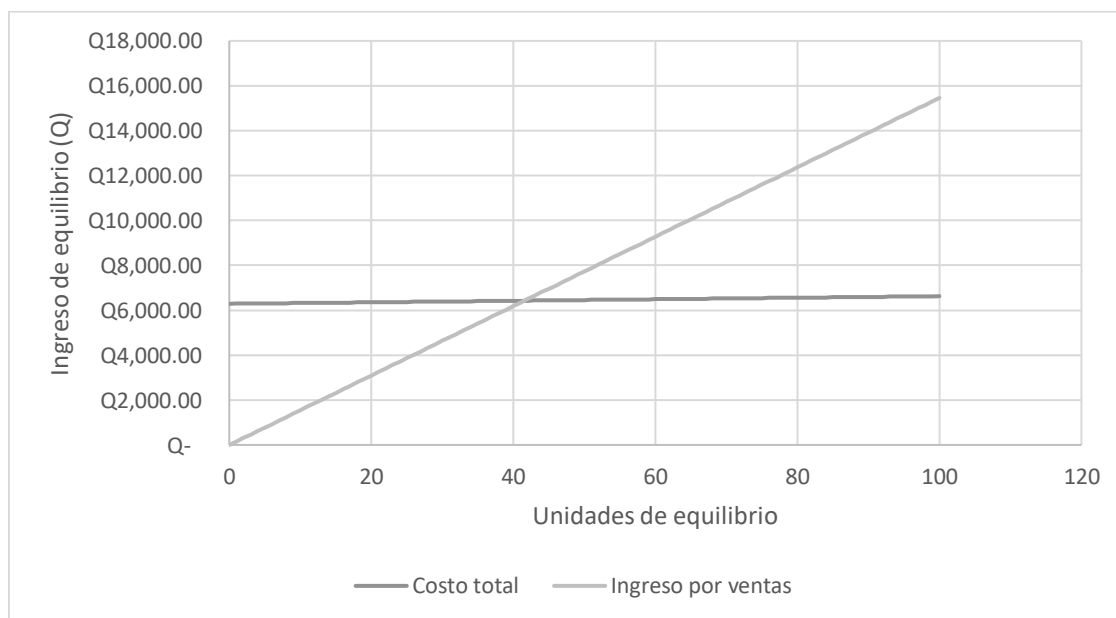
\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de coco que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es llevando corridas individuales en el equipo.

Tabla 8. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; utilizando el equipo a su máxima capacidad, durante un año

Producto	Costo fijo	Costo variable	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	Q6188.72	Q239.09	Q152.28	42
Mango	Q6188.72	Q183.39	Q105.67	60
Coco	Q6188.72	Q97.44	Q69.5	90

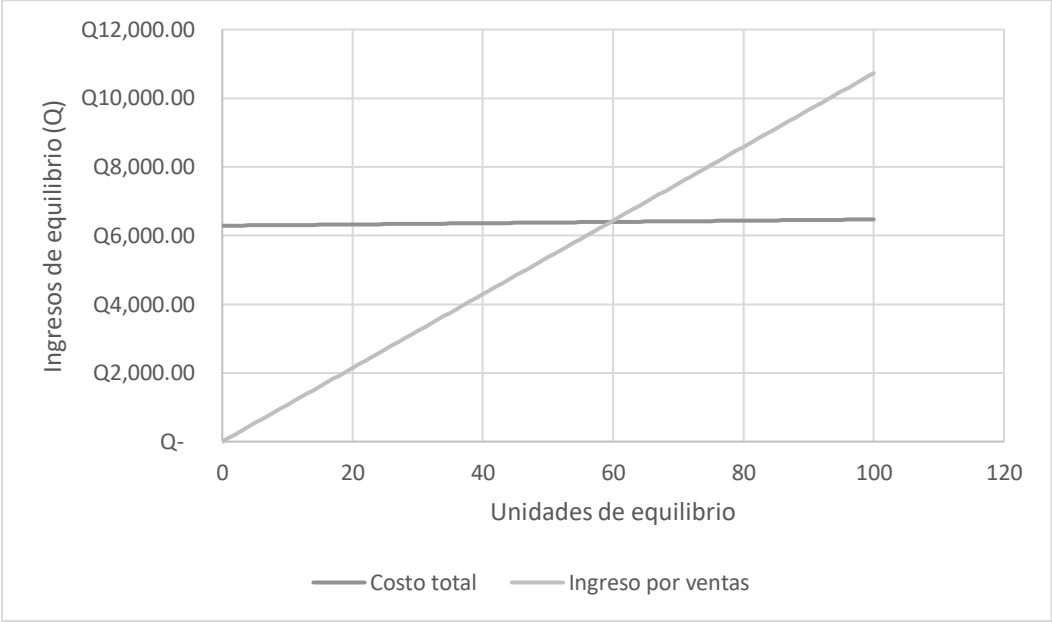
\*El ejemplo de cálculo para estos datos se encuentran en la sección de anexos del cálculo 11 al cálculo 15. Los números de lotes mensuales de 10g de fruta liofilizada son las cantidades de corridas por la renta del equipo que se deben de llevar a cabo al mes para igualar los ingresos con los costos, esto asumiendo que se está trabajando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes a la vez).

Figura 19. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de fresa liofilizada llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad



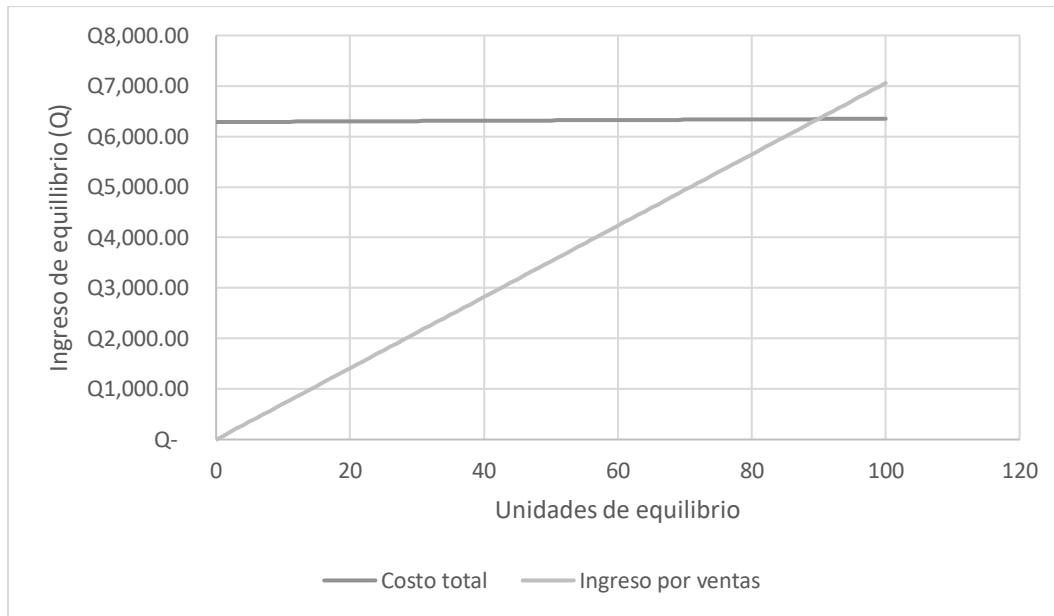
\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de fresa que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es utilizando el equipo a su máxima capacidad

Figura 20. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de mango liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad



\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de mango que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es utilizando el equipo a su máxima capacidad

Figura 21. Punto de equilibrio a un año de la producción y ventas de coco liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad



\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de coco que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es utilizando el equipo a su máxima capacidad

## VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el presente trabajo se llevó a cabo la preparación e implementación del equipo de liofilización en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala. A partir de este se realizaron pruebas de liofilización para tres frutas: fresa, mango Tommy y coco. Para la preparación del equipo, se siguió paso a paso las instrucciones que se encuentran en el manual. Este puede ser referido en la sección de anexos. Se tomaron en cuenta todas las consideraciones para el uso de este, desde la sección de armado y conexión eléctrica, hasta la sección de mantenimiento. En la parte de implementación del equipo, se siguieron los pasos mencionados en la figura 12 de la sección de Resultados. La fruta recibida era lavada, pelada y cortada en trozos de la forma y tamaño de las muestras comerciales. A la fruta fresca se le realizaba un análisis inicial de humedad para conocer la composición de agua que tiene esta. Luego estas eran llevadas al congelador por 24 horas. Inicialmente, se probó congelar las fresas en el congelador a  $-20^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, y luego se liofilizaban. Sin embargo, debido a que el laboratorio donde se encontraba el equipo estaba a aproximadamente  $17^{\circ}\text{C}$ , la muestras se descongelaban antes de la liofilización y por ende lo que se llevaba a cabo era una evaporación. Este fenómeno se puede observar en la Figura 23 de la sección de anexos. Para evitar esto, se decidió utilizar el congelador industrial a  $-70^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, siendo esto de mayor éxito para el proceso.

Previo a conectar el matraz o frasco con la fruta congelada al liofilizador, se debía de limpiar el condensador por fuera y por dentro. Segundo, se debía de asegurar que hubiese la cantidad de aceite necesaria para la bomba de vacío (arriba de la mitad de la marca). Finalmente, se debía de conectar la bomba y el condensador a una fuente de energía eléctrica y permitir que la presión y temperatura llegaran al equilibrio ( $0.3$  mbar y  $-54^{\circ}\text{C}$ ). Luego de cumplir estos pasos, se conectaba el frasco al equipo y se abría la válvula para dejar pasar el vacío. Finalmente, se obtenía la fruta liofilizada y el vapor de agua sublimado de la muestra era condensado dentro del condensador. A las muestras ya liofilizadas se les realizó un análisis de humedad posterior para conocer el porcentaje de humedad presente dentro de las mismas. Es importante mencionar que únicamente se trabajó un duplicado de cada tipo de fruta ya que el tiempo que conllevaba el diseño del experimento y el proceso de liofilización como tal (con los distintos tiempos) representó aproximadamente los 5 a 6 meses de experimentación.

Las frutas son caracterizadas por tener una composición húmeda mayor al 70%. En el caso de la fresa, su porcentaje de humedad aproximado es del 89.09%, el del mango de 80.43% y 34.14% para el coco. Este último es caracterizado por contener un mayor porcentaje de lípidos y carbohidratos, comparado con las otras dos frutas, por lo cual su humedad es mucho menor. Estos datos fueron obtenidos a partir del análisis de humedad de fruta fresca, empleando una balanza de humedad. Estos datos se encuentran en la Tabla 8 de la sección de anexos. Para el proceso de liofilización, se escogieron estas frutas ya que son las que se comercializan en el mercado nacional, lo cual permite tener una referencia en cuanto a características físicas y precios.

Se realizó un análisis de humedad de productos liofilizados comerciales a  $70^{\circ}\text{C}$  y 30 minutos en secado lento, para asegurar de no quemar y/o caramelizar los azúcares aún contenidos dentro de la fruta. Como resultado se obtuvo los datos de la Tabla 11 de la sección de anexos. Para la fresa liofilizada se obtuvo una humedad de 10.07%, para el mango liofilizado una humedad de 9.85% y finalmente el coco de 2.89%. Estos datos fueron utilizados como parámetro para definir los tiempos de liofilización de las frutas a nivel laboratorio.

Las figuras 13, 14 y 15 de la sección de resultados muestran las curvas de secado de la fresa, mango y coco a partir del proceso de liofilización. La relación que muestra la humedad con el tiempo de trabajo del equipo es inversamente proporcional, es decir, entre mayor tiempo de liofilización, menor será el porcentaje de humedad final de la fruta. Para los tres productos se trabajó en duplicado y el promedio de la humedad final

contenida se encuentra en las tablas 4, 5 y 6 de la sección de resultados. En el caso de las fresas, 60 horas de liofilización demostraron ser el tiempo mínimo necesario para obtener un producto final con un 8.95% de humedad. Por otro lado, se obtuvo un mango liofilizado con 8.62% de humedad con 45 horas de trabo. Finalmente, en el caso del coco se necesitan 15 horas de liofilización como tiempo mínimo necesario para obtener un producto final con un 7.90% de humedad.

La línea de tendencia que mejor se ajusta para los tres tipos de gráficos, es una polinómica de grado tres. Esto se puede ver reflejado en el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) para cada una de las corridas en los tres tipos de fruta. Los valores de estos coeficientes se encuentran entre el rango de 0.97 a 0.99, siendo estos muy cercanos a 1, lo cual demuestra que este modelo es el que mejor se ajusta a los datos que se tienen. Las ecuaciones de gráfico para los tres tipos de muestras son representadas por el modelo:  $-ax^3 + bx^2 - cx + d$ . El coeficiente  $a$  tiene un valor negativo ya que la relación entre las horas de liofilización y la humedad es inversamente proporcional. Por otro lado, este coeficiente tiene un valor pequeño (0.00001 a 0.001) debido a que entre mayor es el valor de  $x$  (horas liofilizadas)

A partir de las curvas de humedad, fue posible realizar un balance masa y energía para cada tipo de fruta. El proceso se trabajó con la producción de lotes individuales de fruta liofilizada de 0.01 kg (10 gramos). Este balance se llevó a cabo basándose en una producción de un lote individual final de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada, ya que es este el peso de producto contenido por bolsa comercializada. Es importante mencionar que el frasco empleado para la liofilización de productos no puede exceder 1/3 de su capacidad de llenado, ya que se corre el riesgo de no poderse sublimar por completo y, por ende, no perdería la cantidad de humedad esperada.

La tabla 24 de la sección de anexos muestra la cantidad de producto fresco necesario para obtener 10 gramos de fruta liofilizada. A partir de estos datos, los porcentajes de humedad iniciales y finales, y las horas de trabajo de cada equipo, fue posible determinar el calor cedido por cada tipo de fruta, y el calor empleado por cada equipo para poder obtener un producto final de 10g con menos del 10% de humedad. Los tres tipos de frutas deben de congelarse por 24 horas para llevar el agua a estado sólido. Es por esto por lo que el consumo eléctrico del equipo es el mismo independientemente de la fruta con la que se trabaje, siendo este de un valor de 149049 kJ. Sin embargo, el calor cedido por cada fruta debido al proceso de congelación varía. Para la fresa, se tiene una pérdida de calor de 33.17 kJ, para el mango de 23.56 kJ y para el coco de 4.65 kJ.

Durante la etapa de liofilización, los productos ceden calor en el proceso de sublimación y hay pérdida de agua en forma de vapor que luego es congelada en el condensador. En el caso de las fresas, el calor cedido fue de 92.39 kJ junto a 0.0404 kg de agua. Para el mango, el calor cedido es de 56.26 kJ y 0.024 kg de agua. Finalmente, el coco cedió 9.66 kJ y 0.0036 kg de agua. Las fuentes de consumo eléctrico del liofilizador provienen del condensador y de la bomba de vacío. Este consumo es el mismo sin importar a qué capacidad se esté empleando el equipo. Sin embargo, entre mayor sea el tiempo de liofilización de un lote, mayor será el consumo eléctrico final. Con un tiempo total de 60 horas de liofilización para las fresas, el liofilizador emplea 261685 kJ. Con un tiempo total de 45 horas de liofilización para el mango, se emplea 211264 kJ. Finalmente, con un tiempo total de 15 horas de liofilización para el coco se emplea 70421 kJ.

Las figuras 33, 34 y 35 de la sección de anexos muestran el resultado de la fruta liofilizada a nivel laboratorio en la Universidad del Valle de Guatemala. Por otro lado, las figuras 36, 37 y 38 muestran las frutas liofilizadas comerciales producido a nivel industrial y comercializado a nivel nacional e internacional. Las frutas liofilizadas a nivel laboratorio poseen un color más profundo y una textura más “arrugada” que aquellas de marca. Estas diferencias en apariencia se deben a una fuente de error identificada a lo largo del proceso de liofilización. A pesar de que el producto es congelado a  $-70^{\circ}\text{C}$ , este entra en contacto con un ambiente a una temperatura de  $17^{\circ}\text{C}$ , ya que es esta la temperatura que maneja el aire acondicionado dentro del laboratorio

donde se encuentra el liofilizador. Esta diferencia de temperaturas causa que la fruta congelada comience a derretirse después y el secado secundario se lleve a cabo con mayor prontitud dentro del proceso. La presencia de agua en estado líquido dentro de la fruta causa que al final de todo el proceso de secado, se formen dichas arrugas y su textura se vea alterada. Es importante mencionar que desde el momento en el que se conecta el frasco con el producto al equipo, este se encuentra dentro de una hielera con *gel packs* para retardar el proceso de descongelación.

A partir de análisis técnico previo, se realizó un análisis económico del experimento como tal. Debido a que este fue un proceso a escala laboratorio, la rentabilidad de este no puede ser medida ya que la capacidad de producción es mínima comparada con un liofilizador industrial. Sin embargo, a partir del punto de equilibrio, se determinó el precio y la cantidad de veces las cuales la Universidad del Valle podría rentar el equipo, al mes, a personas o instituciones ajenas que desean experimentar con el proceso de liofilización. Este precio y cantidad de corrida depende del tipo de fruta con el que se desea trabajar. Esto permitirá conocer el punto de equilibrio donde los costos se igualan con los ingresos y a partir de ahí, se obtienen ganancias para la Universidad. Para este análisis, se tomó en cuenta una versión inicial que sería diluida en el tiempo para poderse convertir en los costos fijos. De esta forma, los costos de: el equipo liofilizador, los matraces, los adaptadores de metal y el aceite de bomba, serían considerados como costos fijos diluidos de forma mensual en plazos de 1, 5, 8 y 10 años. Junto a esto, se tomó como parte de los costos fijos, el salario y las prestaciones mensuales que se debían de pagar al operario o persona encargada de liofilizar las muestras de fruta. Por otro lado, dentro de los costos variables, se tomó en cuenta el costo de la materia prima (Q/gramo de fruta) y el consumo eléctrico de los equipos participantes en el proceso: liofilizador, congelador y aire acondicionado.

La Universidad del Valle de Guatemala entra dentro del rubro de *grandes consumidores* bajo la tarifa *No Social*. Debido a esto, el costo de su energía eléctrica es de Q1.3036 kWh según la CNEE. La Tabla 21 de la sección de Anexos muestra el consumo energético de cada uno de los equipos empleados en el proceso, siendo estos de: 1.3041 kWh por parte del liofilizador, 1.725 kWh por parte del congelador y 0.85 kWh por parte del aire acondicionado. A partir de estos datos, de la tarifa eléctrica y de las horas de liofilización y congelación de cada producto, fue posible determinar el consumo eléctrico total por corrida individual o capacidad máxima del equipo. Es importante mencionar que el liofilizador consume la misma cantidad energética si se están haciendo corridas individuales, que se si está usando el equipo a su máxima capacidad (10 corridas a la vez). Por otro lado, la Tabla 24 de la sección de anexos, muestra la cantidad de fruta fresca necesaria para producir 1 o 10 lotes de 10 gramos de fruta liofilizada. El precio asignado a cada fruta es encontrado en la Tabla 1 de la sección del marco teórico, siendo este un promedio entre los precios del SEGMA y del supermercado. Es importante mencionar, que comprar fruta al por mayor directamente de los productores y/o agricultores es mucho más económico debido al volumen que se está comprando. Dentro del cálculo del precio de venta, se tomó en consideración un IVA del 12% y una utilidad del 35%, debido a que los productos alimenticios tienen utilidades que van desde el 30% al 40%.

Para este análisis, se trabajó con dos escenarios: primero, trabajando el equipo con una sola corrida (1 lote individual de 10 gramos) a la vez y segundo, empleando el equipo a su capacidad máxima (10 lotes de 10 gramos). Conociendo el tiempo de liofilización y congelación de cada una de las frutas, fue posible determinar cuántos lotes de 10 gramos son reproducibles al mes. Estos datos se encuentran en las tablas 31 a 34 de la sección de anexos. En el caso de la fresa, se pueden producir máximo 7 lotes al mes en corridas individuales y 70 lotes al mes empleando el equipo a su máxima capacidad. Para el caso del mango, se pueden producir 10 lotes al mes en corridas individuales y 100 lotes al mes empleando el equipo a su máxima capacidad. Por último, en el caso del coco, se pueden producir 15 lotes al mes en corridas individuales y 150 lotes al mes empleando el equipo a su máxima capacidad.

Las figuras 16 a 18 de la sección de resultados, muestran las unidades o corridas que se deben de vender al mes de cada tipo de fruta para igualar los costos a los ingresos. Esto asumiendo que se está operando en el primer escenario: corridas individuales durante un año. En el caso de la fresa, se deben de producir 5 unidades a un precio unitario de Q1,249. En el caso del mango se deben producir y vender 6 unidades a Q867.09 c/u. Y, por último, en el caso del coco se deben de vender 9 unidades a un precio unitario de Q568.72. En las figuras 19 a 21 de la sección de resultados, se muestra el punto de equilibrio para el escenario 2 (operación con el equipo a su máxima capacidad), durante 1 año. Se deben de vender 42 unidades de fresa a un precio unitario de Q152.28. Para el mango, se deben de vender 60 unidades a Q105.67 c/u y para el coco, 90 unidades a Q69.5 c/u. Estas curvas no poseen un análisis de tendencia debido a que únicamente se realizó una corrida y su comportamiento es completamente lineal con un coeficiente de relación de 1.

Las figuras 27 a 29 de la sección de Anexos, muestran las unidades o corridas que se deben de vender al mes de cada tipo de fruta operando en el primer escenario: corridas individuales durante un total de 5 años. Para este caso, se muestra que se necesitan vender 4 unidades de fresa a un precio unitario de Q997.11 para llegar al equilibrio. Por otro lado, se deben de vender 6 unidades de mango a un precio unitario de Q690.77. Y, por último, se deben de vender 9 unidades de coco a Q451.18 c/u para poder igualar los costos con los ingresos. Las figuras 30 a 32 de la sección de Anexos, muestran las unidades que se deben de vender al mes para el segundo escenario: operación del equipo a máxima capacidad por un total de 5 años. Para este caso, se deben de vender 42 unidades de fresa al mes a un precio unitario de Q105.47 para poder llegar al equilibrio. Para el mango, se deben de vender 60 unidades a un precio unitario de Q72.91 y para el coco se deben de vender 92 unidades a Q47.65 c/u para poder llegar al equilibrio. Estas curvas no poseen un análisis de tendencia debido a que únicamente se realizó una corrida y su comportamiento es completamente lineal con un coeficiente de relación de 1.

Los resultados anteriores muestran que, para ambos escenarios, tanto para 1 y 5 años de producción, es más barato poder rentar el equipo a personas o entidades ajenas si se emplea el liofilizador a su máxima capacidad. Los precios unitarios de los productos operando a máxima capacidad son hasta un 30% más bajos comprado con las corridas individuales del equipo. Es por esto por lo que se recomienda incrementar la capacidad de producción para poder tener, al mes, una producción mayor de unidades de 10 gramos de fruta liofilizada y poder generar ganancias a la hora de rentar el equipo.

## IX. CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo una evaluación técnica y económica del proceso de liofilización a escala laboratorio en la Universidad del Valle de Guatemala, utilizando un equipo de liofilización marca *Labconco*
- Empleando el manual de operación del liofilizador marca *Labconco*, se preparó e implementó el equipo de liofilización en el laboratorio de la Universidad del Valle de Guatemala, a partir de pruebas de liofilización en tres tipos de fruta: fresa, mango y coco.
- Las curvas de humedad muestran una relación directamente proporcional entre la humedad del producto final y las horas de liofilización. Es decir, entre mayor cantidad de agua tiene el producto, mayores serán la cantidad de horas de liofilización necesarias.
- La fresa es la fruta con mayor cantidad de humedad (89.09%) y, por ende, representó el mayor tiempo de liofilización (60 horas). Por otro lado, el coco es la fruta con menor humedad (34.14%) y con un total de 15 horas de liofilización.
- A partir del análisis económico realizado al proceso de liofilización a escala laboratorio, fue posible determinar el precio y la cantidad de veces que el equipo puede ser rentado, al mes durante un año, a personas o entidades ajenas a la universidad, para poder llegar al punto de equilibrio y empezar a generar ingresos a partir del mismo. Tanto el precio como la cantidad de corridas dependen directamente del tipo de fruta con el que se desee experimentar, ya que el tiempo de liofilización de cada una varía dependiendo del nivel de humedad que posean.
- Los costos de operación del equipo de liofilización pueden ser reducidos empleando el equipo a máxima capacidad y aumentando la capacidad de producción

## X. RECOMENDACIONES

- Realizar un panel sensorial para comparar las propiedades organolépticas como: olor, sabor, textura y apariencia física; entre la fruta liofilizada a escala laboratorio y la fruta liofilizada que se encuentra a la venta en el mercado. Esto para evaluar la aceptación de dichos productos en los consumidores.
- Ubicar el liofilizador en un ambiente con una temperatura menor a 17°C (temperatura del laboratorio) para asegurar que el agua dentro de la muestra congelada permanezca al menos 10 minutos para no afectar el proceso de sublimación; el tiempo mencionado es el máximo requerido para introducir las muestras dentro del equipo.
- Emplear el equipo de liofilización a su máxima capacidad (10 matraces), para reducir los costos de operación; aunque los costos fijos incrementen.
- Durante la época de agosto a enero, se recomienda trabajar únicamente con fresa y coco ya que no es temporada de producción de mango y el precio de venta de este aumenta.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, J. (2016). *Frutas tropicales. Más que un exotismo de olor y sabor*. Distribución y consumo argentino. Argentina.
- Ayala, A., Serna, L. (2010). *Liofilización de pitahaya amarilla (Selenicereus megalanthus)*. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Castro, Jorge. *Recuperación de la Economía Mundial y Oportunidades de la Argentina en el Mercado Mundial de los Alimentos*. Instituto de Planeamiento Estratégico. Septiembre de 2009. Argentina
- Centro de Diseño Industrial CDI. (2009). *Punto de Equilibrio*. Universidad de la República Uruguay, Uruguay
- Chordi, S. (2013). *Contenido fenólico y capacidad antioxidante de fresa mínimamente procesada sometida a tratamientos de conservación por pulsos de luz de alta intensidad*. Universitat de Lleida, España.
- Cortés, M., Herrera, E., Rodríguez, E. (2015). *Optimización experimental del proceso de liofilización de uchuva adicionada con componentes activos por impregnación al vacío*. Universidad de Antioquia, Colombia.
- Figueroa, M., Piña, M., Riquelme, C. (2006). *Evaluación técnica y económica y financiera del negocio de alimentos liofilizados*. Universidad del Bío-Bío, Chile
- Garza, S. (2015). *Plan de negocio para una planta liofilizadora de frutas*. Universidad del Istmo. Guatemala
- ICEX. (2019). *El mercado de la distribución alimentaria en Guatemala*. Oficina económica y comercial de la Embajada de España en Ciudad de Guatemala. Guatemala
- LABCONCO. *Guide to freeze drying for the laboratory*
- Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., Londoño, A. (2005). *Mineral content of tropical fruits and unconventional foodsof the Andes and the rain forest of Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). *Guía técnica del cultivo de coco*. El Salvador
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2014). *Perfil Comercial Bayas*. Guatemala
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). (2014). *Perfil Comercial Mango*. Guatemala
- Ministerio de Economía (MINECO). (2018). *Guatemala, Agrícola: Berries*. Guatemala
- Ministerio de Economía (MINECO). (2021). *Comercio general y aranceles, Mango-Mundos*. Guatemala
- Nowak, D., Jakubczyk, E. (2020). *The Freeze-Drying of Foods—The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials*. PMC, Australia
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2020). *Análisis del mercado de las principales frutas tropicales 2019*. Roma
- Orrego, C. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos*. Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales. Colombia, p57-61
- Ramírez, J. (2006). *Liofilización de alimentos*. Universidad del Valle. Colombia, p5-14
- Salafranca, L. (2000). *Estadística aplicada con SPSS y StatGraphics*. Universitat de Barcelona
- SIG-MAGA. *Áreas aptas para el desarrollo del cultivo coco*. Guatemala

- Serpa, A., Castrillón, D., Vásquez, D., Hincapié, G. (2015). *Efecto de la liofilización sobre las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria y el contenido de vitamina C presente en la guayaba pera (Psidium guajava L.)*. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia

## XII. ANEXOS

Figura 22. Liofilizador Labconco de la Universidad del Valle de Guatemala y sus partes

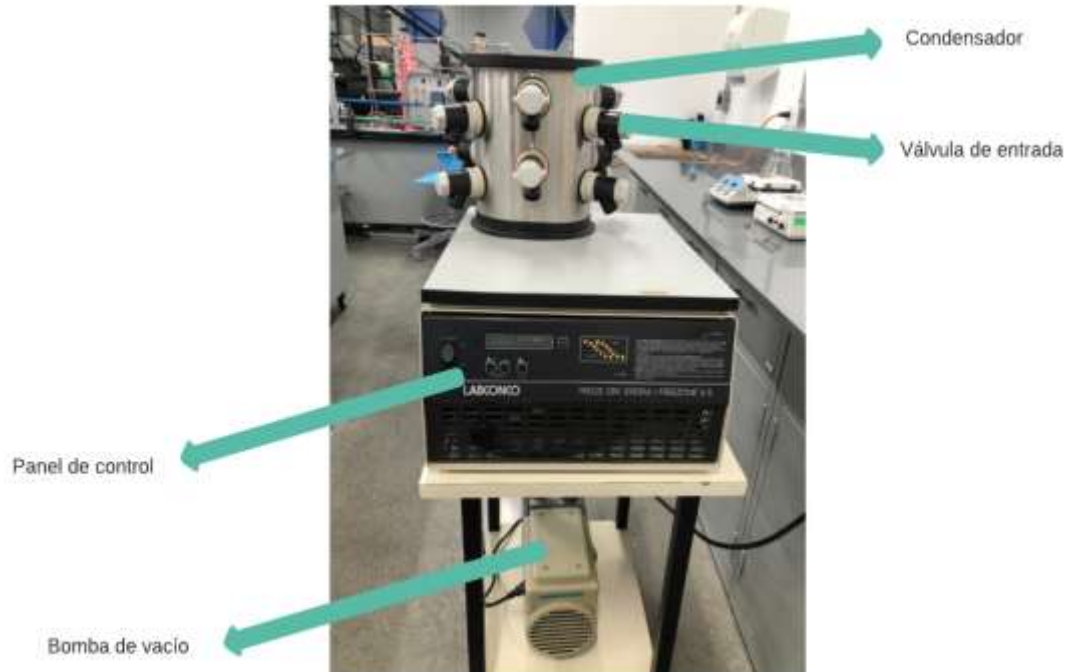


Figura 23. Primeros intentos de fresas liofilizadas



\*Las imágenes anteriores fueron el resultado de la liofilización de fresas luego de congelarlas 24 hrs en un congelador a -20°C

Tabla 9. Datos del liofilizador empleado en la Universidad del Valle de Guatemala

Datos	Valor
Marca	Labconco
Modelo	7750030
Número de válvulas (entradas)	10 (máxima capacidad)
Voltaje	230
Amperaje	7
Factor de potencia	0.8
Tipo de bomba	Vacío
Corriente	AC
Fase	1

Tabla 10. Análisis de humedad de las frutas frescas

Muestra	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Tiempo de secado (min)	Temperatura de secado (°C)	Humedad
Fresa	0.0037	$4.037 \times 10^{-4}$	30	120	89.09%
Mango	0.0082	$1.605 \times 10^{-3}$	30	120	80.43%
Coco	0.0069	$4.544 \times 10^{-3}$	30	120	34.14%

Tabla 11. Análisis de humedad de las frutas liofilizadas

Muestra	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Tiempo de secado (min)	Temperatura de secado (°C)	Humedad
Fresa	0.001	$8.993 \times 10^{-4}$	30	70	10.07%
Mango	0.001	$9.015 \times 10^{-4}$	30	70	9.85%
Coco		$4.389 \times 10^{-4}$	30	70	2.89%

Tabla 12. Energía cedida por las frutas a partir del proceso de congelación

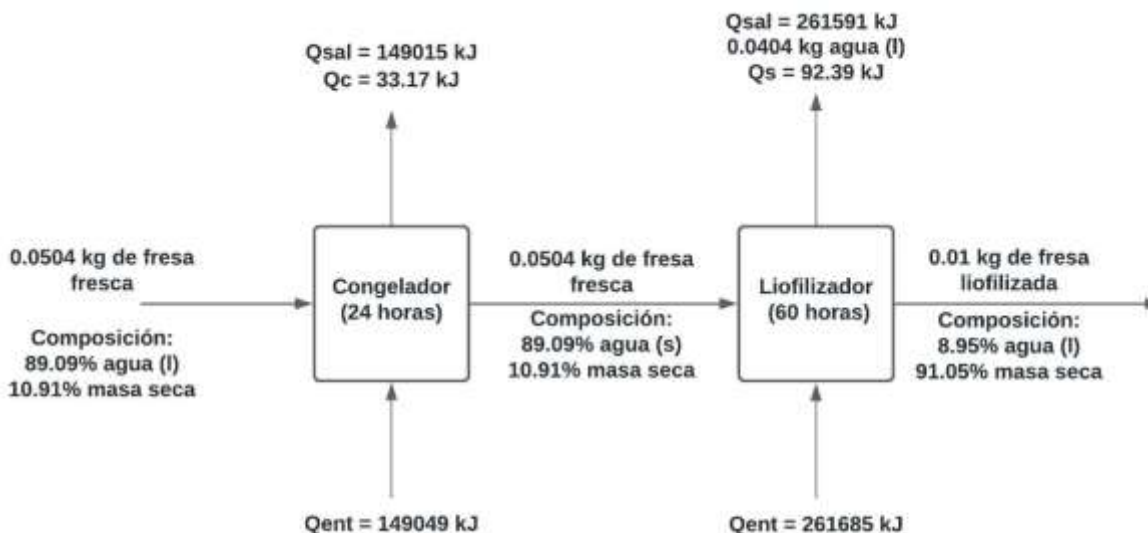
Producto	$Q_{c1}$ (±0.01 kJ)	$Q_{c2}$ (±0.01 kJ)	$Q_{c3}$ (±0.01 kJ)	$Q_{total}$ (±0.01 kJ)
Fresa	4.821	15.47	7.353	33.17
Mango	3.042	11.24	5.345	23.56
Coco	0.426	1.708	1.738	4.65

Tabla 13. Balance de energía del proceso de liofilización de fresa

Equipo	Energía cedida por la fruta (kJ)	Energía empleada por el equipo (kJ)
Congelador	33.17	149049
Liofilizador	113.79	281685

\*Este balance constituye la energía cedida y empleada por el proceso de congelación de 24 horas y el proceso de liofilización de 60 horas.

Figura 24. Balance de masa y energía del proceso de liofilización de fresas



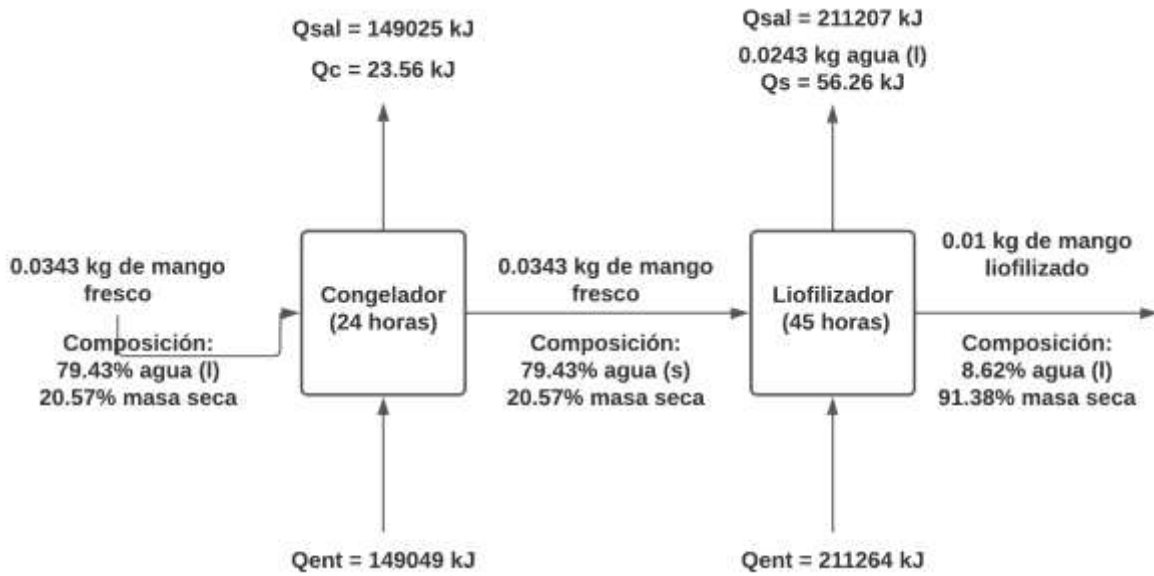
\*Para el cálculo del balance de masa y energía de la fruta, se empleó de la ecuación 1 a la 5 de la sección del marco teórico, siguiendo el esquema general del mostrado en las figuras 5 y 8. Los datos numéricos utilizados para estos cálculos se encuentran en las tablas 11 y 13 de la sección de anexos. Los ejemplos de cálculo para estos diagramas se encuentran de igual forma en la sección de anexos.

Tabla 14. Balance de energía del proceso de liofilización de mango

Equipo	Energía cedida por la fruta (kJ)	Energía empleada por el equipo (kJ)
Congelador	23.56	149049
Liofilizador	80.17	211264

\*Este balance constituye la energía cedida y empleada por el proceso de congelación de 24 horas y el proceso de liofilización de 45 horas.

Figura 25. Balance de masa y energía del proceso de liofilización de mango



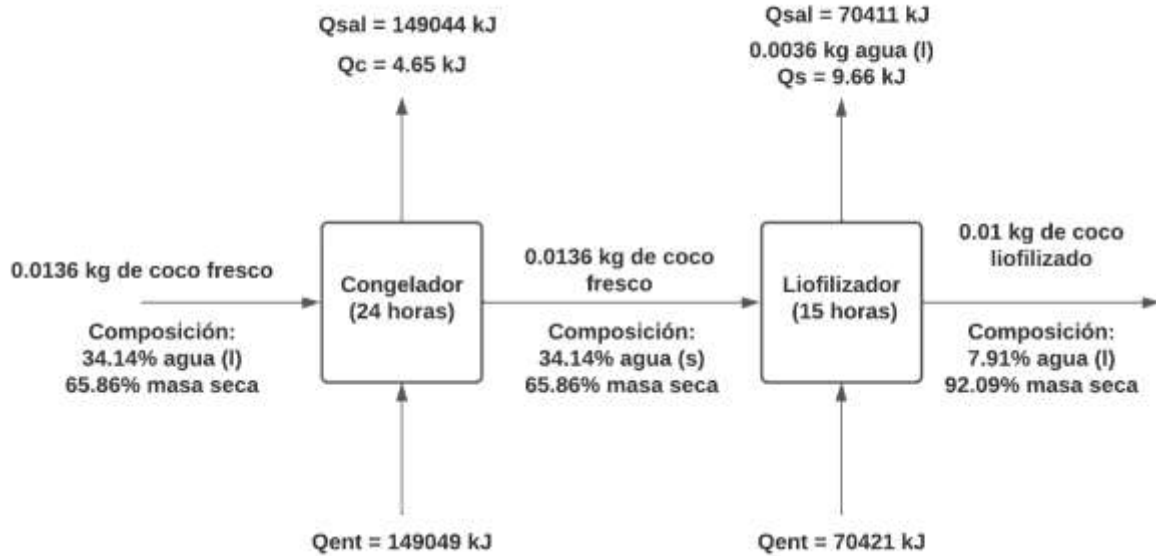
\*Para el cálculo del balance de masa y energía de la fruta, se empleó de la ecuación 1 a la 5 de la sección del marco teórico, siguiendo el esquema general del mostrado en las figuras 5 y 8. Los datos numéricos utilizados para estos cálculos se encuentran en las tablas 11 y 13 de la sección de anexos. Los ejemplos de cálculo para estos diagramas se encuentran de igual forma en la sección de anexos.

Tabla 15. Balance de energía del proceso de liofilización de coco

Equipo	Energía cedida por la fruta (kJ)	Energía empleada por el equipo (kJ)
Congelador	4.65	149049
Liofilizador	30.64	70421

\*Este balance constituye la energía cedida y empleada por el proceso de congelación de 24 horas y el proceso de liofilización de 15 horas.

Figura 26. Balance de masa y energía del proceso de liofilización de coco



\*Para el cálculo del balance de masa y energía de la fruta, se empleó de la ecuación 1 a la 5 de la sección del marco teórico, siguiendo el esquema general del mostrado en las figuras 5 y 8. Los datos numéricos utilizados para estos cálculos se encuentran en las tablas 11 y 13 de la sección de anexos. Los ejemplos de cálculo para estos diagramas se encuentran de igual forma en la sección de anexos.

Tabla 16. Primera corrida de liofilización de fresa

Tiempo (h)	Humedad
10	72.513
15	57.894
20	50.611
25	43.220
35	29.458
45	10.451
60	8.250
72	6.357

Tabla 17. Segunda corrida de liofilización de fresa

Tiempo (h)	Humedad
10	70.423
15	55.412
20	50.117
25	41.233
35	32.819
45	10.257
60	9.657
72	5.024

Tabla 18. Primera corrida de liofilización de mango

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Humedad</b>
10	51.320
15	34.671
20	20.851
25	11.546
35	10.568
45	8.245
60	5.314
72	3.790

Tabla 19. Segunda corrida de liofilización de mango

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Humedad</b>
10	50.324
15	39.569
20	25.647
25	15.912
35	10.285
45	9.001
60	6.473
72	4.550

Tabla 20. Primera corrida de liofilización de coco

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Humedad</b>
10	15.618
15	7.523
20	2.766
25	1.485
35	0.214
48	0.000

Tabla 22. Segunda corrida de liofilización de coco

<b>Tiempo (h)</b>	<b>Humedad</b>
10	16.115
15	8.293
20	2.554
25	1.872
35	0.531
48	0.000

Tabla 21. Consumos eléctricos de los equipos de la Universidad del Valle de Guatemala

Equipo	kJ
Liofilizador	4694.76
Congelador	6210.00
Aire acondicionado	3060.00

Tabla 22. Precios de las frutas: fresa, mango y coco

Producto	Unidad	Peso (kg)	Precio por unidad	Precio por kg
Fresa	1 libra	0.454	Q15	Q33.0
Mango	1	0.580	Q5	Q8.62
Coco	1	0.500	Q5	Q10.0

\*El precio promedio establecido para cada uno de estos productos fue calculado a partir de los datos de la Tabla 1 encontrada en la sección de marco teórico

Tabla 23. Datos de humedad y masa seca de las frutas frescas: fresa, mango y coco

Producto	Unidad	Peso (kg)	Masa húmeda (kg)	Masa seca (kg)	Producto liofilizado (kg)
Fresa	1 libra	0.454	0.404	0.050	0.090
Mango	1	0.580	0.466	0.114	0.164
Coco	1	0.500	0.171	0.329	0.369

\*Para el cálculo de masa húmeda y masa seca de la fruta frescas se emplearon los datos de humedad de la Tabla 8 de la sección de anexos.

Tabla 24. Peso de fruta fresca necesaria para obtener lotes liofilizados de fruta de 0.010 kg (10 gramos)

Producto	Unidad	1 lote de fruta liofilizada (kg)	Humedad final de la fruta liofilizada	Cantidad de fruta fresca por lote (kg)	Cantidades de lotes por unidad de fruta fresca
Fresa	1 libra	0.01	8.95%	0.050	9
Mango	1	0.01	8.62%	0.035	16
Coco	1	0.01	7.91%	0.014	36

\*Los datos de humedad final fueron obtenidos a partir de un promedio de dos corridas de las frutas liofilizadas. Dichos datos pueden ser encontrados en la sección de anexos.

Tabla 25. Consumo eléctrico del proceso de liofilización por tipo de fruta llevando a cabo corridas individuales en el equipo

Producto	Tiempo de congelado (h)	Tiempo de liofilización (h)	Consumo eléctrico total (kJ)	Costo de energía (Q/kJ)
Fresa	24	60	614325	Q225.45
Mango	24	45	498004	Q180.33
Coco	24	15	265361	Q96.090

Tabla 26. Costos variables para la producción de un lote de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada, llevando a cabo corridas individuales en el equipo

Producto	Costo de fruta por lote (Q/kg)	Costo de energía eléctrica (Q/kJ)	Costo variable total
Fresa	Q1.66	Q222.5	Q224.12
Mango	Q0.31	Q180.3	Q180.64
Coco	Q0.14	Q96.1	Q96.23

Tabla 27. Costos variables para la producción de 10 lotes de 0.01 kg (10 gramos) de fruta liofilizada, utilizando el equipo a su máxima capacidad

Producto	Costo de fruta por lote (Q/kg)	Costo de energía eléctrica (Q/kJ)	Costo variable total
Fresa	Q16.6	Q222.5	Q239.09
Mango	Q3.10	Q180.3	Q183.39
Coco	Q1.40	Q96.1	Q97.44

Tabla 28. Prestaciones laborales anuales de un operario con salario mínimo

Salario base	Q2825.1
IGSS Patronal	Q136.45
IGSS empleado	Q357.94
ISR	Q141.25
Bono 14	Q235.33
Aguinaldo	Q235.33
Total	Q41999.63

\*Los datos fueron empleados para el cálculo de costos fijos del proceso. Este total puede ser dividido dentro de 12 o 60 meses, dependiendo si se trabaja a 1 o 5 años.

Tabla 29. Costos fijos del equipo para la producción de un lote de 0.01 kg (10 gramos) llevando a cabo corridas individuales

Elemento	Costo Unitario	Número de unidades	Costo fijo total
Aceite de bomba de vacío	Q583.28	variable	Q583.28
Frasco	Q1549	1	Q1549
Adaptador de metal	Q356.28	1	Q356.28
Liofilizador	Q15,500	1	Q15,500
<b>TOTAL</b>			<b>Q18,571.84</b>

\*Los datos fueron empleados para el cálculo de costos fijos del proceso. Este total puede ser dividido dentro de 12 o 60 meses, dependiendo si se trabaja a 1 o 5 años.

Tabla 30. Costos fijos del equipo para la producción de 10 lres de 0.01 kg (10 gramos), utilizando el equipo a su máxima capacidad

Elemento	Costo Unitario	Número de unidades	Costo fijo total
Aceite de bomba de vacío	Q583.28	variable	Q583.28
Frasco	Q1549	9	Q12938
Adaptador de metal	Q356.28	10	Q3206.52
Liofilizador	Q15,500	1	Q15,500
<b>TOTAL</b>			<b>Q42,764.12</b>

\*Los datos fueron empleados para el cálculo de costos fijos del proceso. Este total puede ser dividido dentro de 12 o 60 meses, dependiendo si se trabaja a 1 o 5 años.

Tabla 31. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales de fruta llevando a cabo corridas individuales en el equipo durante 1 año

Producto	Capacidad de producción de lotes al mes	Costos variables	Costos variables unitarios	Costos fijos	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	7	Q224.12	Q32.02	Q5144.84	Q1272.03	5
Mango	10	Q180.64	Q18.06	Q5144.84	Q883.21	6
Coco	15	Q96.23	Q6.42	Q5144.84	Q579.47	9

\*Las unidades en el punto de equilibrio son para una producción mensual.

Tabla 32. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales de fruta utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante 1 año

Producto	Capacidad de producción de lotes al mes	Costos variables	Costos variables unitarios	Costos fijos	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	70	Q239.09	Q3.42	Q6285.94	Q154.59	42
Mango	100	Q183.39	Q1.83	Q6285.94	Q107.29	60
Coco	150	Q97.45	Q0.65	Q6285.94	Q70.58	90

\*Las unidades en el punto de equilibrio son para una producción mensual.

Tabla 33. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales del proceso de liofilización de frutas llevando a cabo corridas individuales en el equipo durante 5 años

Producto	Capacidad de producción de lotes al mes	Costos variables	Costos variables unitarios	Costos fijos	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	7	Q224.12	Q32.02	Q1184.51	Q333.74	4
Mango	10	Q180.64	Q18.06	Q1184.51	Q226.40	6
Coco	15	Q96.23	Q6.42	Q1184.51	Q141.60	9

\*Las unidades en el punto de equilibrio son para una producción mensual.

Tabla 34. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lotes mensuales equilibrio del proceso de liofilización de frutas utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante 5 años

Producto	Capacidad de producción de lotes al mes	Costos variables	Costos variables unitarios	Costos fijos	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	70	Q239.09	Q3.42	Q1412.73	Q39.14	40
Mango	100	Q183.39	Q1.83	Q1412.73	Q26.47	58
Coco	150	Q97.45	Q0.65	Q1412.73	Q16.70	89

\*Las unidades en el punto de equilibrio son para una producción mensual.

Tabla 35. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 1 año

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
0	Q 5,144.84	Q -
1	Q 5,176.85	Q 1,272.03
2	Q 5,208.87	Q 2,544.06
3	Q 5,240.89	Q 3,816.09
4	Q 5,272.90	Q 5,088.12
5	Q 5,304.92	Q 6,360.15
6	Q 5,336.94	Q 7,632.17
7	Q 5,368.95	Q 8,904.20
8	Q 5,400.97	Q 10,176.23
9	Q 5,432.99	Q 11,448.26
10	Q 5,465.00	Q 12,720.29
11	Q 7,610.13	Q 13,992.32
12	Q 7,834.25	Q 15,264.35
13	Q 8,058.37	Q 16,536.38

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
14	Q 8,282.48	Q 17,808.41
15	Q 8,506.60	Q 19,080.44
16	Q 8,730.72	Q 20,352.46
17	Q 8,954.84	Q 21,624.49
18	Q 9,178.96	Q 22,896.52
19	Q 9,403.07	Q 24,168.55
20	Q 9,627.19	Q 25,440.58

Tabla 36. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante un año

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
0	Q 5,144.84	Q -
1	Q 5,162.90	Q 883.21
2	Q 5,180.96	Q 1,766.42
3	Q 5,199.03	Q 2,649.63
4	Q 5,217.09	Q 3,532.84
5	Q 5,235.16	Q 4,416.05
6	Q 5,253.22	Q 5,299.26
7	Q 5,271.28	Q 6,182.47
8	Q 5,289.35	Q 7,065.68
9	Q 5,307.41	Q 7,948.89
10	Q 5,325.47	Q 8,832.09
11	Q 7,131.86	Q 9,715.30
12	Q 7,312.50	Q 10,598.51
13	Q 7,493.14	Q 11,481.72
14	Q 7,673.78	Q 12,364.93
15	Q 7,854.42	Q 13,248.14
16	Q 8,035.05	Q 14,131.35
17	Q 8,215.69	Q 15,014.56
18	Q 8,396.33	Q 15,897.77
19	Q 8,576.97	Q 16,780.98
20	Q 8,757.61	Q 17,664.19

Tabla 37. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante un año

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
0	Q 5,144.84	Q -
1	Q 5,151.25	Q 579.47
2	Q 5,157.67	Q 1,158.95
3	Q 5,164.08	Q 1,738.42

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
4	Q 5,170.50	Q 2,317.89
5	Q 5,176.91	Q 2,897.37
6	Q 5,183.33	Q 3,476.84
7	Q 5,189.74	Q 4,056.31
8	Q 5,196.16	Q 4,635.79
9	Q 5,202.57	Q 5,215.26
10	Q 5,208.99	Q 5,794.73
11	Q 6,203.32	Q 6,374.21
12	Q 6,299.55	Q 6,953.68
13	Q 6,395.77	Q 7,533.15
14	Q 6,492.00	Q 8,112.63
15	Q 6,588.22	Q 8,692.10
16	Q 6,684.45	Q 9,271.57
17	Q 6,780.68	Q 9,851.05
18	Q 6,876.90	Q 10,430.52
19	Q 6,973.13	Q 11,009.99
20	Q 7,069.35	Q 11,589.47

Tabla 38. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 1 año

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
0	Q 6,285.94	Q -
1	Q 6,289.35	Q 154.59
2	Q 6,292.77	Q 309.19
3	Q 6,296.19	Q 463.78
4	Q 6,299.60	Q 618.37
5	Q 6,303.02	Q 772.97
6	Q 6,306.43	Q 927.56
7	Q 6,309.85	Q 1,082.15
8	Q 6,313.26	Q 1,236.74
9	Q 6,316.68	Q 1,391.34
10	Q 6,320.10	Q 1,545.93
11	Q 6,323.51	Q 1,700.52
12	Q 6,326.93	Q 1,855.12
13	Q 6,330.34	Q 2,009.71
14	Q 6,333.76	Q 2,164.30
15	Q 6,337.17	Q 2,318.90
16	Q 6,340.59	Q 2,473.49
17	Q 6,344.00	Q 2,628.08
18	Q 6,347.42	Q 2,782.67
19	Q 6,350.84	Q 2,937.27

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
20	Q 6,354.25	Q 3,091.86
21	Q 6,357.67	Q 3,246.45
22	Q 6,361.08	Q 3,401.05
23	Q 6,364.50	Q 3,555.64
24	Q 6,367.91	Q 3,710.23
25	Q 6,371.33	Q 3,864.83
26	Q 6,374.74	Q 4,019.42
27	Q 6,378.16	Q 4,174.01
28	Q 6,381.58	Q 4,328.60
29	Q 6,384.99	Q 4,483.20
30	Q 6,388.41	Q 4,637.79
31	Q 6,391.82	Q 4,792.38
32	Q 6,395.24	Q 4,946.98
33	Q 6,398.65	Q 5,101.57
34	Q 6,402.07	Q 5,256.16
35	Q 6,405.48	Q 5,410.76
36	Q 6,408.90	Q 5,565.35
37	Q 6,412.32	Q 5,719.94
38	Q 6,415.73	Q 5,874.53
39	Q 6,419.15	Q 6,029.13
40	Q 6,422.56	Q 6,183.72
41	Q 6,425.98	Q 6,338.31
42	Q 6,429.39	Q 6,492.91
43	Q 6,432.81	Q 6,647.50
44	Q 6,436.22	Q 6,802.09
45	Q 6,439.64	Q 6,956.69
46	Q 6,443.06	Q 7,111.28
47	Q 6,446.47	Q 7,265.87
48	Q 6,449.89	Q 7,420.46
49	Q 6,453.30	Q 7,575.06
50	Q 6,456.72	Q 7,729.65
51	Q 6,460.13	Q 7,884.24
52	Q 6,463.55	Q 8,038.84
53	Q 6,466.96	Q 8,193.43
54	Q 6,470.38	Q 8,348.02
55	Q 6,473.80	Q 8,502.62
56	Q 6,477.21	Q 8,657.21
57	Q 6,480.63	Q 8,811.80
58	Q 6,484.04	Q 8,966.39
59	Q 6,487.46	Q 9,120.99
60	Q 6,490.87	Q 9,275.58
61	Q 6,494.29	Q 9,430.17

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
62	Q 6,497.71	Q 9,584.77
63	Q 6,501.12	Q 9,739.36
64	Q 6,504.54	Q 9,893.95
65	Q 6,507.95	Q 10,048.55
66	Q 6,511.37	Q 10,203.14
67	Q 6,514.78	Q 10,357.73
68	Q 6,518.20	Q 10,512.32
69	Q 6,521.61	Q 10,666.92
70	Q 6,525.03	Q 10,821.51
71	Q 6,528.45	Q 10,976.10
72	Q 6,531.86	Q 11,130.70
73	Q 6,535.28	Q 11,285.29
74	Q 6,538.69	Q 11,439.88
75	Q 6,542.11	Q 11,594.48
76	Q 6,545.52	Q 11,749.07
77	Q 6,548.94	Q 11,903.66
78	Q 6,552.35	Q 12,058.25
79	Q 6,555.77	Q 12,212.85
80	Q 6,559.19	Q 12,367.44
81	Q 6,562.60	Q 12,522.03
82	Q 6,566.02	Q 12,676.63
83	Q 6,569.43	Q 12,831.22
84	Q 6,572.85	Q 12,985.81
85	Q 6,576.26	Q 13,140.41
86	Q 6,579.68	Q 13,295.00
87	Q 6,583.09	Q 13,449.59
88	Q 6,586.51	Q 13,604.19
89	Q 6,589.93	Q 13,758.78
90	Q 6,593.34	Q 13,913.37
91	Q 6,596.76	Q 14,067.96
92	Q 6,600.17	Q 14,222.56
93	Q 6,603.59	Q 14,377.15
94	Q 6,607.00	Q 14,531.74
95	Q 6,610.42	Q 14,686.34
96	Q 6,613.83	Q 14,840.93
97	Q 6,617.25	Q 14,995.52
98	Q 6,620.67	Q 15,150.12
99	Q 6,624.08	Q 15,304.71
100	Q 6,627.50	Q 15,459.30

Tabla 39. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 1 año

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
0	Q 6,285.94	Q -
1	Q 6,287.77	Q 107.29
2	Q 6,289.61	Q 214.58
3	Q 6,291.44	Q 321.87
4	Q 6,293.27	Q 429.17
5	Q 6,295.11	Q 536.46
6	Q 6,296.94	Q 643.75
7	Q 6,298.78	Q 751.04
8	Q 6,300.61	Q 858.33
9	Q 6,302.44	Q 965.62
10	Q 6,304.28	Q 1,072.91
11	Q 6,306.11	Q 1,180.20
12	Q 6,307.95	Q 1,287.50
13	Q 6,309.78	Q 1,394.79
14	Q 6,311.61	Q 1,502.08
15	Q 6,313.45	Q 1,609.37
16	Q 6,315.28	Q 1,716.66
17	Q 6,317.12	Q 1,823.95
18	Q 6,318.95	Q 1,931.24
19	Q 6,320.78	Q 2,038.54
20	Q 6,322.62	Q 2,145.83
21	Q 6,324.45	Q 2,253.12
22	Q 6,326.29	Q 2,360.41
23	Q 6,328.12	Q 2,467.70
24	Q 6,329.95	Q 2,574.99
25	Q 6,331.79	Q 2,682.28
26	Q 6,333.62	Q 2,789.58
27	Q 6,335.45	Q 2,896.87
28	Q 6,337.29	Q 3,004.16
29	Q 6,339.12	Q 3,111.45
30	Q 6,340.96	Q 3,218.74
31	Q 6,342.79	Q 3,326.03
32	Q 6,344.62	Q 3,433.32
33	Q 6,346.46	Q 3,540.61
34	Q 6,348.29	Q 3,647.91
35	Q 6,350.13	Q 3,755.20
36	Q 6,351.96	Q 3,862.49
37	Q 6,353.79	Q 3,969.78
38	Q 6,355.63	Q 4,077.07
39	Q 6,357.46	Q 4,184.36

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
40	Q 6,359.30	Q 4,291.65
41	Q 6,361.13	Q 4,398.95
42	Q 6,362.96	Q 4,506.24
43	Q 6,364.80	Q 4,613.53
44	Q 6,366.63	Q 4,720.82
45	Q 6,368.47	Q 4,828.11
46	Q 6,370.30	Q 4,935.40
47	Q 6,372.13	Q 5,042.69
48	Q 6,373.97	Q 5,149.98
49	Q 6,375.80	Q 5,257.28
50	Q 6,377.63	Q 5,364.57
51	Q 6,379.47	Q 5,471.86
52	Q 6,381.30	Q 5,579.15
53	Q 6,383.14	Q 5,686.44
54	Q 6,384.97	Q 5,793.73
55	Q 6,386.80	Q 5,901.02
56	Q 6,388.64	Q 6,008.32
57	Q 6,390.47	Q 6,115.61
58	Q 6,392.31	Q 6,222.90
59	Q 6,394.14	Q 6,330.19
60	Q 6,395.97	Q 6,437.48
61	Q 6,397.81	Q 6,544.77
62	Q 6,399.64	Q 6,652.06
63	Q 6,401.48	Q 6,759.36
64	Q 6,403.31	Q 6,866.65
65	Q 6,405.14	Q 6,973.94
66	Q 6,406.98	Q 7,081.23
67	Q 6,408.81	Q 7,188.52
68	Q 6,410.65	Q 7,295.81
69	Q 6,412.48	Q 7,403.10
70	Q 6,414.31	Q 7,510.39
71	Q 6,416.15	Q 7,617.69
72	Q 6,417.98	Q 7,724.98
73	Q 6,419.81	Q 7,832.27
74	Q 6,421.65	Q 7,939.56
75	Q 6,423.48	Q 8,046.85
76	Q 6,425.32	Q 8,154.14
77	Q 6,427.15	Q 8,261.43
78	Q 6,428.98	Q 8,368.73
79	Q 6,430.82	Q 8,476.02
80	Q 6,432.65	Q 8,583.31
81	Q 6,434.49	Q 8,690.60

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
82	Q 6,436.32	Q 8,797.89
83	Q 6,438.15	Q 8,905.18
84	Q 6,439.99	Q 9,012.47
85	Q 6,441.82	Q 9,119.77
86	Q 6,443.66	Q 9,227.06
87	Q 6,445.49	Q 9,334.35
88	Q 6,447.32	Q 9,441.64
89	Q 6,449.16	Q 9,548.93
90	Q 6,450.99	Q 9,656.22
91	Q 6,452.83	Q 9,763.51
92	Q 6,454.66	Q 9,870.80
93	Q 6,456.49	Q 9,978.10
94	Q 6,458.33	Q 10,085.39
95	Q 6,460.16	Q 10,192.68
96	Q 6,461.99	Q 10,299.97
97	Q 6,463.83	Q 10,407.26
98	Q 6,465.66	Q 10,514.55
99	Q 6,467.50	Q 10,621.84
100	Q 6,469.33	Q 10,729.14

Tabla 40. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 1 año

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
0	Q 6,285.94	Q -
1	Q 6,286.59	Q 70.58
2	Q 6,287.24	Q 141.15
3	Q 6,287.89	Q 211.73
4	Q 6,288.54	Q 282.31
5	Q 6,289.19	Q 352.89
6	Q 6,289.84	Q 423.46
7	Q 6,290.49	Q 494.04
8	Q 6,291.14	Q 564.62
9	Q 6,291.79	Q 635.20
10	Q 6,292.44	Q 705.77
11	Q 6,293.09	Q 776.35
12	Q 6,293.73	Q 846.93
13	Q 6,294.38	Q 917.51
14	Q 6,295.03	Q 988.08
15	Q 6,295.68	Q 1,058.66
16	Q 6,296.33	Q 1,129.24
17	Q 6,296.98	Q 1,199.81

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
18	Q 6,297.63	Q 1,270.39
19	Q 6,298.28	Q 1,340.97
20	Q 6,298.93	Q 1,411.55
21	Q 6,299.58	Q 1,482.12
22	Q 6,300.23	Q 1,552.70
23	Q 6,300.88	Q 1,623.28
24	Q 6,301.53	Q 1,693.86
25	Q 6,302.18	Q 1,764.43
26	Q 6,302.83	Q 1,835.01
27	Q 6,303.48	Q 1,905.59
28	Q 6,304.13	Q 1,976.17
29	Q 6,304.78	Q 2,046.74
30	Q 6,305.43	Q 2,117.32
31	Q 6,306.08	Q 2,187.90
32	Q 6,306.73	Q 2,258.47
33	Q 6,307.38	Q 2,329.05
34	Q 6,308.03	Q 2,399.63
35	Q 6,308.68	Q 2,470.21
36	Q 6,309.33	Q 2,540.78
37	Q 6,309.98	Q 2,611.36
38	Q 6,310.63	Q 2,681.94
39	Q 6,311.28	Q 2,752.52
40	Q 6,311.92	Q 2,823.09
41	Q 6,312.57	Q 2,893.67
42	Q 6,313.22	Q 2,964.25
43	Q 6,313.87	Q 3,034.83
44	Q 6,314.52	Q 3,105.40
45	Q 6,315.17	Q 3,175.98
46	Q 6,315.82	Q 3,246.56
47	Q 6,316.47	Q 3,317.13
48	Q 6,317.12	Q 3,387.71
49	Q 6,317.77	Q 3,458.29
50	Q 6,318.42	Q 3,528.87
51	Q 6,319.07	Q 3,599.44
52	Q 6,319.72	Q 3,670.02
53	Q 6,320.37	Q 3,740.60
54	Q 6,321.02	Q 3,811.18
55	Q 6,321.67	Q 3,881.75
56	Q 6,322.32	Q 3,952.33
57	Q 6,322.97	Q 4,022.91
58	Q 6,323.62	Q 4,093.48
59	Q 6,324.27	Q 4,164.06

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
60	Q 6,324.92	Q 4,234.64
61	Q 6,325.57	Q 4,305.22
62	Q 6,326.22	Q 4,375.79
63	Q 6,326.87	Q 4,446.37
64	Q 6,327.52	Q 4,516.95
65	Q 6,328.17	Q 4,587.53
66	Q 6,328.82	Q 4,658.10
67	Q 6,329.47	Q 4,728.68
68	Q 6,330.11	Q 4,799.26
69	Q 6,330.76	Q 4,869.84
70	Q 6,331.41	Q 4,940.41
71	Q 6,332.06	Q 5,010.99
72	Q 6,332.71	Q 5,081.57
73	Q 6,333.36	Q 5,152.14
74	Q 6,334.01	Q 5,222.72
75	Q 6,334.66	Q 5,293.30
76	Q 6,335.31	Q 5,363.88
77	Q 6,335.96	Q 5,434.45
78	Q 6,336.61	Q 5,505.03
79	Q 6,337.26	Q 5,575.61
80	Q 6,337.91	Q 5,646.19
81	Q 6,338.56	Q 5,716.76
82	Q 6,339.21	Q 5,787.34
83	Q 6,339.86	Q 5,857.92
84	Q 6,340.51	Q 5,928.50
85	Q 6,341.16	Q 5,999.07
86	Q 6,341.81	Q 6,069.65
87	Q 6,342.46	Q 6,140.23
88	Q 6,343.11	Q 6,210.80
89	Q 6,343.76	Q 6,281.38
90	Q 6,344.41	Q 6,351.96
91	Q 6,345.06	Q 6,422.54
92	Q 6,345.71	Q 6,493.11
93	Q 6,346.36	Q 6,563.69
94	Q 6,347.01	Q 6,634.27
95	Q 6,347.66	Q 6,704.85
96	Q 6,348.30	Q 6,775.42
97	Q 6,348.95	Q 6,846.00
98	Q 6,349.60	Q 6,916.58
99	Q 6,350.25	Q 6,987.16
100	Q 6,350.90	Q 7,057.73

Tabla 41. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 5 años

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
0	Q 1,184.51	Q -
1	Q 1,216.53	Q 333.74
2	Q 1,248.54	Q 667.47
3	Q 1,280.56	Q 1,001.21
4	Q 1,312.58	Q 1,334.94
5	Q 1,344.59	Q 1,668.68
6	Q 1,376.61	Q 2,002.42
7	Q 1,408.63	Q 2,336.15
8	Q 1,440.64	Q 2,669.89
9	Q 1,472.66	Q 3,003.62
10	Q 1,504.68	Q 3,337.36
11	Q 1,536.69	Q 3,671.10
12	Q 1,568.71	Q 4,004.83
13	Q 1,600.73	Q 4,338.57
14	Q 1,632.74	Q 4,672.31
15	Q 4,546.27	Q 5,006.04
16	Q 4,770.39	Q 5,339.78
17	Q 4,994.51	Q 5,673.51
18	Q 5,218.63	Q 6,007.25
19	Q 5,442.75	Q 6,340.99
20	Q 5,666.86	Q 6,674.72

Tabla 42. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 5 años

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
0	Q 1,184.51	Q -
1	Q 1,202.57	Q 226.40
2	Q 1,220.64	Q 452.81
3	Q 1,238.70	Q 679.21
4	Q 1,256.76	Q 905.62
5	Q 1,274.83	Q 1,132.02
6	Q 1,292.89	Q 1,358.43
7	Q 1,310.96	Q 1,584.83
8	Q 1,329.02	Q 1,811.24
9	Q 1,347.08	Q 2,037.64
10	Q 1,365.15	Q 2,264.04
11	Q 1,383.21	Q 2,490.45
12	Q 1,401.27	Q 2,716.85
13	Q 3,532.81	Q 2,943.26

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
14	Q 3,713.45	Q 3,169.66
15	Q 3,894.09	Q 3,396.07

Tabla 43. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), llevando a cabo corridas individuales durante 5 años

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
0	Q 1,184.51	Q -
1	Q 1,190.92	Q 141.60
2	Q 1,197.34	Q 283.21
3	Q 1,203.75	Q 424.81
4	Q 1,210.17	Q 566.41
5	Q 1,216.58	Q 708.02
6	Q 1,223.00	Q 849.62
7	Q 1,229.41	Q 991.22
8	Q 1,235.83	Q 1,132.83
9	Q 1,242.24	Q 1,274.43
10	Q 1,248.66	Q 1,416.03
11	Q 1,255.07	Q 1,557.64
12	Q 1,261.49	Q 1,699.24
13	Q 1,267.90	Q 1,840.84
14	Q 1,274.32	Q 1,982.45
15	Q 1,280.73	Q 2,124.05

Tabla 44. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de FRESA (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 5 años

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
0	Q 1,412.73	Q -
1	Q 1,416.14	Q 39.14
2	Q 1,419.56	Q 78.27
3	Q 1,422.98	Q 117.41
4	Q 1,426.39	Q 156.54
5	Q 1,429.81	Q 195.68
6	Q 1,433.22	Q 234.81
7	Q 1,436.64	Q 273.95
8	Q 1,440.05	Q 313.08
9	Q 1,443.47	Q 352.22
10	Q 1,446.88	Q 391.35
11	Q 1,450.30	Q 430.49
12	Q 1,453.72	Q 469.63
13	Q 1,457.13	Q 508.76

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
14	Q 1,460.55	Q 547.90
15	Q 1,463.96	Q 587.03
16	Q 1,467.38	Q 626.17
17	Q 1,470.79	Q 665.30
18	Q 1,474.21	Q 704.44
19	Q 1,477.63	Q 743.57
20	Q 1,481.04	Q 782.71
21	Q 1,484.46	Q 821.84
22	Q 1,487.87	Q 860.98
23	Q 1,491.29	Q 900.11
24	Q 1,494.70	Q 939.25
25	Q 1,498.12	Q 978.39
26	Q 1,501.53	Q 1,017.52
27	Q 1,504.95	Q 1,056.66
28	Q 1,508.37	Q 1,095.79
29	Q 1,511.78	Q 1,134.93
30	Q 1,515.20	Q 1,174.06
31	Q 1,518.61	Q 1,213.20
32	Q 1,522.03	Q 1,252.33
33	Q 1,525.44	Q 1,291.47
34	Q 1,528.86	Q 1,330.60
35	Q 1,532.27	Q 1,369.74
36	Q 1,535.69	Q 1,408.88
37	Q 1,539.11	Q 1,448.01
38	Q 1,542.52	Q 1,487.15
39	Q 1,545.94	Q 1,526.28
40	Q 1,549.35	Q 1,565.42
41	Q 1,552.77	Q 1,604.55
42	Q 1,556.18	Q 1,643.69
43	Q 1,559.60	Q 1,682.82
44	Q 1,563.01	Q 1,721.96
45	Q 1,566.43	Q 1,761.09
46	Q 1,569.85	Q 1,800.23
47	Q 1,573.26	Q 1,839.36
48	Q 1,576.68	Q 1,878.50
49	Q 1,580.09	Q 1,917.64
50	Q 1,583.51	Q 1,956.77
51	Q 1,586.92	Q 1,995.91
52	Q 1,590.34	Q 2,035.04
53	Q 1,593.75	Q 2,074.18
54	Q 1,597.17	Q 2,113.31
55	Q 1,600.59	Q 2,152.45

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
56	Q 1,604.00	Q 2,191.58
57	Q 1,607.42	Q 2,230.72
58	Q 1,610.83	Q 2,269.85
59	Q 1,614.25	Q 2,308.99
60	Q 1,617.66	Q 2,348.13
61	Q 1,621.08	Q 2,387.26
62	Q 1,624.49	Q 2,426.40
63	Q 1,627.91	Q 2,465.53
64	Q 1,631.33	Q 2,504.67
65	Q 1,634.74	Q 2,543.80
66	Q 1,638.16	Q 2,582.94
67	Q 1,641.57	Q 2,622.07
68	Q 1,644.99	Q 2,661.21
69	Q 1,648.40	Q 2,700.34
70	Q 1,651.82	Q 2,739.48
71	Q 1,655.24	Q 2,778.61
72	Q 1,658.65	Q 2,817.75
73	Q 1,662.07	Q 2,856.89
74	Q 1,665.48	Q 2,896.02
75	Q 1,668.90	Q 2,935.16
76	Q 1,672.31	Q 2,974.29
77	Q 1,675.73	Q 3,013.43
78	Q 1,679.14	Q 3,052.56
79	Q 1,682.56	Q 3,091.70
80	Q 1,685.98	Q 3,130.83
81	Q 1,689.39	Q 3,169.97
82	Q 1,692.81	Q 3,209.10
83	Q 1,696.22	Q 3,248.24
84	Q 1,699.64	Q 3,287.38
85	Q 1,703.05	Q 3,326.51
86	Q 1,706.47	Q 3,365.65
87	Q 1,709.88	Q 3,404.78
88	Q 1,713.30	Q 3,443.92
89	Q 1,716.72	Q 3,483.05
90	Q 1,720.13	Q 3,522.19
91	Q 1,723.55	Q 3,561.32
92	Q 1,726.96	Q 3,600.46
93	Q 1,730.38	Q 3,639.59
94	Q 1,733.79	Q 3,678.73
95	Q 1,737.21	Q 3,717.86
96	Q 1,740.62	Q 3,757.00
97	Q 1,744.04	Q 3,796.14

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
98	Q 1,747.46	Q 3,835.27
99	Q 1,750.87	Q 3,874.41
100	Q 1,754.29	Q 3,913.54

Tabla 45. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de MANGO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 5 años

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
0	Q 1,412.73	Q -
1	Q 1,414.56	Q 26.47
2	Q 1,416.40	Q 52.94
3	Q 1,418.23	Q 79.41
4	Q 1,420.06	Q 105.88
5	Q 1,421.90	Q 132.36
6	Q 1,423.73	Q 158.83
7	Q 1,425.57	Q 185.30
8	Q 1,427.40	Q 211.77
9	Q 1,429.23	Q 238.24
10	Q 1,431.07	Q 264.71
11	Q 1,432.90	Q 291.18
12	Q 1,434.74	Q 317.65
13	Q 1,436.57	Q 344.12
14	Q 1,438.40	Q 370.59
15	Q 1,440.24	Q 397.07
16	Q 1,442.07	Q 423.54
17	Q 1,443.91	Q 450.01
18	Q 1,445.74	Q 476.48
19	Q 1,447.57	Q 502.95
20	Q 1,449.41	Q 529.42
21	Q 1,451.24	Q 555.89
22	Q 1,453.08	Q 582.36
23	Q 1,454.91	Q 608.83
24	Q 1,456.74	Q 635.30
25	Q 1,458.58	Q 661.78
26	Q 1,460.41	Q 688.25
27	Q 1,462.24	Q 714.72
28	Q 1,464.08	Q 741.19
29	Q 1,465.91	Q 767.66
30	Q 1,467.75	Q 794.13
31	Q 1,469.58	Q 820.60
32	Q 1,471.41	Q 847.07
33	Q 1,473.25	Q 873.54
34	Q 1,475.08	Q 900.02

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
35	Q 1,476.92	Q 926.49
36	Q 1,478.75	Q 952.96
37	Q 1,480.58	Q 979.43
38	Q 1,482.42	Q 1,005.90
39	Q 1,484.25	Q 1,032.37
40	Q 1,486.09	Q 1,058.84
41	Q 1,487.92	Q 1,085.31
42	Q 1,489.75	Q 1,111.78
43	Q 1,491.59	Q 1,138.25
44	Q 1,493.42	Q 1,164.73
45	Q 1,495.26	Q 1,191.20
46	Q 1,497.09	Q 1,217.67
47	Q 1,498.92	Q 1,244.14
48	Q 1,500.76	Q 1,270.61
49	Q 1,502.59	Q 1,297.08
50	Q 1,504.42	Q 1,323.55
51	Q 1,506.26	Q 1,350.02
52	Q 1,508.09	Q 1,376.49
53	Q 1,509.93	Q 1,402.97
54	Q 1,511.76	Q 1,429.44
55	Q 1,513.59	Q 1,455.91
56	Q 1,515.43	Q 1,482.38
57	Q 1,517.26	Q 1,508.85
58	Q 1,519.10	Q 1,535.32
59	Q 1,520.93	Q 1,561.79
60	Q 1,522.76	Q 1,588.26
61	Q 1,524.60	Q 1,614.73
62	Q 1,526.43	Q 1,641.20
63	Q 1,528.27	Q 1,667.68
64	Q 1,530.10	Q 1,694.15
65	Q 1,531.93	Q 1,720.62
66	Q 1,533.77	Q 1,747.09
67	Q 1,535.60	Q 1,773.56
68	Q 1,537.44	Q 1,800.03
69	Q 1,539.27	Q 1,826.50
70	Q 1,541.10	Q 1,852.97
71	Q 1,542.94	Q 1,879.44
72	Q 1,544.77	Q 1,905.91
73	Q 1,546.60	Q 1,932.39
74	Q 1,548.44	Q 1,958.86
75	Q 1,550.27	Q 1,985.33
76	Q 1,552.11	Q 2,011.80

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
77	Q 1,553.94	Q 2,038.27
78	Q 1,555.77	Q 2,064.74
79	Q 1,557.61	Q 2,091.21
80	Q 1,559.44	Q 2,117.68
81	Q 1,561.28	Q 2,144.15
82	Q 1,563.11	Q 2,170.63
83	Q 1,564.94	Q 2,197.10
84	Q 1,566.78	Q 2,223.57
85	Q 1,568.61	Q 2,250.04
86	Q 1,570.45	Q 2,276.51
87	Q 1,572.28	Q 2,302.98
88	Q 1,574.11	Q 2,329.45
89	Q 1,575.95	Q 2,355.92
90	Q 1,577.78	Q 2,382.39
91	Q 1,579.61	Q 2,408.86
92	Q 1,581.45	Q 2,435.34
93	Q 1,583.28	Q 2,461.81
94	Q 1,585.12	Q 2,488.28
95	Q 1,586.95	Q 2,514.75
96	Q 1,588.78	Q 2,541.22
97	Q 1,590.62	Q 2,567.69
98	Q 1,592.45	Q 2,594.16
99	Q 1,594.29	Q 2,620.63
100	Q 1,596.12	Q 2,647.10

Tabla 46. Unidades vendidas, costo total e ingreso por ventas del proceso de liofilización de COCO (al mes), utilizando el equipo su máxima capacidad durante 5 años

Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
0	Q 1,412.73	Q -
1	Q 1,413.38	Q 16.70
2	Q 1,414.03	Q 33.39
3	Q 1,414.68	Q 50.09
4	Q 1,415.33	Q 66.79
5	Q 1,415.98	Q 83.49
6	Q 1,416.63	Q 100.18
7	Q 1,417.28	Q 116.88
8	Q 1,417.93	Q 133.58
9	Q 1,418.58	Q 150.27
10	Q 1,419.23	Q 166.97
11	Q 1,419.88	Q 183.67

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
12	Q 1,420.52	Q 200.37
13	Q 1,421.17	Q 217.06
14	Q 1,421.82	Q 233.76
15	Q 1,422.47	Q 250.46
16	Q 1,423.12	Q 267.15
17	Q 1,423.77	Q 283.85
18	Q 1,424.42	Q 300.55
19	Q 1,425.07	Q 317.25
20	Q 1,425.72	Q 333.94
21	Q 1,426.37	Q 350.64
22	Q 1,427.02	Q 367.34
23	Q 1,427.67	Q 384.03
24	Q 1,428.32	Q 400.73
25	Q 1,428.97	Q 417.43
26	Q 1,429.62	Q 434.13
27	Q 1,430.27	Q 450.82
28	Q 1,430.92	Q 467.52
29	Q 1,431.57	Q 484.22
30	Q 1,432.22	Q 500.91
31	Q 1,432.87	Q 517.61
32	Q 1,433.52	Q 534.31
33	Q 1,434.17	Q 551.00
34	Q 1,434.82	Q 567.70
35	Q 1,435.47	Q 584.40
36	Q 1,436.12	Q 601.10
37	Q 1,436.77	Q 617.79
38	Q 1,437.42	Q 634.49
39	Q 1,438.07	Q 651.19
40	Q 1,438.71	Q 667.88
41	Q 1,439.36	Q 684.58
42	Q 1,440.01	Q 701.28
43	Q 1,440.66	Q 717.98
44	Q 1,441.31	Q 734.67
45	Q 1,441.96	Q 751.37
46	Q 1,442.61	Q 768.07
47	Q 1,443.26	Q 784.76
48	Q 1,443.91	Q 801.46
49	Q 1,444.56	Q 818.16
50	Q 1,445.21	Q 834.86
51	Q 1,445.86	Q 851.55
52	Q 1,446.51	Q 868.25
53	Q 1,447.16	Q 884.95

<b>Unidades vendidas</b>	<b>Costo total</b>	<b>Ingreso por ventas</b>
54	Q 1,447.81	Q 901.64
55	Q 1,448.46	Q 918.34
56	Q 1,449.11	Q 935.04
57	Q 1,449.76	Q 951.74
58	Q 1,450.41	Q 968.43
59	Q 1,451.06	Q 985.13
60	Q 1,451.71	Q 1,001.83
61	Q 1,452.36	Q 1,018.52
62	Q 1,453.01	Q 1,035.22
63	Q 1,453.66	Q 1,051.92
64	Q 1,454.31	Q 1,068.62
65	Q 1,454.96	Q 1,085.31
66	Q 1,455.61	Q 1,102.01
67	Q 1,456.26	Q 1,118.71
68	Q 1,456.90	Q 1,135.40
69	Q 1,457.55	Q 1,152.10
70	Q 1,458.20	Q 1,168.80
71	Q 1,458.85	Q 1,185.50
72	Q 1,459.50	Q 1,202.19
73	Q 1,460.15	Q 1,218.89
74	Q 1,460.80	Q 1,235.59
75	Q 1,461.45	Q 1,252.28
76	Q 1,462.10	Q 1,268.98
77	Q 1,462.75	Q 1,285.68
78	Q 1,463.40	Q 1,302.38
79	Q 1,464.05	Q 1,319.07
80	Q 1,464.70	Q 1,335.77
81	Q 1,465.35	Q 1,352.47
82	Q 1,466.00	Q 1,369.16
83	Q 1,466.65	Q 1,385.86
84	Q 1,467.30	Q 1,402.56
85	Q 1,467.95	Q 1,419.25
86	Q 1,468.60	Q 1,435.95
87	Q 1,469.25	Q 1,452.65
88	Q 1,469.90	Q 1,469.35
89	Q 1,470.55	Q 1,486.04
90	Q 1,471.20	Q 1,502.74
91	Q 1,471.85	Q 1,519.44
92	Q 1,472.50	Q 1,536.13
93	Q 1,473.15	Q 1,552.83
94	Q 1,473.80	Q 1,569.53
95	Q 1,474.44	Q 1,586.23

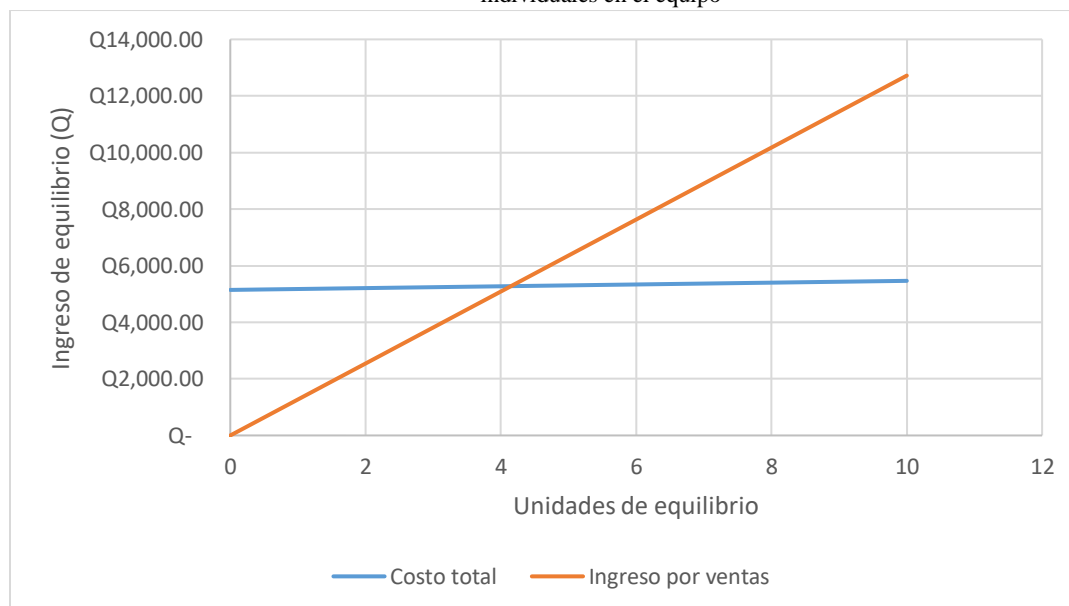
Unidades vendidas	Costo total	Ingreso por ventas
96	Q 1,475.09	Q 1,602.92
97	Q 1,475.74	Q 1,619.62
98	Q 1,476.39	Q 1,636.32
99	Q 1,477.04	Q 1,653.01
100	Q 1,477.69	Q 1,669.71

Tabla 47. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; llevando a cabo corridas individuales en el equipo, durante 5 años

Producto	Costo fijo	Costo variable	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	Q3984.48	Q224.12	Q997.11	4
Mango	Q3984.48	Q180.63	Q690.77	6
Coco	Q3984.48	Q96.23	Q451.18	9

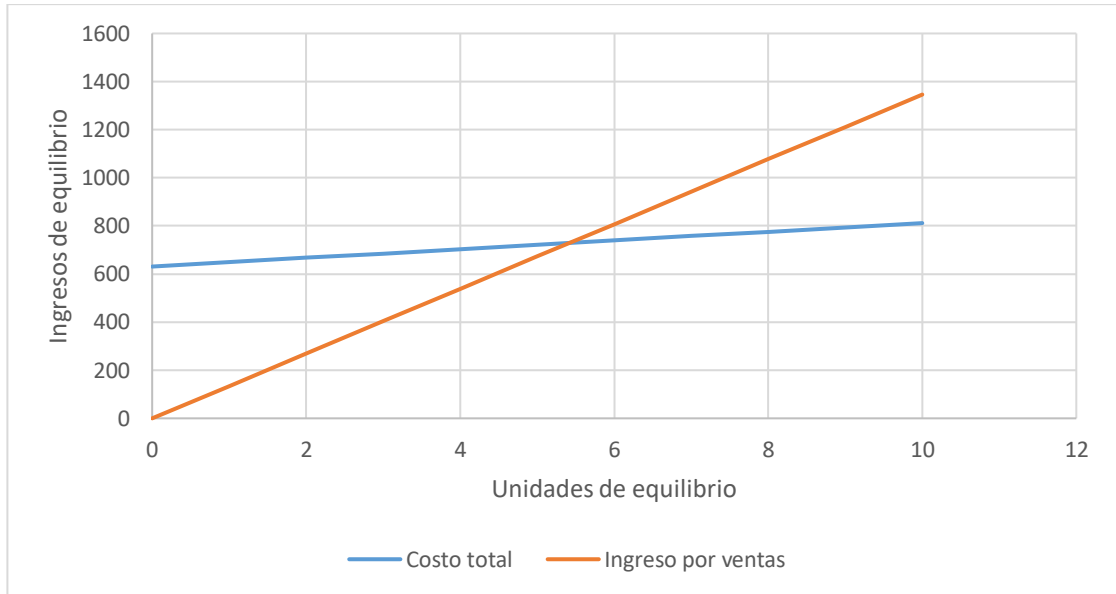
\*El ejemplo de cálculo para estos datos se encuentran en la sección de anexos del cálculo 11 al cálculo 15. Los números de lotes mensuales de 10g de fruta liofilizada son la cantidad de corridas individuales por la renta de equipo que se debe de llevar a cabo al mes durante cinco años para igualar los ingresos con los costos de producción.

Figura 27. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de fresa liofilizada, llevando a cabo corridas individuales en el equipo



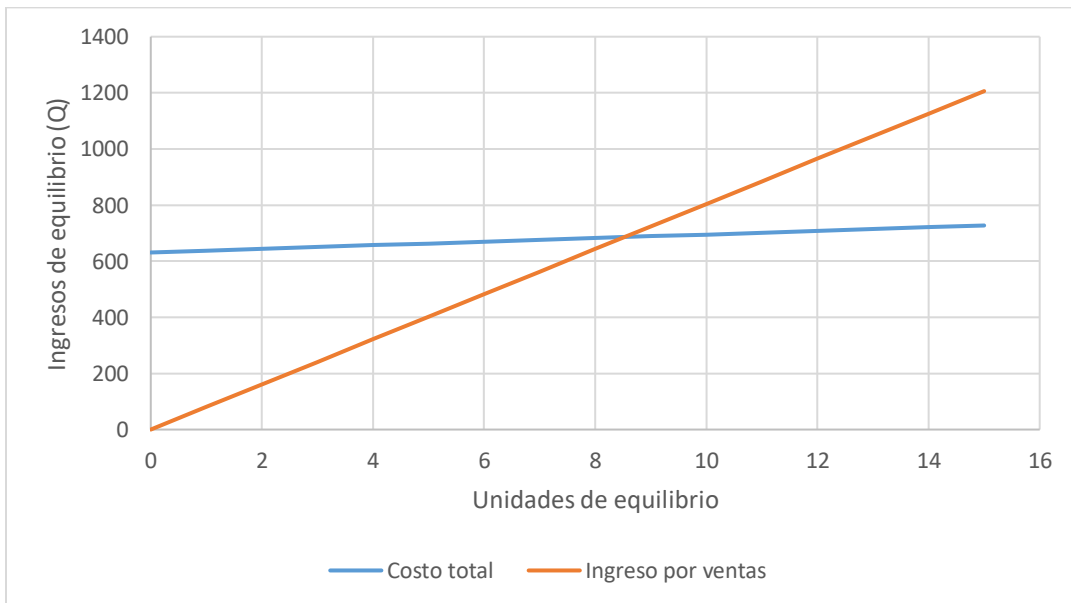
\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de fresa que se deben de vender al mes durante 5 años, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es llevando corridas individuales en el equipo.

Figura 28. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de mango liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo



\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de mango que se deben de vender al mes durante 5 años, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es llevando corridas individuales en el equipo.

Figura 29. Punto de equilibrio a cinco años de la producción y ventas de coco liofilizada llevando a cabo corridas individuales en el equipo



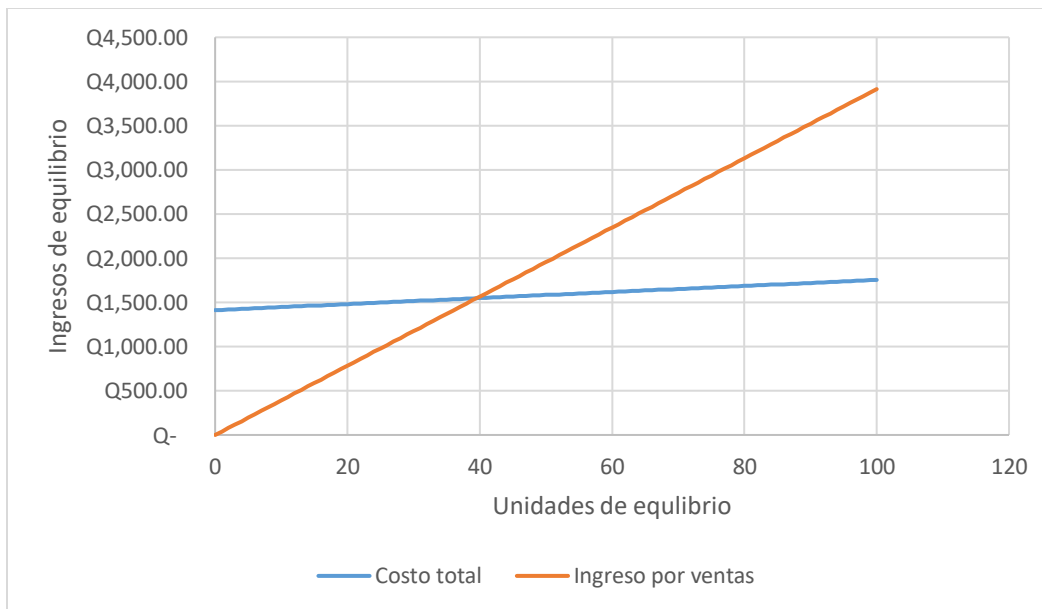
\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de coco que se deben de vender al mes durante 5 años, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es llevando corridas individuales en el equipo.

Tabla 48. Análisis de costos, precios y número de lotes mensuales de fruta liofilizada (10g): fresa, mango y coco; utilizando el equipo a su máxima capacidad, durante cinco años

Producto	Costo fijo	Costo variable	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	Q4212.70	Q239.09	Q105.47	42
Mango	Q4212.70	Q183.39	Q72.91	60
Coco	Q4212.70	Q97.45	Q47.65	92

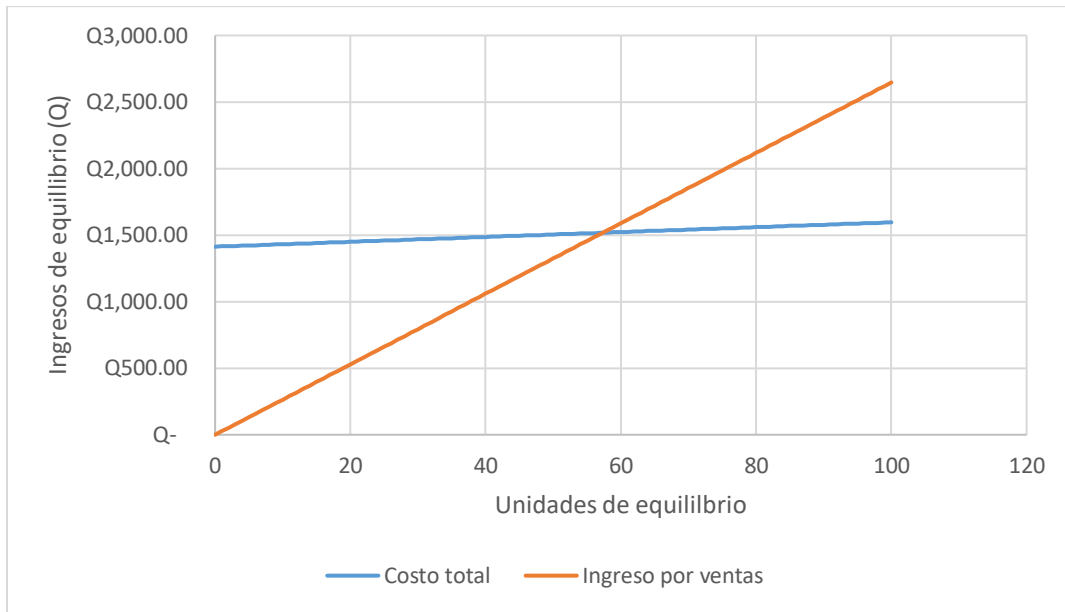
\*El ejemplo de cálculo para estos datos se encuentran en la sección de anexos del cálculo 11 al cálculo 15. Los números de lotes mensuales de 10g de fruta liofilizada son la cantidad de corridas individuales por la renta de equipo que se debe de llevar a cabo al mes durante cinco años para igualar los ingresos con los costos de producción. Esto es asumiendo que se está trabajando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes a la vez).

Figura 30. Punto de equilibrio a cinco años de la producción y ventas de fresa liofilizada llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad



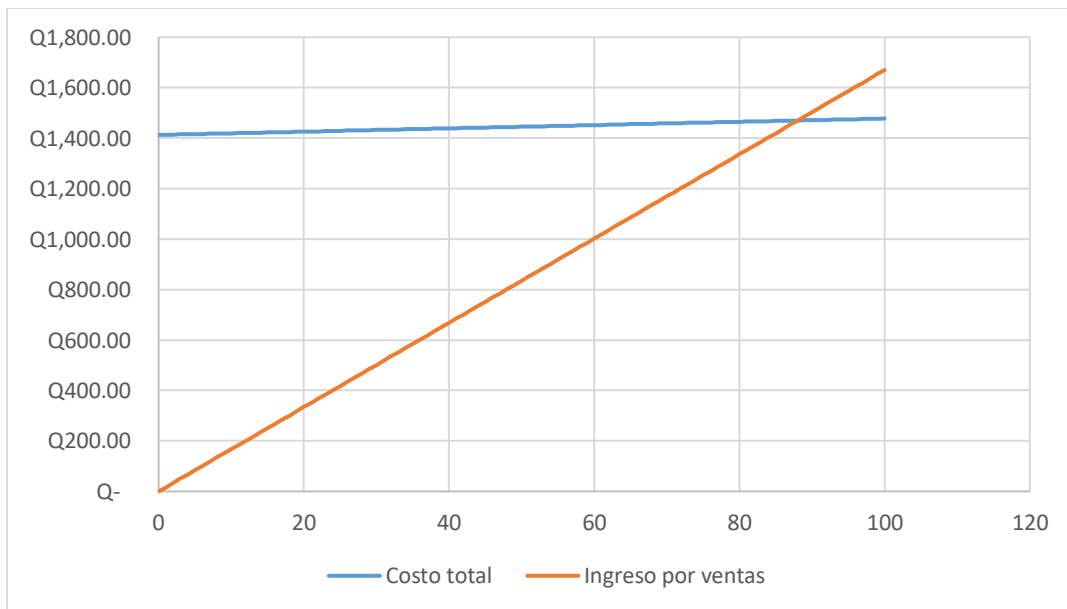
\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de fresa que se deben de vender al mes durante un año, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es utilizando el equipo a su máxima capacidad

Figura 31. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de mango liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad



\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de mango que se deben de vender al mes durante 5 años, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es utilizando el equipo a su máxima capacidad

Figura 32. Punto de equilibrio a 5 años de la producción y ventas de coco liofilizado llevando a cabo corridas en el equipo a su máxima capacidad



\*En la gráfica, el cruce entre la curva de *costo total* y la curva de *ingresos por ventas* representa las unidades (lotes de 10 gramos) de coco que se deben de vender al mes durante 5 años, al precio de venta estipulado para que los costos igualen a los ingresos. Esto es utilizando el equipo a su máxima capacidad

Tabla 49. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lote mensuales de fruta utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante ocho años

Producto	Capacidad de producción de lotes al mes	Costos variables	Costos variables unitarios	Costos fijos	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	70	Q239.09	Q3.42	Q3836.06	Q96.55	42
Mango	100	Q183.39	Q1.83	Q3836.06	Q66.66	60
Coco	150	Q97.45	Q0.65	Q3836.06	Q43.49	90

\*Las unidades en el punto de equilibrio son para una producción mensual.

Tabla 50. Análisis de capacidad de producción, costos, precios de venta y número de lote mensuales de fruta utilizando el equipo a su máxima capacidad (10 lotes) durante diez años

Producto	Capacidad de producción de lotes al mes	Costos variables	Costos variables unitarios	Costos fijos	Precio de venta	No. de lotes mensuales producidos por tipo de fruta
Fresa	70	Q239.09	Q3.42	Q3768.84	Q94.96	42
Mango	100	Q183.39	Q1.83	Q3768.84	Q65.55	60
Coco	150	Q97.45	Q0.65	Q3768.84	Q42.75	90

\*Las unidades en el punto de equilibrio son para una producción mensual.

Tabla 51. Datos eléctricos del congelador y el aire acondicionado

	Congelador	Aire acondicionado
Marca	Environmental E2quipment Co.	-
Modelo	U85-13	-
Consumo eléctrico	1.7525 kW	0.85 kW

Cálculo 1. Determinación del calor de la etapa 1 del proceso de congelación de fresa

\*A partir de la ecuación 1 y de los datos de la Tabla 3 del marco teórico y de la Tabla 13 de la sección de anexos se calculó:

$$Q_{C1} = m_m \times c_{pm1} \times \Delta t_{1-2}$$

$$Q_{C1} = (0.0504 \text{ kg}) \times (4.019 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) \times (|-8 - 23|)^\circ\text{C}$$

$$Q_{C1} = 4.821 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El resultado de este cálculo se encuentra en la Tabla 25 de la sección de anexos

Cálculo 2. Determinación del calor de la etapa 2 del proceso de congelación de fresa

\* A partir de la ecuación 2 y de los datos de la Tabla 3 del marco teórico y de la Tabla 23 de la sección de anexos se calculó:

$$Q_{C2} = m_m \times r_m$$

$$Q_{C2} = (0.0504 \text{ kg}) \times (307.03 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_{C2} = 15.47 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El resultado de este cálculo se encuentra en la Tabla 25 de la sección de anexos

Cálculo 3. Determinación del calor de la etapa 3 del proceso de congelación de fresa

\* A partir de la ecuación 3 y de los datos de la Tabla 3 del marco teórico y de la Tabla 23 de la sección de anexos se calculó:

$$Q_{C3} = m_m \times c_{pm2} \times \Delta t_{2-3}$$

$$Q_{C3} = (0.0504 \text{ kg}) \times (1.842 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}) \times (|-80 - 0.8|)^\circ\text{C}$$

$$Q_{C3} = 7.35 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El resultado de este cálculo se encuentra en la Tabla 25 de la sección de anexos

Cálculo 4. Determinación del calor total cedido del proceso de congelación de fresa

\* A partir de la ecuación 4 y de los datos de la Tabla 3 del marco teórico

$$Q_{Ctotal} = Q_{C1} + Q_{C2} + Q_{C3}$$

$$Q_{Ctotal} = 4.821 \text{ kJ} + 15.47 \text{ kJ} + 7.35 \text{ kJ}$$

$$Q_{Ctotal} = 33.17 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El resultado de este cálculo se encuentra en la Tabla 25 de la sección de anexos

Cálculo 5. Determinación del calor de sublimación de la fresa

\* A partir de la ecuación 5 y de los datos de la Tabla 3 del marco teórico y de la Tabla 23 de la sección de anexos se calculó:

$$Q_s = m_m \times H_c$$

$$Q_s = (0.0504 \text{ kg}) \times (2260 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_s = (113.79 \text{ kJ})$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El resultado de este cálculo se encuentra en la Tabla 25 de la sección de anexos

Cálculo 6. Determinación del consumo eléctrico del congelador para la producción de un lote de 0.01 kg de fresa liofilizada

\* A partir de la ecuación 8 y de los datos de la Tabla 20 de la sección de anexos se calculó:

$$E_1 = t_1 \times e_1$$

$$E_1 = (24 \text{ horas}) \times (6210 \text{ kJ})$$

$$E_1 = 149040 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco.

Cálculo 7. Determinación del consumo eléctrico del liofilizador para la producción de un lote de 0.01 kg de fresa liofilizada

\* A partir de la ecuación 9 y de los datos de la Tabla 20 de la sección de anexos se calculó:

$$E_2 = t_2 \times e_2$$

$$E_2 = (60 \text{ horas}) \times (4694.76 \text{ kJ})$$

$$E_2 = 281685.6 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco.

Cálculo 8. Determinación del consumo eléctrico del aire acondicionado para la producción de un lote de 0.01 kg de fresa liofilizada

\* A partir de la ecuación 10 y de los datos de la Tabla 24 de la sección de anexos se calculó:

$$E_3 = t_3 \times e_3$$

$$E_3 = (60 \text{ horas}) \times (3060 \text{ kJ})$$

$$E_3 = 183600 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco.

Cálculo 9. Determinación del consumo eléctrico total de los equipos para la producción de un lote de 0.01 kg de fresa liofilizada

\* A partir de la ecuación 11 del marco teórico se calculó:

$$E_{total} = E_1 + E_2 + E_3$$

$$E_{total} = 149040 \text{ kJ} + 281685.6 \text{ kJ} + 183600 \text{ kJ}$$

$$E_{total} = 614325.6 \text{ kJ}$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. Este resultado puede ser encontrado en la Tabla 24 de la sección de anexos

Cálculo 10. Determinación del costo del consumo eléctrico total de los equipos para la producción de un lote de 0.01 kg de fresa liofilizada

\* A partir de la ecuación 12 y de los datos de la Tabla 24 de la sección de anexos se calculó:

$$C_T = E_{total} \times P$$

$$C_T = (614325.6 \text{ kJ}) \times (3.62 \times 10^{-4} \text{ Q/kJ})$$

$$C_T = Q222.45$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. Este resultado puede ser encontrado en la Tabla 25 de la sección de anexos

Cálculo 11. Determinación de las prestaciones anuales para el operario del liofilizador

$$\text{Salario base: } Q2,825.1$$

$$\text{IGSS Patronal} = 4.83\% \times \text{salario base} = Q2,825.1 \times 4.83\% = Q1,136.45$$

$$\text{IGSS Empleado} = 12.67\% \times \text{salario base} = Q2,825.1 \times 12.67\% = Q357.94$$

$$\text{ISR} = 5\% \times \text{salario base} = 5\% \times Q2,825.1 = Q141.25$$

$$\text{Bono 14} = 8.33\% \times Q2,825.1 = Q235.33$$

$$\text{Aguinaldo} = 8.33\% \times Q2,825.1 = Q235.33$$

$$\text{Total: } Q41,999$$

\*Este total de prestaciones anuales fue empleado para el cálculo de costos fijos en el uso del liofilizador. Este total debe de ser dividido dentro de la cantidad de meses con las que se esté trabajando. Los resultados de este cálculo se encuentran en las tablas 31 y 32 de la sección de anexos

Cálculo 12. Determinación de los costos variables totales y costos fijos totales para la producción de un lote de 0.01 kg de fresa en corridas individuales en 1 año

$$CF = (\text{prestaciones anuales}/12) + ((\text{costos del equipo})/(\text{meses de operación}))$$

$$CV = (\text{Costos de materia prima}) + (\text{Costos de electricidad})$$

$$CF = Q3,499.96 + Q1,644.86$$

$$CF = Q5,144.84$$

$$CV = Q1.66 + Q222.5$$

$$CV = Q224.12$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El monto de prestaciones que se debe de pagar mensualmente variará dependiendo de la cantidad de años a los que se esté haciendo el análisis. Estos resultados pueden ser encontrados en las tablas 33 y 35 de la sección de anexos.

Cálculo 13. Determinación de los costos variables totales y costos fijos totales para la producción de fresa empleando el equipo a máxima capacidad en 1 año

$$CF = (\text{prestaciones anuales}/12) + ((\text{costos del equipo})/(\text{meses de operación}))$$

$$CV = (\text{Costos de materia prima}) + (\text{Costos de electricidad})$$

$$CF = Q3,499.96 + Q1,644.86$$

$$CF = Q5,144.84$$

$$CV = Q16.6 + Q222.5$$

$$CV = Q239.1$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. El monto de prestaciones que se debe de pagar mensualmente variará dependiendo de la cantidad de años a los que se esté haciendo el análisis. Estos resultados pueden ser encontrados en las tablas 34, 36, 49 y 50 de la sección de anexos.

Cálculo 14. Determinación del precio de venta unitario de fresa por lote de 0.01 kg de fresa liofilizada en corridas individuales al mes durante un año

\* A partir de la ecuación 6 y de los datos de la Tabla 33 de la sección de anexos se calculó:

$$P = \frac{(CV + CF/U_p)}{1 - u} + 12\% \times (CVu + CF/U_p)$$

$$P = \frac{((Q224.12 + Q5144.84)/7)}{1 - 0.35} + 12\% \times \left(\frac{Q224.12 + Q5,144.84}{7}\right)$$

$$P = Q1,272.03$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. Este cálculo puede ser replicable tanto para corridas individuales, como para el uso del equipo a su máxima capacidad. De igual forma, estos datos pueden variar dependiendo el número de años con los que se esté trabajando. Los resultados de este cálculo se encuentran en las tablas 7 a 9 de la sección de resultados y las tablas 49 y 50 de la sección de anexos

Cálculo 15. Determinación de las unidades necesarias para llegar al equilibrio entre costos e ingresos para un lote de 0.01 kg de fresa liofilizada en corridas individuales al mes durante un año

\* A partir de la ecuación 6 y de los datos de la Tabla 33 de la sección de anexos se calculó:

$$(P \times U) - (Cvu \times U) - CF = 0$$

$$U = \frac{Q}{P - Cuv}$$

$$U = \frac{Q5144.84}{Q1,272.03 - Q32} = 5$$

\*Se repitió el cálculo para los datos del mango y coco. Este cálculo puede ser replicable tanto para corridas individuales, como para el uso del equipo a su máxima capacidad. De igual forma, estos datos pueden variar dependiendo el número de años con los que se esté trabajando. Los resultados de este cálculo se encuentran en las tablas 7 a 9 de la sección de resultados y las tablas 49 y 50 de la sección de anexos

Figura 33. Resultado de la fresa liofilizada en la Universidad del Valle de Guatemala



Figura 35. Resultado del coco liofilizado en la Universidad del Valle de Guatemala



Figura 34. Resultado del mango liofilizado en la Universidad del Valle de Guatemala



Figura 36. Fresa liofilizada comercial



Figura 37. Mango liofilizado comercial



Figura 38. Coco liofilizado comercial

