

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación técnica de la retención de antocianinas en frutos de moras (*Rubus glaucus Benth*) sometidos a tratamientos de liofilización y secado.

Trabajo de graduación presentado por Zarina Alejandra García Guzmán para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Biotecnología Industrial.

Guatemala

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Evaluación técnica de la retención de antocianinas en frutos de moras (*Rubus glaucus* Benth) sometidos a tratamientos de liofilización y secado.

Trabajo de graduación presentado por Zarina Alejandra García Guzmán para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Biotecnología Industrial.

Guatemala,

2024

Vo. Bo.

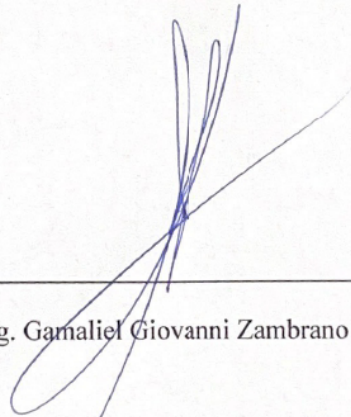
(f) 

MSc & MBA. Ing. Luis Ernesto Núñez González


Terna examinadora

(f) 

MSc & MBA. Ing. Luis Ernesto Núñez González

(f) 

Msc. Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 

Ing. Carmen Alicia Ortiz Pineda

Fecha de aprobación: Guatemala, 3 de enero de 2024

PREFACIO

Después de 5 años de este recorrido, agradezco a mi madre, Zarina Guzmán, por ser mi fuente inagotable de amor y apoyo incondicional. Tus consejos sabios y tus palabras de aliento fueron fundamentales para enfrentar los desafíos y lograr alcanzar mis metas.

Además, agradezco a mi hermana, Vanessa García, por tu apoyo incondicional y tus palabras de ánimo quehan sido mi sostén en los momentos más difíciles. Compartir esta experiencia contigo ha hecho que cada logro sea aún más significativo.

También quiero extender mi agradecimiento a mis abuelos, Nery Guzmán y Titania de Guzmán, cuyo amor y sabiduría han sido una inspiración para mí. Su legado ha dejado una huella indeleble en mi vida y estoy eternamente agradecido/a por su apoyo incondicional.

A mi tío Nery Guzmán, gracias por ser un modelo a seguir y por brindarme valiosas lecciones de vida que han enriquecido mi crecimiento personal y profesional.

No puedo dejar de reconocer el valioso apoyo de los ingenieros que me acompañaron en el tratamiento de mi trabajo de graduación. Agradezco sinceramente a los ingenieros Luis Núñez y Gamaliel Zambrano por su orientación, dedicación y paciencia durante este importante proyecto. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para el desarrollo de mi trabajo.

También quiero mencionar y agradecer a mis queridas amigas y colegas que han sido un pilar en mi camino universitario, en especial a Deyanira Batres, Gabriela Pineda y Frida López, gracias por compartir risas, conocimientos y momentos inolvidables a lo largo de nuestra carrera. Su amistad ha enriquecido mi vida y ha hecho de esta experiencia académica un viaje memorable.

ÍNDICE

LISTA DE CUADROS	III
LISTA DE FIGURAS	VI
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos.....	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	4
1. Descripción de la planta	4
2. Generalidades del cultivo de mora	5
3. Cosecha.....	6
4. Postcosecha.....	6
5. Especificaciones de la mora para su distribución.....	6
B. Antocianinas	9
1. Definición	9
2. Biosíntesis de las antocianinas	10
3. Factores químicos que determinan el color y la estabilidad de las antocianinas..	11
4. Fuentes.....	13
5. Propiedades terapéuticas.....	14
C. Estrés oxidativo	14
1. Radicales libres y sus consecuencias en el cuerpo humano	15
D. Liofilización.....	16
1. Descripción del tratamiento en general	16
2. Ciclo de liofilización	18
3. Componentes principales de un equipo de liofilización.....	19
4. Clasificación de los equipos de liofilización	21
E. Secado.....	22
1. Descripción del tratamiento en general	22
2. Condiciones que afectan el tratamiento.....	26
3. Secador de bandejas o armario	26
F. Humedad.....	27
V. ANTECEDENTES	28
VI. METODOLOGÍA.....	30

A. Materia Prima	30
B. Equipo.....	30
C. Reactivos	30
D. Caracterización de la mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	31
1. Determinación de la humedad utilizando una balanza de humedad.....	31
2. Determinación de densidad aparente y real del fruto de mora y la densidad del jugo de mora.	31
3. Determinación del pH.....	32
4. Determinación de sólidos totales como grados °Brix.....	33
5. Determinación del ácido málico en las moras mediante titulación potenciométrica.	34
6. Determinación del índice de madurez de la fruta en relación con los sólidos totales y a la cantidad de ácido málico presente.	34
7. Diámetro ecuatorial y longitud.....	35
E. Tratamiento de liofilización en moras (<i>Rubus glaucus</i> Benth).	36
F. Tratamiento de secado en moras (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	37
G. Extracción de antocianinas	38
1. Moras sin ningún tratamiento	38
2. Moras después del tratamiento de liofilización y secado	39
H. Cuantificación de antocianinas.....	40
VII. RESULTADOS	41
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
IX. CONCLUSIONES.....	57
X. RECOMENDACIONES	58
XI. BIBLIOGRAFÍA	59
XII. ANEXOS	62
A. Datos de placa.....	62
B. Cálculos de muestra.....	71
C. Datos originales	73
D. Datos calculados	81
E. Fotografías deL estudio	150
XIII. Glosario	154
XIV. Abreviaturas.....	157

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Aproximación de la presión y temperatura durante las etapas principales del ciclo de liofilización	43
Cuadro 2. Humedad inicial y final del ciclo de liofilización.....	43
Cuadro 3. Humedad promedio de las muestras de los frutos de moras prensadas (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante el tiempo de secado	45
Cuadro 4. Velocidad de secado en relación con el contenido de humedad promedio de las muestras de los frutos de moras (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	45
Cuadro 5. Humedad inicial y final del tratamiento de secado.....	47
Cuadro 6.Comparación técnica entre los tratamientos de liofilización y secado utilizando diferentes parámetros en función del equipo utilizado.....	47
Cuadro 7. Caracterización de la moras del lote FCEM provenientes de la empresa "Planesa Fresh"	48
Cuadro 8. Caracterización del polvo de moras obtenido después del tratamiento de liofilización.....	48
Cuadro 9. Caracterización del polvo de moras después del tratamiento de secado	49
Cuadro 10.Determinación de la cantidad de azúcares preservadas durante los tratamientos de liofilización y secado	50
Cuadro 11. Especificaciones de la balanza analítica	62
Cuadro 12. Especificaciones de la balanza.....	62
Cuadro 13. Especificaciones de la balanza de humedad	63
Cuadro 14.Especificaciones del potenciómetro digital	64
Cuadro 15. Especificaciones del refractómetro portátil	64
Cuadro 16. Especificaciones del vernier digital	65
Cuadro 17. Especificaciones del amperímetro	66
Cuadro 18. Especificaciones del espectrofotómetro UV-VIS	66
Cuadro 19. Especificaciones de la centrífuga modelo 5804 R.....	67
Cuadro 20. Especificaciones de la centrífuga modelo 228.....	68

Cuadro 21. Especificaciones del hidrómetro	68
Cuadro 22. Especificaciones del anemómetro.....	69
Cuadro 23. Especificaciones del liofilizador	69
Cuadro 24. Secador de bandejas.....	70
Cuadro 25. Mediciones de pH para la caracterización del lote FCEM	73
Cuadro 26. Determinación de los sólidos solubles presentes el lote FCEM	73
Cuadro 27. Diámetro ecuatorial y longitud de las moras en el lote FCEM.....	73
Cuadro 28. Densidad de los frutos de mora enteros.	74
Cuadro 29. Densidad del jugo de mora	75
Cuadro 30. Titulación potenciométrica del jugo de mora para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra	75
Cuadro 31. Concentraciones del ácido orgánicos predominante en la mora sin ningún tratamiento	76
Cuadro 32. Mediciones de pH para la caracterización del lote FCEM después del tratamiento de liofilización	76
Cuadro 33. Densidad de la mora posterior al tratamiento de liofilización	77
Cuadro 34. Titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de liofilización.....	77
Cuadro 35. Concentraciones de los ácidos orgánicos predominantes en la mora después del tratamiento de liofilización.....	78
Cuadro 36. Mediciones de pH para la caracterización del lote FCEM después del tratamiento de secado.....	78
Cuadro 37. Densidad de la mora posterior al procedimiento de secado.....	79
Cuadro 38. Titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de secado.	79
Cuadro 39. Concentraciones de los ácidos orgánicos predominantes en la mora después del tratamiento de secado	80

Cuadro 40. Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) obtenida durante la primera corrida del ciclo de liofilización.....	84
Cuadro 41. Estadística descriptiva de la humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) obtenida durante la primera corrida del ciclo de liofilización.....	84
Cuadro 42. Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) obtenida durante la segunda corrida del ciclo de liofilización	85
Cuadro 43. Estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) obtenida durante la segunda corrida del ciclo de liofilización	85
Cuadro 44. Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) obtenida durante la tercera corrida del ciclo de liofilización	86
Cuadro 45. Estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) obtenida durante la tercera corrida del ciclo de liofilización	87
Cuadro 46. Porcentaje de humedad obtenido antes y después del tratamiento de liofilización durante la primera corrida	87
Cuadro 47. Porcentaje de humedad obtenido antes y después del tratamiento de liofilización durante la segunda corrida.....	88
Cuadro 48. Porcentaje de humedad obtenido antes y después del tratamiento de liofilización durante la tercera corrida.....	88
Cuadro 49. Humedad y velocidad de secado que se obtuvo en el tratamiento de secado en bandejas durante la primera corrida, en relación a su peso inicial y final	89
Cuadro 50. Humedad y velocidad de secado que se obtuvo en el tratamiento de secado en bandejas durante la segunda corrida, en relación a su peso inicial y final	89
Cuadro 51. Humedad y velocidad de secado que se obtuvo en el tratamiento de secado en bandejas durante la tercera corrida, en relación a su peso inicial y final	90
Cuadro 52. Presión y temperatura de la primera corrida durante el ciclo de liofilización ...	94
Cuadro 53. Presión y temperatura de la segunda corrida durante el ciclo de liofilización	112
Cuadro 54. Presión y temperatura de la tercera corrida durante el ciclo de liofilización...	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía de un arbusto de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	4
Figura 2. Morfología de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	5
Figura 3. Clasificación de las moras en sus tres categorías principales: extra, tipo I y tipo II.	6
Figura 4. Colores de la mora según su estado de madurez.....	8
Figura 5. Estructura y sustituyentes de las antocianinas	10
Figura 6. Ruta general de la biosíntesis de las antocianinas.....	11
Figura 7. Estructura de las antocianinas a diferentes valores de pH.	12
Figura 8. Contenido Ttotal de antocianinas en fuentes naturales.....	13
Figura 9. Generación de los radicales libres y los efectos adversos del estrés oxidativo en el cuerpo humano	16
Figura 10. Diagrama de fases del agua indicando el tratamiento de liofilización.....	17
Figura 11. Ciclo de liofilización típico.....	19
Figura 12. Componentes principales de un equipo de liofilización	20
Figura 13. Clasificación de los liofilizadores según el tipo de cámara de producto.	21
Figura 14. Clasificación de los liofilizadores según el tipo tamaño y uso.	22
Figura 15. Curva típica de secado.	23
Figura 16. Curva típica de rapidez de secado a condiciones constantes.	24
Figura 17. Esquema de un secador de bandejas o armario.....	26
Figura 18. Ciclo de liofilización promedio en las muestras de los frutos de moras (<i>Rubus glaucus</i> Benth).....	41
Figura 19. Aproximación de la presión y temperatura durante las etapas principales del ciclo de liofilización	42
Figura 20. Curva de secado promedio en función del contenido de humedad para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth)	44

Figura 21. Curva de velocidad de secado promedio para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth)	46
Figura 22. Comparación del ácido málico en la mora	49
Figura 23. Comparación de los azúcares presentes en la mora	50
Figura 24. Antocianinas totales presentes en la mora	51
Figura 25. Gráfica de la titulación potenciométrica promedio	76
Figura 26. Gráfica de la titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de liofilización	78
Figura 27. Gráfica de la titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de secado.....	80
Figura 28. Ciclo de liofilización durante la primera corrida.	81
Figura 29. Ciclo de liofilización durante la segunda corrida.....	82
Figura 30. Ciclo de liofilización durante la tercera corrida.	83
Figura 31. Curva de secado en función del contenido de humedad para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante la primera corrida	90
Figura 32. Curva de secado en función del contenido de humedad para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante la segunda corrida.....	91
Figura 33. Curva de secado en función del contenido de humedad para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante la tercera corrida.....	91
Figura 34. Curva de velocidad de secado para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante la primera corrida.....	92
Figura 35. Curva de velocidad de secado para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante la segunda corrida.....	92
Figura 36. Curva de velocidad de secado para frutos de mora (<i>Rubus glaucus</i> Benth) durante la tercera corrida	93
Figura 37. Balance de masa y energía del tratamiento de liofilización.....	148
Figura 38. Balance de masa y energía del tratamiento de secado en bandejas.....	149

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad de retención de antocianinas en moras (*Rubus glaucus* Benth) sometidas a los tratamientos de liofilización y secado. Se realizaron estudios antes y después de los tratamientos para determinar cuál de ellos generaba un producto con mayor contenido de antioxidantes, adecuado para su uso como fuente natural de compuestos bioactivos en la industria.

El ciclo de liofilización promedio de las moras tuvo como resultado una duración aproximada de 11 horas, equivalente a 654 minutos con un contenido de humedad final de $1.85\% \pm 0.01\%$, inferior al 10%. Como resultado se obtuvo un $98.147 \pm 0.010\%$ de efectividad, un rendimiento de $12.683 \pm 0.345\%$, una productividad de 0.096 ± 0.004 kg/h y una eficiencia de $2.189 \pm 0.008\%$. Por otro lado, el tratamiento de secado duró aproximadamente 7 horas (420 min), las moras prensadas alcanzaron un contenido de humedad de $9.88 \pm 0.01\%$, inferior al 10%. Como resultado se obtuvo un $90.493 \pm 0.172\%$ de efectividad, un rendimiento de $18.005 \pm 0.077\%$, una productividad de 2.123 ± 0.014 kg/h y una eficiencia de $1.471 \pm 0.002\%$

Se recomienda realizar un escalamiento del tratamiento de liofilización para reducir costos y tiempo de producción sin comprometer la calidad del producto final. También se sugiere realizar un análisis más preciso de las antocianinas mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés) y considerar medidas de conservación adicionales como el envasado al vacío. Además, se deben realizar estudios adicionales sobre otros compuestos bioactivos presentes en las moras y su comportamiento durante estos tratamientos para una comprensión más completa de su impacto en la calidad del producto final.

I. INTRODUCCIÓN

La mora es un fruto que es altamente cotizado por su gran contenido de vitaminas, minerales y antioxidantes, principalmente las antocianinas. El interés de estos compuestos bioactivos se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas. Las antocianinas ejercen diversos efectos terapéuticos, su consumo contribuye a una disminuir el riesgo de padecer diversas enfermedades cardiovasculares. (Forbes, Mangas, & Pagano, 2009). No obstante, son susceptibles a la degradación a condiciones alcalinas de pH, temperatura y cantidad de oxígeno durante el tratamiento de almacenamiento y transporte de alimentos.

El presente estudio se enfocó en la evaluación de la capacidad de retención de antocianinas en moras (*Rubus glaucus* Benth) sometidas a dos diferentes tratamientos: liofilización y secado. El propósito fundamental era determinar la operación unitaria que generara el producto con el mayor contenido de antioxidantes, asegurando así su potencial como fuente natural de compuestos bioactivos en la industria alimentaria..

En ese sentido, se planteó el tratamiento de secado ya que es una operación unitaria que consiste en hacer una separación de agua u otro líquido que se encuentre en un material sólido con el objetivo de minimizar el contenido de humedad hasta un valor relativamente bajo, en este caso menor al 10% (kg H₂O/ kg SS). Sin embargo, este tratamiento provocó cambios indeseados en los compuestos sensibles al calor tanto ácidos orgánicos como las antocianinas. Como alternativa, se empleó la liofilización, una operación unitaria que consiste en eliminar el agua de un producto mediante la sublimación del agua libre de la fase sólida, esto permitió secar la mora sin alterar su composición cualitativa o cuantitativa.

Con los resultados obtenidos de la investigación se concluye que la liofilización demostró ser más efectiva en la conservación de los compuestos bioactivos, ya que logró retener un contenido de 98.607 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido por cada 100 mL. Esto se debió a que el pH más bajo resultante de la alta concentración de ácido málico ejerció un efecto protector en la molécula de antocianina, manteniéndola en su forma más estable. Por otro lado, el tratamiento de secado aumentó el pH, lo que tuvo un impacto negativo en la concentración de antocianinas ya que obtuvo un contenido final de antocianinas de 41.998 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido por cada 100 mL. Además, durante el tratamiento de secado, se mantuvo una temperatura de 80°C para eliminar el agua, lo cual podría haber tenido un efecto significativo en las antocianinas, ya que a temperaturas elevadas, existe una mayor probabilidad de degradación de estas moléculas.

A pesar de que la liofilización logró una mayor eliminación de humedad y conservación de compuestos bioactivos, como las antocianinas, el tratamiento en sí demostró una eficiencia significativamente menor en términos de consumo de energía eléctrica en comparación con el tratamiento de secado en bandejas. El secado en bandejas, por otro lado, mostró una mayor eficiencia energética, pero a costa de una menor retención de compuestos bioactivos, lo que afectó la calidad del producto final en términos de contenido de antocianinas y otros compuestos beneficiosos.

II. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la salud humana se enfrenta a desafíos significativos relacionados con el estrés oxidativo, un tratamiento biológico que está vinculado al envejecimiento y al desarrollo de diversas enfermedades crónicas. Entre ellas incluyen el cáncer, la diabetes, las enfermedades cardiovasculares, hepáticas y neurodegenerativas, como el Alzheimer. En la región de Centroamérica y la República Dominicana, el impacto de estas enfermedades es evidente, con un estimado de 31,851 muertes anuales por cáncer solo en esta región. Además, se estima que aproximadamente 70,000 personas en Guatemala sufren, y un 70% de estos casos, están relacionados con el Alzheimer. Por esta razón, se ha estado buscando fuentes vegetales que contengan compuestos bioactivos que funcionen como antioxidantes. Entre estos compuestos, las antocianinas provenientes de frutos de moras destacan por su capacidad antioxidante y su potencial para contrarrestar los efectos del estrés oxidativo. (Prensa Libre, 2018).

Uno de los desafíos clave al que se enfrenta la industria alimentaria es la conservación de los alimentos sin comprometer sus propiedades nutricionales y organolépticas. El secado de alimentos es una técnica comúnmente utilizada para eliminar la humedad y prevenir la actividad microbiana, pero a menudo conlleva la pérdida de compuestos bioactivos esenciales y cambios en la calidad del producto. Es en este contexto que la liofilización emerge como una alternativa prometedora, ya que permite la eliminación del agua sin alterar significativamente la composición cualitativa o cuantitativa de los compuestos orgánicos presentes en los alimentos (Parzanese, 2016).

En ese sentido, se plantea esta investigación, con el objetivo de evaluar la capacidad de retención de antocianinas en frutos de mora sometidos a tratamientos de liofilización y secado. La determinación de la operación unitaria que genere el producto con el mayor contenido de antioxidantes tiene un valor estratégico significativo, ya que podría contribuir a la producción de alimentos funcionales y saludables con un potencial beneficio para la salud humana. Además, esta investigación puede tener implicaciones en la industria alimentaria, especialmente en la producción de productos de mora ricos en antioxidantes.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de retención de antocianinas en frutos de mora (*Rubus glaucus* Benth) sometidos a tratamientos de liofilización y secado para determinar la operación unitaria que genere el producto con mayor contenido de antioxidantes y asegurar su potencial como fuente natural de compuestos bioactivos en la industria.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo general se alcanzará con el resultado de los siguientes objetivos específicos.

1. Realizar el tratamiento de liofilización utilizando un liofilizador a escala laboratorio para obtener el fruto de la mora con un porcentaje de humedad menor al 10% para determinar el rendimiento y la efectividad de esta operación unitaria.
2. Realizar el tratamiento de secado para obtener el fruto de la mora con un porcentaje de humedad menor al 10% por medio de una curva de secado para determinar la productividad, el rendimiento y la efectividad de esta operación unitaria.
3. Cuantificar las antocianinas totales en las moras antes y después de aplicar los métodos de secado y liofilización por medio de espectrofotometría de pH diferencial para determinar la capacidad de retención de las antocianinas en cada operación unitaria evaluada.

IV. MARCO TEÓRICO

A. MORA (*RUBUS GLAUCUS* BENTH)

1. Descripción de la planta

La mora (*Rubus glaucus* Benth) se trata de un arbusto trepador con tallo cilíndrico sin vellosidades, de color verde claro y espinoso. Las espinas tienen una forma curva y se estrechan gradualmente desde la base hasta la punta, midiendo aproximadamente 2 a 3 mm de longitud. Es una planta herbácea anual por lo que presenta una raíz principal pivotante. Las raíces secundarias no se adentran profundamente en los suelos, por lo que se encuentran a una distancia de 10 a 20 centímetros (Orellana, 2014).

Las hojas son elípticas y oblongas, con forma de punta y un pecíolo largo. La cara inferior de las hojas es más clara que la superior. Son hojas alternas con bordes enteros o ligeramente dentados y ondulados. Las flores son color blanco y de tamaño pequeño. Se encuentran en inflorescencias laterales. Tienen un diámetro de 6 a 11 milímetros y un pedúnculo corto. El cáliz está compuesto por cinco partes lanceoladas y lineales, mientras que la corola consta de cinco segmentos lobulados. Los estambres son desiguales y el estilo es largo y simple (Orellana, 2014).

Las semillas son diminutas, de color café claro y tienen una superficie pubescente. Su diámetro polar oscila entre 1.2 y 1.3 milímetros, mientras que el diámetro ecuatorial es de 1.0 a 1.1 milímetros. Las semillas se clasifican dentro del grupo de las ortodoxas y una planta de moras desarrollada puede producir hasta 130,000 semillas (Orellana, 2014).

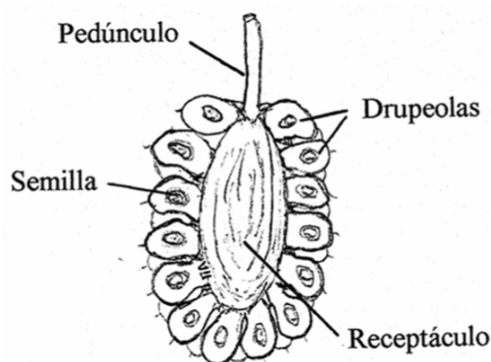
El fruto es una baya globosa que se vuelve de color azul oscuro o negro cuando se encuentra con un índice de madurez de 5 a 6, lo que indica que ya está madura. Tiene un diámetro ecuatorial de 10 a 20 milímetros y una longitud de 25 a 30 milímetros. El peso del fruto varía de 5.0 a 8.0 gramos y tiene una consistencia dura y sabor agridulce. La pulpa del fruto es de color rojizo y contiene entre 100 y 120 semillas. La humedad del fruto varía según el estado de madurez, sin embargo, puede oscilar entre el 83% al 90%. El pH suele estar en un rango de 3.0 a 3.5, indicando que es ligeramente ácida. Esto se debe a que contiene los siguientes ácidos: ácido málico, ácido cítrico y ácido acético (Escobar, 2013).

Figura 1. Fotografía de un arbusto de mora (Rubus glaucus Benth)



Fuente: (Léon, 2020).

Figura 2. Morfología de mora (*Rubus glaucus* Benth)



Fuente: (Léon, 2020).

Tabla 1. Composición química de las moras

Aproximados y carbohidratos		Contenido de vitaminas		Contenido de minerales	
Agua (g)	88.20	Ácido ascórbico total (mg)	21.00	Calcio (mg)	29.00
Energía (kcal)	43.00	Tiamina (mg)	0.02	Hierro (mg)	0.62
Proteína (g)	1.39	Riboflavina (mg)	0.03	Magnesio (mg)	20.00
Lípidos totales (g)	0.49	Niacina (mg)	0.65	Fósforo (mg)	22.00
Ceniza (g)	0.37	Ácido pantoténico (mg)	0.28	Potasio (mg)	162.00
Carbohidratos (g)	9.61	Vitamina B6 (mg)	0.03	Sodio (mg)	1.00
Fibra total (g)	5.30	Folato total (µg)	25.00	Zinc (mg)	0.53
Azúcares totales (g)	4.88	Vitamina B12 (µg)	ND	Cobre (mg)	0.17
Sucrosa (g)	0.07	Vitamina A (IU)	214.00	Manganeso (mg)	0.65
Glucosa (g)	2.31	α-tocoferol (mg)	1.17	Selenio (mg)	0.40
Fructosa (g)	2.40	β-tocoferol (mg)	0.04		
Maltosa (g)	0.07	γ-tocoferol (mg)	1.34		
Galactosa (g)	0.03	Δ-tocoferol (mg)	0.90		
Almidón (g)	ND	Vitamina K (µg)	19.80		

*ND, no detectado.

Fuente traducida: (Kaume, Howard, & Devareddy, 2011)

2. Generalidades del cultivo de mora

La mora requiere un clima relativamente soleado y fresco, con temperaturas que oscilen entre los 14 a 29°C. Para que se desarrolle correctamente, se debe cultivar a una altura de 1,800 a 3,400 msnm. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que las altas humedades ambientales favorecen la incidencia de enfermedades, y que existe peligro de climas fríos por encima de los 2,500 msnm. Los suelos que requiere la planta tienen que ser profundos y con una buena cantidad de materia orgánica y buena capacidad de retención de humedad, porque esta es importante en el período vegetativo y productivo ya que si se presentara escasez de agua los frutos serían pequeños, mala calidad y sin sabor. El pH del suelo debe estar comprendido entre 5.3 y 6.2, ligeramente ácido y la precipitación debe estar entre 1,200 y 2,400 milímetros al año (Escobar, 2013)

3. Cosecha

El momento más oportuno para la cosecha es cuando el fruto ha alcanzado su tamaño y desarrollo normal, como se menciona en el apartado 4.1.7. *Especificaciones de la mora para su distribución*. Sin embargo, se debe manipular la fruta con mucho cuidado ya que se puede llegar a aplastar con facilidad, lo que puede provocar una pérdida de jugo, presentación y valor. Se recomienda recolectar la fruta previa al grado de maduración para que el fruto pueda soportar la manipulación sin sufrir mayores daños (Escobar, 2013).

La recolección debe hacerse después de las primeras horas de la mañana ya que en este momento el fruto no tiene agua en el exterior. Esto, con el motivo de evitar que la mora reciba mucho calor, ya que esto acelera el tratamiento de maduración. Dependiendo de la zona, el clima dominante y la tecnología disponible, la fructificación puede comenzare a partir del octavo mes y la cosecha, a partir de los 12 meses (Escobar, 2013).

4. Postcosecha

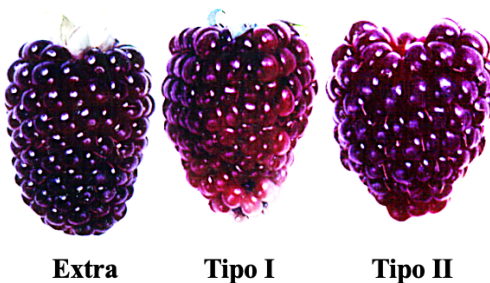
Las personas encargadas de recolectar el fruto deben estar entrenados para el empaque en el campo para garantizar que durante la exportación se minimice las lesiones en la fruta. Por esta razón, se debe tocar una sola vez desde la cosecha hacia el contenedor y solo las frutas maduras y firmes se pueden colocar en los recipientes designados a la exportación. Además, se debe de tener cuidado para evitar poner frutas sobre maduras, no maduras, podridas o dañas por insectos en las cajas de exportación para no promover la contaminación hacia las demás frutas (Escobar, 2013).

5. Especificaciones de la mora para su distribución

- Clasificación

La mora se clasifica en tres categorías principales: Extra, Tipo I y Tipo II. Las moras que entran en la primera categoría no tienen expuestas ninguna deformación, a diferencia de la Tipo I que presenta deformaciones en el ápice, parte inferior del fruto. La Tipo II presenta deformación del fruto y no posee cáliz, las hojas pequeñas que contiene la baya en la parte superior (NTC4106, 1997).

Figura 3. Clasificación de las moras en sus tres categorías principales: extra, tipo I y tipo II.



Fuente: (NTC4106, 1997)

- Calibre

Se debe determinar el diámetro ecuatorial de cada fruto y se clasifica por la siguiente escala:

Tabla 2. Calibres de la mora

Diámetro (mm)	Calibre	Peso promedio (g)
≥ 27	A	9,2
26 - 23	B	8,8
22 - 19	C	6,2
18 - 14	D	4,2
≤ 13	E	3,2

Fuente: (NTC4106, 1997)

- Requisitos generales

Los requisitos generales que deben cumplir las moras para realizar su venta y distribución son los siguientes:

- Los frutos deben estar enteros.
- Deben tener la forma característica de la mora, según la categoría extra.
- Deben estar libres de ataques de insectos y/o enfermedades, que disminuyan la calidad interna del fruto.
- Deben estar libres de humedad externa anormal, haciendo referencia al mal manejo en las etapas postcosecha.
- Deben estar exentas de cualquier olor y/o sabor extraño que puedan provenir de otros productos, empaques o recipientes y/o agroquímicos, con los cuales la baya haya estado en contacto.
- Deben presentar aspecto fresco y consistencia firme.
- Deben estar exentas de materiales extraños visibles como tierra, polvo, agroquímicos y cuerpos extraños.
- Deben tener las drupeolas formadas, llenas y adheridas al fruto.
- Para la distribución en el mercado, los frutos deben tener cáliz.
- La coloración de los frutos debe ser homogénea dependiendo del estado de madurez establecido.

- Requisitos de madurez

La madurez de la mora se aprecia visualmente por su color externos. Su estado se puede confirmar por medio de la determinación de los sólidos solubles totales, acidez titulable e índice de madurez. La siguiente descripción relaciona los cambios de color con los diferentes estados de madurez.

- COLOR 0: Fruto de color amarillo verdoso con drupeolas formadas
- COLOR 1: Fruto de color amarillo verdoso con algunas drupeolas de color rosado.
- COLOR 2: Se incrementa el área de color rosado.
- COLOR 3: El fruto es de color rojo claro
- COLOR 4: El color rojo del fruto es más intenso.
- COLOR 5: El fruto es de color rojo intenso, con algunas drupeolas de color morado.
- COLOR 6: El fruto es de color morado oscuro.

(NTC4106, 1997)

Figura 4. Colores de la mora según su estado de madurez



Fuente: (NTC4106, 1997)

- Requisitos específicos

- Sólidos solubles totales.

Los valores mínimos y máximos de sólidos solubles totales, que presenta cada uno de los estados identificados, anteriormente, se describen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Contenido de sólidos solubles totales expresados como grados Brix (°Bx) de acuerdo con la clasificación de los colores según el estado de madurez.

Color	0	1	2	3	4	5	6
°Bx (mínimo)	5,4	5,7	5,9	6,3	6,7	7,2	7,7
°Bx (máximo)	5,7	6,1	6,4	6,9	7,3	7,9	8,5

Fuente: (NTC4106, 1997)

- Acidez titulable

El valor máximo del porcentaje de ácido málico (ácido predominante del fruto), que presenta cada uno de los estados identificados, anteriormente, se describen en la siguiente tabla:

Tabla 4. Acidez titulable máxima expresada como porcentaje de ácido málico, de acuerdo con la clasificación de los colores según el estado de madurez.

Color	0	1	2	3	4	5	6
% Ácido málico (máximo)	3,3	3,4	3,5	3,4	3,1	2,8	2,5

Fuente: (NTC4106, 1997)

B. ANTOCIANINAS

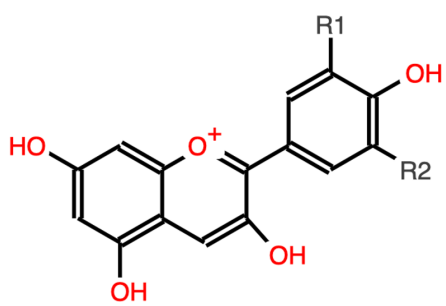
1. Definición

Son un grupo de pigmentos hidrosolubles que van desde el color rojo hasta el azul, se encuentran generalmente distribuidos en el reino vegetal. Las antocianinas son glucósidos de las antocianinas, ya que están unidas a un azúcar por medio de un enlace β -glucosídico. El color depende de varios factores, por ejemplo, al aumentar los hidroxilos en el anillo fenólico, se logra intensificar el color azul y da como resultado el que vemos en las moras. (Garzón, 2008).

Pertenecen al grupo de los flavonoides y tienen como estructura básica un flavón, la cual consta de dos anillos aromáticos (A y B) unidos por una unidad de tres carbonos. La aglicona determina el tipo de antocianina que se presenta, ya que muestra el nivel de hidroxilación y metilación que se presenta en el anillo aromático. Los tipos más comunes en plantas son: pelargonidina, cianidina, delfinina, peonina, petunidina y malvidina. Las primeras tres se encuentran en frutos, mientras que las demás se encuentran en las flores (Aguilera, Reza, Gerardo, Madinaveitia, & Meza, 2011).

Se presentan en forma glucosiladas, en otras palabras, unidas a una molécula de azúcar con el motivo de darle estabilidad y solubilidad a la molécula. Según la cantidad de azúcares que se estén en su estructura se pueden clasificar en: monoglucósidos (un azúcar), diglucósidos (dos azúcares) y triglucósidos (tres azúcares). En algunos casos, estos se encuentran acilados con grupos derivados del ácido acético o con alguno de los cuatro ácidos cinámicos (p-cumárico, caféico, ferúlico o sináptico). La presencia de estos grupos le confiere a la molécula estabilidad ante condiciones extremas de pH (Garzón, 2008).

Figura 5. Estructura y sustituyentes de las antocianinas



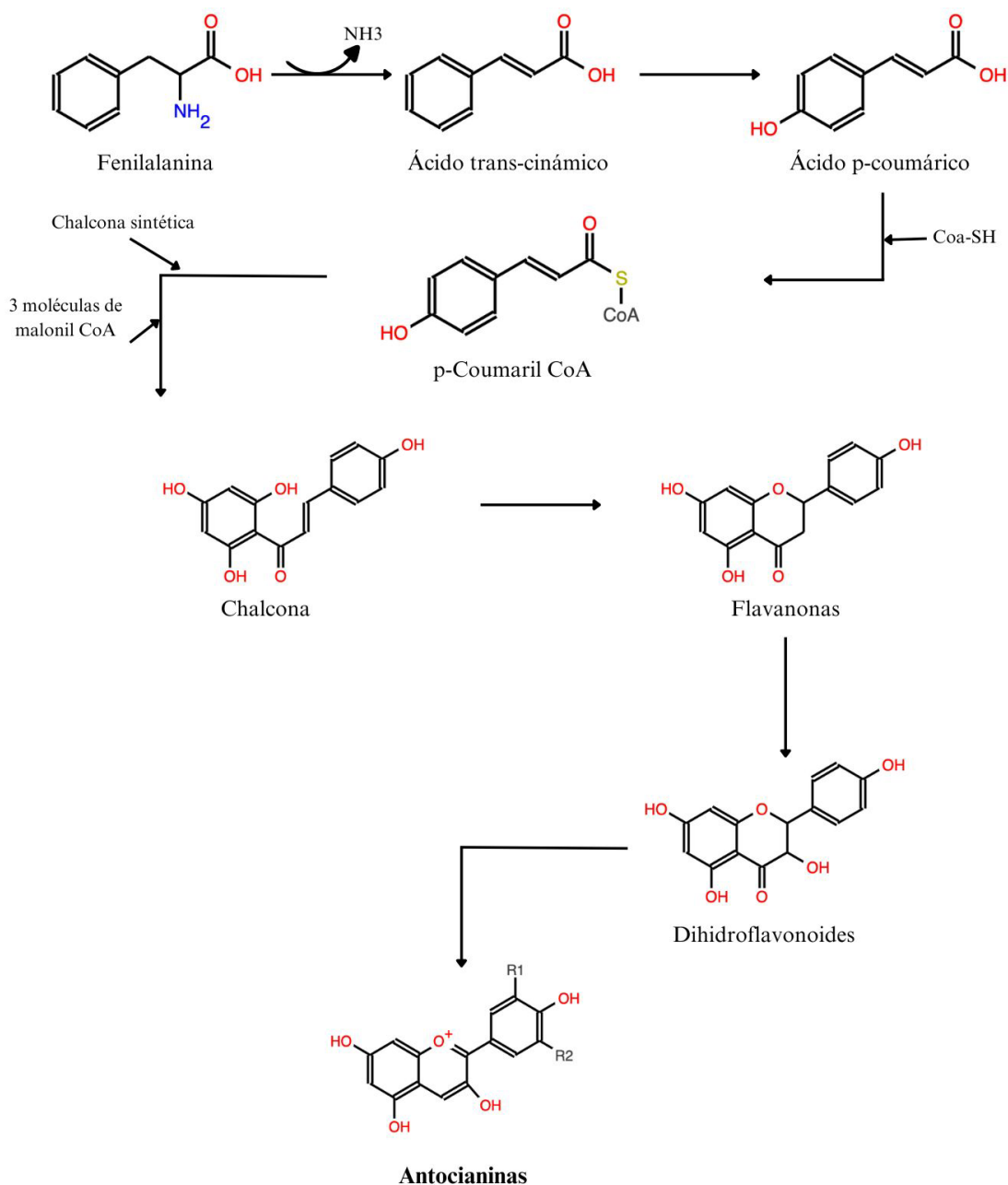
Aglicona	Substitución		λ_{max} (nm) Espectro visible
	R1	R2	
Pelargonina	H	H	494 (naranja)
Cianidina	OH	H	506 (naranja-rojo)
Delfinidina	OH	OH	508 (azul-rojo)
Peonidina	OCH3	H	506 (naranja-rojo)
Petunidina	OCH3	OH	508 (azul-rojo)
Malvidina	OCH3	OCH3	510 (azul-rojo)

Fuente: (Garzón, 2008)

2. Biosíntesis de las antocianinas

El anillo A de las antocianinas se sintetiza por medio de la ruta del ácido malónico junto con la condensación de tres moléculas de malonil-CoA. Por otro lado, el anillo B se sintetiza por la ruta de ácido shikímico. Este ácido da paso a que la fenilalanina se convierta en ácido p-coumárico por la acción de la fenilalanina amonía liasa (PAL) y la pérdida de NH₃. Luego, el p-coumaril-CoA entra en una reacción de condensación con 3 moléculas de malonil-CoA para formar una chalcona de 15 carbonos. Este compuesto intermediario se transforma en una flavanona por una reacción catalizada por una chalcona isomerasa. Finalmente, esta se convierte a una antocianina por la reacción de hidroxilación en el carbono 3, seguidamente por una deshidratación. Esta molécula se logra estabilizar por la glicosilación del heterociclo (Garzón, 2008).

Figura 6. Ruta general de la biosíntesis de las antocianinas



Fuente: (Garzón, 2008)

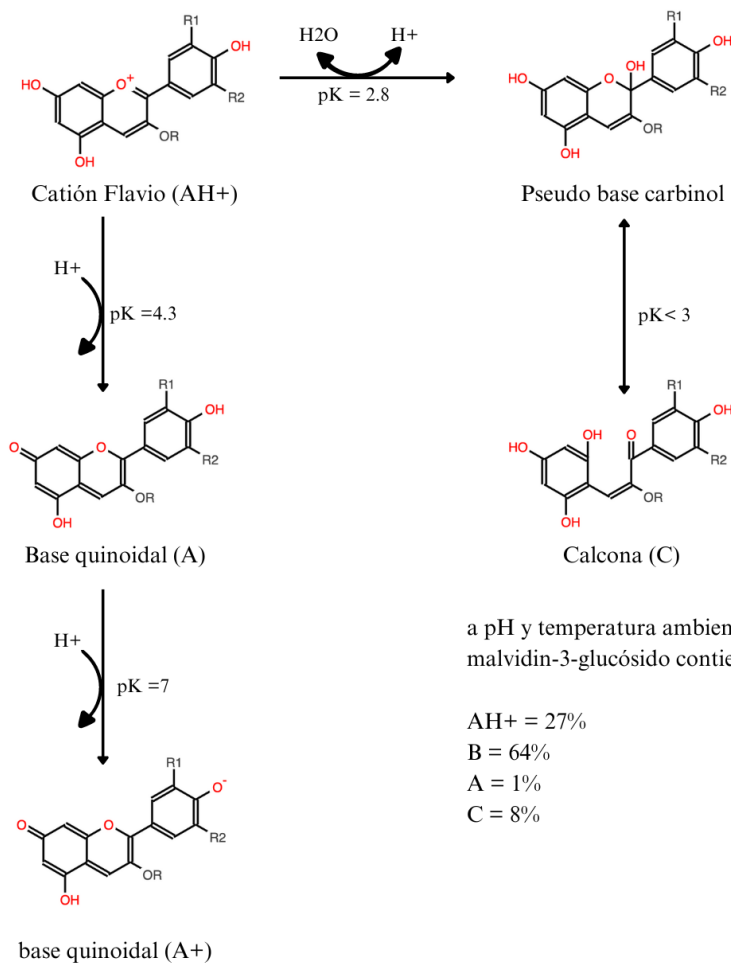
3. Factores químicos que determinan el color y la estabilidad de las antocianinas.

Las antocianinas ofrecen grandes ventajas como posibles sustitutos de los colorantes artificiales. Sin embargo, la incorporación a la industria farmacéutica y alimentaria ha sido

limitada debido a la baja estabilidad que hay durante el procesamiento y almacenamiento. Algunos factores que determinan la estabilidad de este compuesto son pH, temperatura, presencia de oxígeno, concentración y actividad de agua, entre otros.

- Efecto del pH. El cambio de pH puede afectar la estructura y la estabilidad de las antocianinas. La acidez tiene un efecto protector en la molécula, esto es se debe a que se encuentra en su forma más estable como catión flavilio (AH^+) y por eso se puede observar un color rojo intenso en soluciones con pH inferiores a 2. A valores de pH más altos, ocurre una pérdida del protón y adición de una molécula de agua lo que da lugar a chalcona o a un hemiacetal, que son formas bastante inestables e incoloras, por esta razón en soluciones de pH mayores a 7 se observa un color púrpura oscuro (Enaru, Dretcanu, & Daria, 2021)

Figura 7. Estructura de las antocianinas a diferentes valores de pH.



Fuente: (Garzón, 2008)

- Efecto de la temperatura. La temperatura puede afectar directamente en la desestabilización de la estructura molecular de las antocianinas, ya que a mayores valores de temperatura hay un mayor grado de destrucción de las antocianinas. Esto se debe a que sufren diversos mecanismos como glicosilación, ataque nucleofílico del agua, escisión y polimerización. Por otro lado, también determina el pardeamiento de las antocianinas en presencia de oxígeno (Enaru, Dretcanu, & Daria, 2021)

4. Fuentes

Se encuentran en diferentes órganos de las plantas como la gruta, flores, tallos, hojas y raíces. Están disueltos uniformemente en la solución vacuolar de las células epidérmicas. No obstante, en algunas especies, se localizan en regiones discretas de la vacuola celular y se denominan antocianoplastos. La principal fuente de antocianinas son las frutas rojas, como por ejemplo las bayas (Aguilera, Reza, Gerardo, Madinaveitia, & Meza, 2011)

Figura 8. Contenido total de antocianinas en fuentes naturales

Fuente de antocianinas	Contenido de antocianinas (mg/100 g)
Cebolla roja	23,3 - 48,5
Fresas	19 – 55
Arándano rojo	67 – 140
Mora	82,5 - 325,9
Arándano (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	300-1017
Arándano (<i>Vaccinium corymbosum</i> L.)	61,8 – 438
Maíz rojo	1642
Baya de sauco	664-1816

Fuente: (Aguilera, Reza, Gerardo, Madinaveitia, y Meza, 2011)

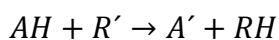
5. Propiedades terapéuticas

El interés de estos compuestos bioactivos se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas. Las antocianinas ejercen diversos efectos terapéuticos, su consumo contribuye a una disminuir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, inhibe el crecimiento de células cancerosas y previene de enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, esto se debe a que puede inhibir la transformación celular bloqueando proteínas quinasas activas por mitógenos, y bloqueando la expresión de proteínas activadoras que son detonantes de la metástasis (Castañeda B. , 2011)

Por otro lado, las antocianinas exhiben actividad microbiana a través de varios mecanismos, como el daño celular ya que destruyen la pared celular, membrana y la matriz intercelular, mayormente inhiben a las bacterias Gramnegativas y no a las Grampositivas ya que la membrana externa de estas bacterias actúa como barrera preventiva contra compuestos hidrófobos, pero no sobre compuestos hidrofílicos como las antocianinas (De la Rosa, Hernández, Morales, Quiroz, & García, 2022).

Un antioxidante (AH) se define como cualquier sustancia que a bajas concentraciones puede prevenir la autooxidación o la oxidación de radicales libres (R'), generando radicales estables (A') por medio de la pérdida de hidrógeno en oxidaciones posteriores. Las antocianinas son potentes antioxidantes ya que, al ser un compuesto fenólico, pueden prevenir o detoxificar tratamientos que generan radicales libres y muerte celular. La estructura de estos compuestos les permite donar hidrógenos a los radicales libres ya que, poseen hidroxilos en las posiciones 3' y 4' en el anillo B, por lo que les permite estabilizar radicales al desplazar a los electrones (Castañeda I. , 2010)

Ecuación 1. Reacción química de un antioxidante expuesto a radicales libres



C. ESTRÉS OXIDATIVO

Los seres humanos necesitan oxígeno para producir energía, pero el exceso de este compuesto en las células es nocivo por la formación de especies reactivas que se generan durante su oxidación. Del oxígeno se derivan moléculas inestables denominadas radicales libres y causan daño a nivel celular cuando se pierde el equilibrio, generando estrés oxidativo. Para contrarrestar este efecto, la célula cuenta con mecanismos capaces de remover estos productos tóxicos. Estos mecanismos son conocidos como sistema antioxidante, y se encarga de mantener el equilibrio de las reacciones de oxidación-reducción (Coronado, Vega, R, Vázquez, & C, 2015).

El equilibrio entre la producción de radicales libres u otras especies reactivas con los mecanismos antioxidantes del cuerpo, permite que la toxicidad por oxidación sea menor y con menos daño celular. Sin embargo, cuando se rompe este equilibrio se asocia con una deficiencia en el sistema antioxidante o por la proliferación descontrolada de los radicales libre (Sánchez & Méndez, 2013).

1. Radicales libres y sus consecuencias en el cuerpo humano

Son moléculas que se posee en su estructura uno o más electrones desapareados. Son altamente reactivos, y pueden ocasionar la formación de otros radicales libres en forma de cadena. Por esta razón, son capaces de reaccionar con múltiples biomoléculas a través de su oxidación y se combinan de manera inestables dañando su estructura celular y los derivados de estas (Sánchez & Méndez, 2013).

- Envejecimiento

Los radicales libres tienen efectos en potencializar el efecto de envejecimiento en los seres vivos ya que este tratamiento resulta de la acumulación de lesiones orgánicas y la exposición crónica de estos. Además, puede ocurrir por tener baja actividad proteolítica y de antioxidantes, inactivación de las enzimas antioxidantes y por la acumulación de proteínas oxidadas e incremento en la tasa de producción de peróxido de hidrógeno y oxígeno, en comparación con células jóvenes (Sánchez & Méndez, 2013).

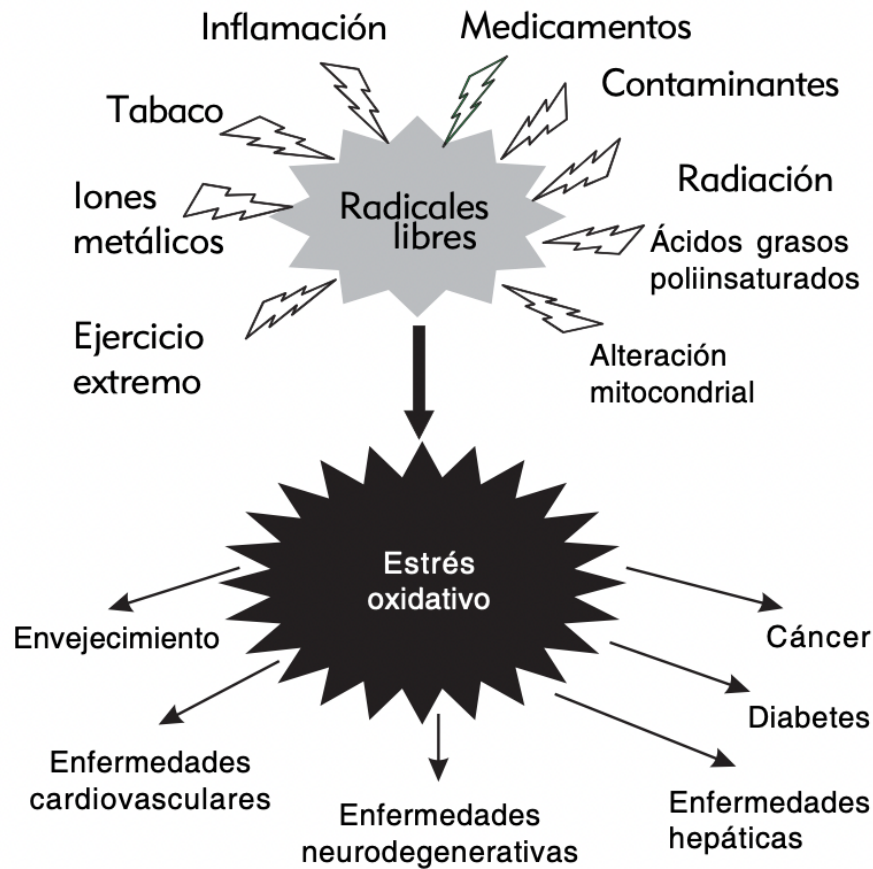
- Enfermedad de Alzheimer

Esta enfermedad se caracteriza por la degeneración progresiva de neuronas y por la disminución de la masa cerebral, ocasionando pérdida de memoria, desorientación temporal y espacial. El estrés oxidativo se relaciona con esta enfermedad porque las personas que la padecen presentan un aumento en los niveles de especies reactivas de oxígeno y marcadores de oxidación en proteínas, lípido, ADN y disminución en la actividad de la glutamina sintetasa, reduciendo el aclaramiento del glutamato e incrementando su potencial tóxico (Sánchez & Méndez, 2013).

- Carcinogénesis

Estudios experimentales han reportado los posibles mecanismos implicados en la transformación y crecimiento incontrolado de células cancerosas por los radicales libres, observando que la deficiencia de enzimas antioxidantes desencadena diversas alteraciones en la transformación celular. El estrés oxidativo y el tratamiento tumoral se encuentran directamente relacionados ya que la oxidación del material genético y la formación de 8-oxo-dG, produce errores en la replicación del ADN. Además, las especies reactivas de oxígeno inician el tratamiento y mantienen el fenotipo tumoral, donde el peróxido de hidrógeno estimula la proliferación, migración y adhesión de estas células (Sánchez & Méndez, 2013).

Figura 9. Generación de los radicales libres y los efectos adversos del estrés oxidativo en el cuerpo humano



Fuente: (Sánchez y Méndez, 2013)

D. LIOFILIZACIÓN

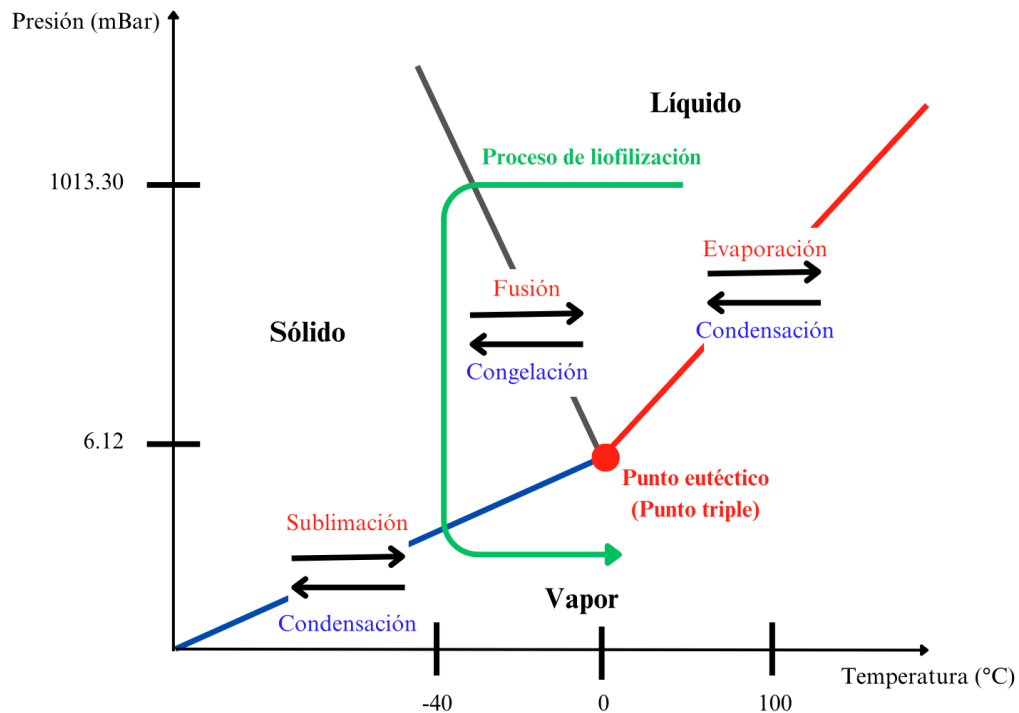
1. Descripción del tratamiento en general

La liofilización es una operación unitaria que consiste en eliminar el agua de un producto mediante la sublimación del agua libre de la fase sólida. De esta manera se puede secar compuestos orgánicos sin alterar su composición cualitativa o cuantitativa. Este tratamiento tiene grandes ventajas ya que no cambia la estructura fisicoquímica del compuesto y permite que se conserve sin la necesidad de una cadena de frío ya que su bajo porcentaje de humedad logra tener una elevada estabilidad microbiológica. Además, al no necesitar refrigeración facilita su distribución y almacenamiento de este (Parzanese, 2016).

Durante la liofilización, el hielo que se forma durante la etapa de secado primario se sublima por medio de la reducción de presión por debajo del punto triple y se aumenta la temperatura a una presión baja constante. Esto ocasiona un cambio de fase desde un sólido directamente a vapor sin pasar por la fase líquida. A medida que el producto se está secando

se obtiene un frente de secado por lo que se da una separación entre las secciones seca y congelada, esto se conoce como frente sublimación. El tratamiento ocurre uniformemente en el interior del producto ya que los canales que se obtiene por la sublimación del hielo proporcionan las vías de escape del vapor del agua (Barbosa, 1997).

Figura 10. Diagrama de fases del agua indicando el tratamiento de liofilización.



Descripción: El producto se congela en condiciones atmosféricas normales; a temperaturas por debajo del punto triple, la presión disminuye hasta alcanzar la presión de vapor donde el hielo se sublima.

Fuente: (Molnar, Lakat, Hosszu, Szebeni, & Balogh, 2021)

Al comenzar el tratamiento de liofilización las velocidades de secado son altas ya que existe una resistencia en la transmisión de calor desde la bandeja al material y el flujo másico que hay desde el material hasta el condensador puede variar, dependiendo del producto que se quiera obtener. Sin embargo, a medida que avanza el tratamiento de secado, se crea una capa seca, porosa y resistente en el contorno del material. La presión es una variable que debe ser controlada ya que la transferencia de masa y calor dependen de esta magnitud. Esto se debe a que al aumentar la presión se logra mejorar la transmisión de calor, pero se crea una mayor resistencia en la transferencia de masa. Otra variable es la temperatura de las bandejas ya que puede afectar la velocidad de transferencia de calor hacia la superficie del material que está siendo secado. La temperatura en el condensador también puede afectar el

tratamiento ya que afecta a la fuerza impulsora de la transferencia de masa del vapor de agua (Barbosa, 1997).

2. Ciclo de liofilización

- Congelación

La congelación o recongelación, es cuando la muestra se congela a una temperatura por debajo de su punto triple del diagrama de fases, en donde la fase sólida y líquida y el material pueden coexistir por lo tanto es un punto de congelación seguro. Esto suele estar en un rango de -20 a -60°C, sin embargo, puede variar dependiendo del compuesto. Durante la pre congelación, el sistema de liofilización funciona como un congelador ya que no se le aplica vacío. Esta etapa se puede hacer por separado y no necesariamente usando el equipo.

Este paso es importante ya que determina la morfología del hielo y la distribución del tamaño de los poros, ya que estos permiten la salida del vapor durante la sublimación. La congelación del producto puede resultar en una solidificación repentina del líquido a una temperatura específica o en un líquido que no se solidifica, sino que se vuelve cada vez más viscoso (Ellab Validation Solutions, 2018).

- Secado primario

Es la fase en donde el hielo se sublima, en donde se convierte directamente en vapor a una presión bastante baja usualmente en 0.01 mBar o menos, según la temperatura de pre congelación de la muestra. La fuerza impulsora de la sublimación es la diferencia de presión relacionada con la diferencia de temperatura correspondiente entre la superficie del hielo producido y la superficie del hielo del condensador. Mayores diferencias de temperatura significan mayores diferencias de presión, lo que permite un tratamiento más rápido.

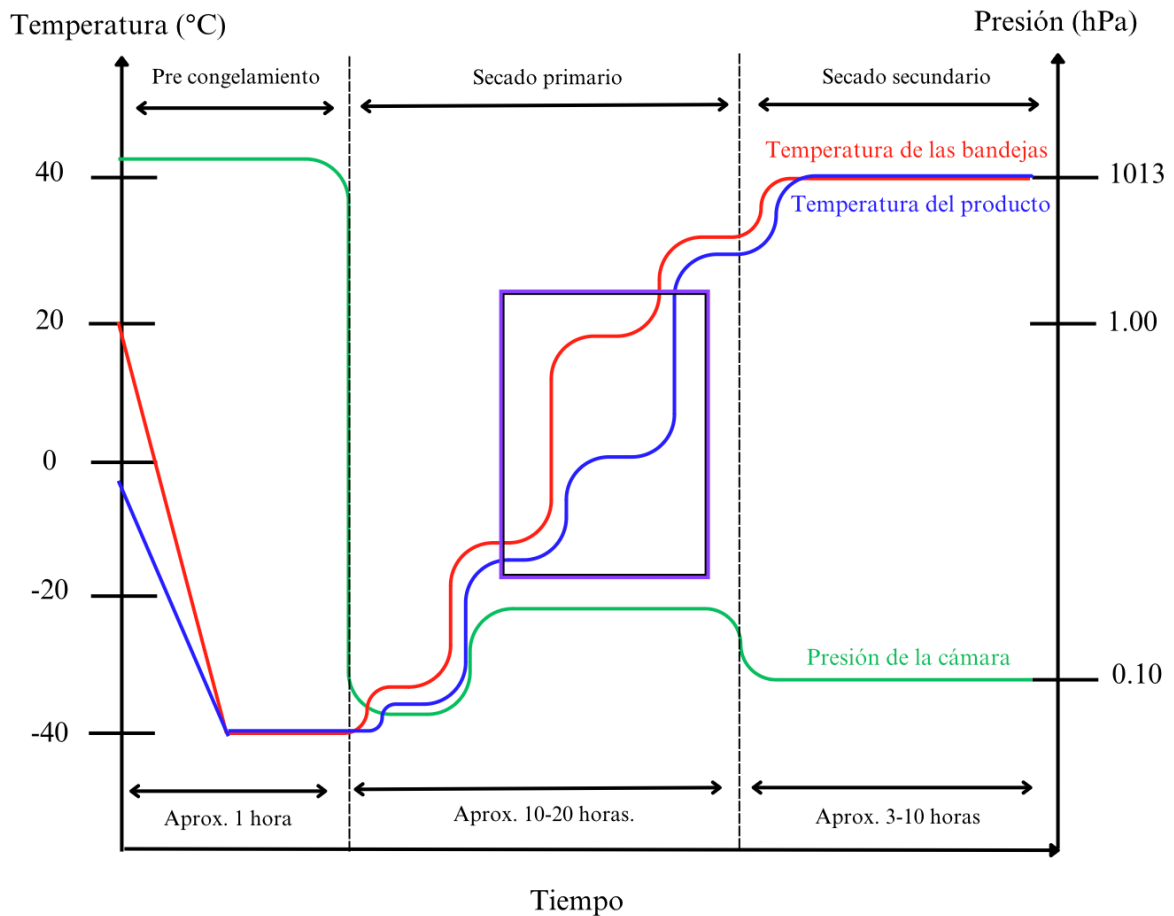
El vacío acelera el tratamiento debido a que elimina las moléculas de aire para que las moléculas de vapor de la muestra se desplacen fácilmente desde la muestra, a través de la cámara y hacia el condensador. Usualmente, la temperatura aumenta de -40 °C a 20°C durante esta etapa y puede tardar desde pocas horas hasta varios días. Durante la fase de Secado Primario, es fundamental calentar el producto tanto como sea posible (sin pasar el punto eutéctico) para aumentar la diferencia de presión entre el producto y el condensador (Ellab Validation Solutions, 2018).

- Secado secundario

El secado secundario comienza cuando el producto haya alcanzado su punto eutéctico. Durante este tratamiento, la bomba de vacío establece condiciones en donde la presión sea tan baja que puede eliminar diverso disolvente, ocasionando un producto más seco. Normalmente, la temperatura que ocurre en este tratamiento no sobrepasa el límite de 42°C ya que, si se trabaja con muestras biológicas, las cuales contienen proteínas, se desnaturalizarían por el calor que hay en el ambiente del equipo. En este punto, el vacío es extremadamente alto, por lo que hay muy pocas moléculas de vapor presentes o ninguna en el producto. Esta parte en el ciclo de liofilización normalmente representa menos de la mitad

del ciclo total, pero es esencial para el contenido de humedad final presente en la muestra (Ellab Validation Solutions, 2018).

Figura 11. Ciclo de liofilización típico.



Descripción: Se puede observar la temperatura de las bandejas y del producto en función del tiempo, junto con el cambio de presión que se presenta en la cámara de producto.

Fuente: (Molnar, Lakat, Hosszu, Szebeni, & Balogh, 2021)

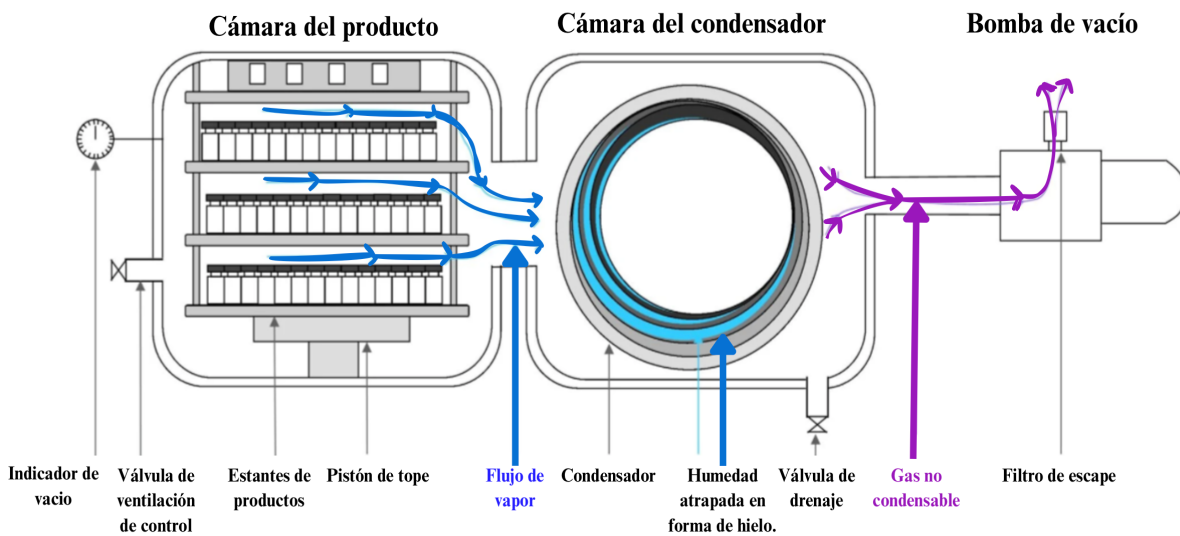
3. Componentes principales de un equipo de liofilización.

Los principales componentes de los equipos de liofilización son:

- Sistema de refrigeración: Tiene la función de enfriar el condensador ubicado dentro del liofilizador (cámara del condensador). Además, se puede utilizar para enfriar los estantes en la cámara donde se encuentra el producto para congelar su estructura (Barley, 2009).

- Sistema de vacío: Este sistema consiste en una bomba de vacío separada la cual está conectada al condensador y a la cámara del producto. Tiene la función de disminuir la presión para obtener un vacío y comenzar el tratamiento de liofilización (Barley, 2009).
- Sistema de control: Dependen de la complejidad del equipo, pero generalmente incluyen la capacidad de detectar temperatura y presión. Entre más avanzado sea el equipo se podría realizar diferentes programaciones para optimizar el tratamiento de liofilización, dependiendo del material a trabajar (Barley, 2009).
- Cámaras de producto: Depende del tipo de liofilizador ya que pueden ser un colector de con matraces adjuntos (Manifold) o una cámara más grande con estantes en donde se coloquen en bandejas el material (Barley, 2009).
- Condensador: La función del condensador es atraer los vapores que se subliman fuera del producto. Esto ocurre ya que el condensador se mantiene a un nivel de energía menor en relación con el hielo producido, por lo que los vapores se condensan y regresan a su forma sólida (hielo) en el condensador. El hielo sublimado se acumula en el condensador y se retira manualmente al finalizar el ciclo de liofilización (etapa de descongelación). La temperatura que requiere el condensador para funcionar depende del punto de congelación del producto. El sistema de refrigeración debe poder mantener la temperatura del condensador por debajo de la temperatura del producto (Barley, 2009).

Figura 12. Componentes principales de un equipo de liofilización



Fuente: (Barley, 2009)

4. Clasificación de los equipos de liofilización

Los liofilizadores se pueden clasificar según el tipo de cámara de producto:

- Secadores múltiples (Manifold): El producto generalmente está precongelado y en matraces de vidrio. Estos dependen de las condiciones ambientales para provocar la sublimación (Barley, 2009).
- Secadores de estante: El producto se coloca en una bandeja o directamente en un estante. El condensador tiende a ubicarse dentro de la cámara de producto (condensador interno) o en una cámara separada (condensador externo) (Barley, 2009).
- Secadores de unidades combinadas: Están diseñados para que se puedan realizar las dos opciones de secado, en bandejas y matraces (Barley, 2009).

Figura 13. Clasificación de los liofilizadores según el tipo de cámara de producto.



Liofilizador de colector típico



Liofilizador de estante



Liofilizador combinado de laboratorio

Fuente: (Barley, 2009)

Los liofilizadores también se pueden agrupar por tamaño y uso, existen unidades para mesas de laboratorio, unidades piloto para desarrollo y ampliación de tratamientos, y unidades para producción a mayor escala (Barley, 2009).

Figura 14. Clasificación de los liofilizadores según el tipo tamaño y uso.



Liofilizador de mesa



Liofilizador piloto



Liofilizador industrial

Fuente: (Barley, 2009)

E. SECADO

1. Descripción del tratamiento en general

El secado es una operación unitaria física de transferencia tanto de calor como de masa porque consiste en hacer una separación de agua u otro líquido que se encuentre en un material sólido con el objetivo de minimizar el contenido de líquido residual hasta un valor relativamente bajo, la mayoría de los casos es menor al 10% ($\text{kg H}_2\text{O}/\text{kg SS}$), para obtener un producto sólido y seco. Para separar la humedad utiliza una corriente de gas que generalmente es aire (Universidad abierta y a distancia de México, 2023).

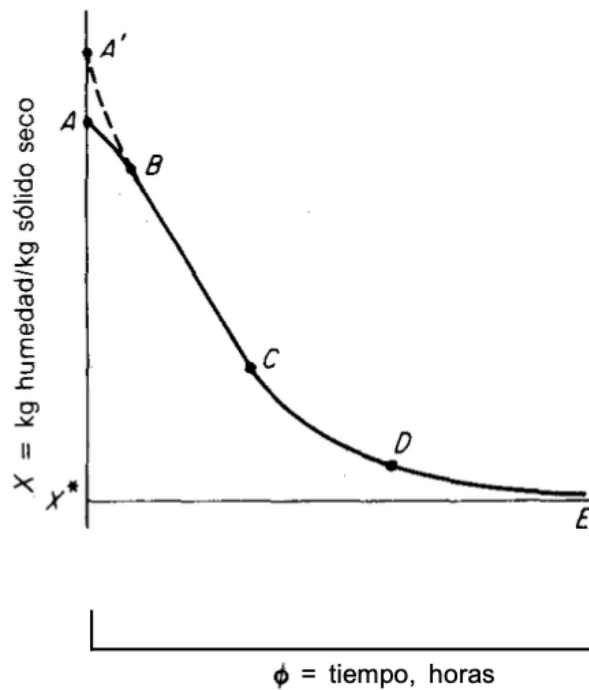
Usualmente el gas que se utiliza en el tratamiento de secado es el aire, ya que en la bibliografía el sistema agua-aire es el más conocido. La transferencia de energía se presenta cuando el gas a una temperatura alta transfiere calor al sólido, el cual tiene una temperatura menor. Esto ocasiona que la presión de vapor del sólido amplifique y sea mayor que la presión de vapor del material sólido provocando que el gas remueva agua del sólido para alcanzar el equilibrio; en este momento es cuando ocurre la transferencia de masa. Estos sistemas se pueden observar en una carta psicométrica, con el objetivo de evaluar las diferentes características del tratamiento, como, por ejemplo, la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, y la humedad absoluta y relativa del aire (Treybal, 1980).

La manera más sencilla de observar el comportamiento de este tratamiento es realizando una curva de secado, graficando la cantidad humedad que se tiene de base seca en función del tiempo, cómo en la Figura 15. La línea de A-B señala el comienzo del tratamiento de secado, en esta etapa el tratamiento aún no es estable por lo que se llama período de iniciación. Esto se debe a que el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de bulbo húmedo del aire en el equipo de secado. La línea desde B hasta C es

identificada como la fase de secado constante, ya que el material reduce su humedad de manera uniforme.

En el punto C es donde alcanza su punto crítico ya que la pérdida de humedad ya no es constante y la velocidad de secado comienza a decrecer. En los puntos D y E, la curva muestra un comportamiento asintótico con relación al eje X, que representa el tiempo de secado. En esta etapa la reducción de humedad es prácticamente insignificante porque material ha liberado la mayor parte de la humedad que originalmente contenía. Este valor se le denomina humedad de equilibrio, esta demuestra que el sólido no tendrá una remoción total de humedad, por lo que el tratamiento será aceptable dependiendo de las características del producto y las normas que se busquen cumplir (Universidad abierta y a distancia de México, 2023).

Figura 15. Curva típica de secado.



Descripción: En la curva típica de secado se grafica la humedad del material a secar en kg humedad/kg sólido seco en función del tiempo para observar el comportamiento del material a condiciones constantes de temperatura y presión.

Fuente: (Treybal, 1980).

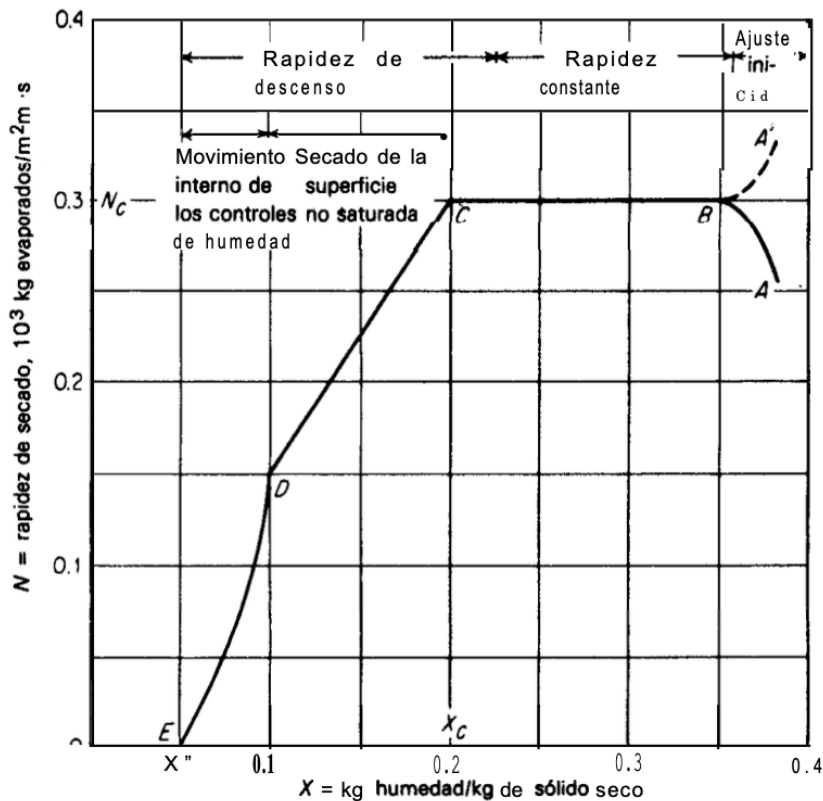
Para determinar el tiempo de secado y determinar el tamaño del equipo, es necesario saber el tiempo que requerirá para secar una sustancia a partir del contenido de humedad en condiciones específicas. Para ello, se puede realizar pruebas de secado, en donde se pueda determinar la rapidez de secado cuando una muestra se encuentre en contacto con una corriente de aire caliente. El peso de la muestra secada se puede medir con respecto al tiempo, para determinar la curva de rapidez de secado.

La rapidez de secado se expresa como $N = \text{masa/tiempo (área)}$ y se representa en forma de gráfica contra el contenido de humedad, como se observa en la Figura 16. Esto puede realizarse mediante las pendientes de las tangentes trazadas de la curva de la humedad contra el tiempo, como se observa en la Figura 15, o se puede determinar a partir de los cambios que ocurre en el contenido de humedad (dX) para los cambios del tiempo ($d\theta$), obteniendo la ecuación 2, en donde S_s es la masa del sólido seco; A es la superficie húmeda sobre la cual sopla el gas (Treybal, 1980).

Ecuación 2. Rapidez de secado a condiciones constantes.

$$N = \frac{-S_s dX}{A d\theta}$$

Figura 16. Curva típica de rapidez de secado a condiciones constantes.



Fuente: (Treybal, 1980).

Descripción: La curva de velocidad de secado tiene tres etapas importantes, la primera es la iniciación del secado, luego es velocidad constante y cuando el material ya no posee humedad, el sistema tiene una velocidad de secado decreciente.

Se pueden observar dos etapas importantes en la Figura 16, la primera es la velocidad constante de secado (B-C), en esta ocurre la difusión del vapor del agua por medio de la

interfase aire/humedad y la velocidad a la cual la superficie de difusión es eliminada, en otras palabras, la humedad no ligada al material es evaporada y la temperatura del aire se mantiene en el equipo se mantiene semejante a la del material.

Por otro lado, se observa un período de velocidad decreciente de secado (E-D-C), está la humedad ligada es evaporada, por lo que se forma una resistencia mayor a la evaporación, obteniendo un comportamiento asintótico como se menciona anteriormente. Se recomienda aumentar la temperatura del equipo para romper el equilibrio térmico que existe y evaporar la humedad ligada. En este momento la temperatura del sólido es mayor a la temperatura del bulbo húmedo del aire, por lo que la transferencia de masa se realiza por difusión (Treybal, 1980).

El secado se puede clasificar de diferentes maneras según su método de operación, obtención de calor y la naturaleza del material a secar

- Método de operación: Este se puede separar por secado por lotes o continuo. El equipo por lotes o semilotes, se opera de manera intermitente o en condiciones de estado no estacionario, es decir, el secador se carga con el material en el equipo hasta que este se seca es cuando se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. A diferencia de un secado continuo, en donde se alimentan constantemente del material a secar y operar en estado estacionario.
- Método de obtención del calor para la evaporización: Los secadores de tipo directo cuentan con una fuente de calor que se encuentra en contacto directo con los materiales sólidos a secar. A diferencia de los secadores indirectos, los cuales suministran calor al equipo de secado sin entrar en contacto directo con el material. En estos casos, la transferencia de calor se efectúa mediante canales de conducción térmica.
- Naturaleza del material a secar: El material puede ser un sólido rígido o flexible, granular o un lodo ligero, incluso una solución. La forma física de la sustancia influye en los métodos de secado que se le deben de aplicar.

El mecanismo de funcionamiento de secado depende de la forma en la que la humedad esta enlazada al material, entre más sólido se encuentre más difícil transcurre el tratamiento. Los fenómenos que se observan en esta técnica son la evaporación y vaporización. La evaporización ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del material es equivalente a la presión atmosférica. Esto surge como consecuencia del aumento de la temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición. Por otro lado, cuando ocurre la vaporización es porque el secado es llevado a cabo por convección, por lo que pasa aire caliente sobre el producto. Luego, el aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el gas (Treybal, 1980).

2. Condiciones que afectan el tratamiento

- Condiciones externas

En el tratamiento de secado la eliminación de agua en forma de vapor suele ser afectado, de manera externa, por la temperatura, humedad y flujo del aire, área de la superficie expuesta y presión. Estas condiciones son importantes al momento de iniciar el tratamiento, porque es cuando la humedad de la superficie está siendo removida y algunos materiales se puede presentar encogimiento, excesiva evaporación en la superficie, lo que puede ocasionar agrietamiento y deformación del material (Cabrera, 2004).

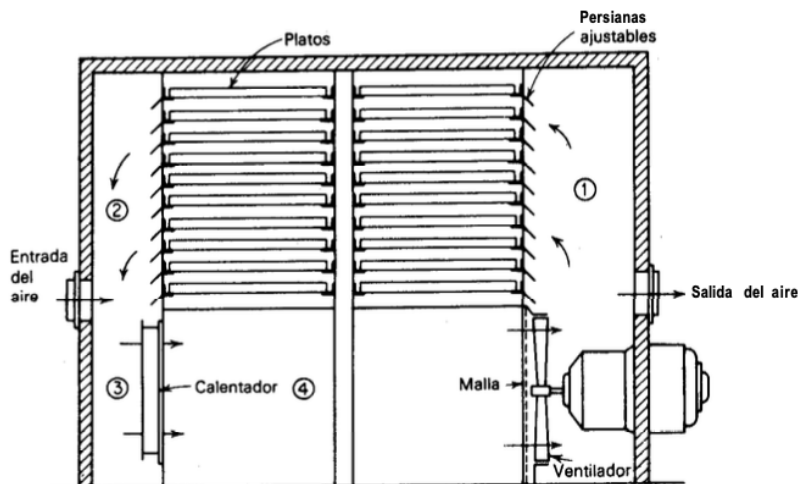
- Condiciones internas

De manera interna, el secado se ve afectado por el movimiento de humedad dentro del sólido, el cual depende de la naturaleza física del material, la temperatura y el contenido de humedad: estos factores determinan la velocidad de secado. Otra variable que afecta la velocidad de secado es la geometría del material, ya que esta establece el área de contacto con el medio que está realizando el secado, entre mayor sea el área, la velocidad de secado será más lenta (Cabrera, 2004).

3. Secador de bandejas o armario

Consiste en un gabinete que incluye bandejas móviles donde se coloca el material a secar. Una vez cargadas, las bandejas se colocan en el gabinete, el cual se sella y se introduce aire calentado con vapor entre y a través de las bandejas para eliminar la humedad. Si se necesita, en lugar de aire, se puede emplear un gas inerte o calor sobrecalentado, lo cual tiene la ventaja de una alta capacidad de retención de calor, especialmente si el líquido a evaporar es inflamable o si el oxígeno puede afectar el material. Cuando el material alcanza el nivel de sequedad deseado, se abre el gabinete y las bandejas se reemplazan con un nuevo conjunto.

Figura 17. Esquema de un secador de bandejas o armario



Fuente: (Treybal, 1980).

F. HUMEDAD

La humedad es una magnitud que expresa la cantidad de agua en un material sólido y se puede representar en términos de una base de masa seca o de una base de masa húmeda. A pesar de que ambas expresiones representan el contenido de humedad de una muestra, sus valores numéricos son diferentes, por lo que se debe indicar la base de masa para evitar un error de interpretación (Martines & Lira, 2010).

La mayoría de los materiales sólidos están conformados de materia seca y agua por lo que la masa total del material es la suma de la masa seca y de su masa de agua.

Ecuación 3. Masa total

$$m_T = m_s + m_{agua}$$

El agua que está presente en la muestra depende del tamaño e esta, por lo que al enfocarnos en el concepto de humedad, se puede convertir la propiedad extensiva en un intensiva por medio de la manera en la que se exprese, ya sea como humedad en base seca o en un base húmeda. El contenido de humedad en base seca es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa seca, ya que este compara la masa de agua que contiene un material sólido con su masa de agua (Martines & Lira, 2010).

Ecuación 4. Contenido de humedad en base seca

$$\%H_{bs} = \frac{m_{agua}}{m_s} * 100$$

Por ejemplo, si esta equivale a 200%, significa que la masa del agua presente en el material es 2 veces su masa seca, teniendo en cuenta que el contenido de humedad en materia seca se aproxima a 0%. Sin embargo, si un materia tiene un alto contenido de humedad, esta definición no sepuede aplicar ya que se encuentra saturado de agua.

Por otro lado, el contenido de humedad en base húmeda es el cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total. En esta representa la masa de agua que contiene la muestra con respecto a la masa total del sólido (Martines & Lira, 2010).

Ecuación 5. Contenido de humedad en basa humeda

$$\%H_{bh} = \frac{m_{agua}}{m_T} * 100 = \frac{m_T - m_s}{m_T} * 100$$

V. ANTECEDENTES

Se realizó un estudio en la Universidad de Ciencias Agronómicas y Medicina Veterinaria de Bucarest, por parte de los investigadores Badulescu, Dobrin, Stan, Mot y Bujor (Badulescu, Dobrin, Stan, & Mot, 2021) el cual tenía como objetivo comparar los efectos de algunos tratamientos de secado (secado por aire caliente y liofilización) en el contenido total de antocianinas (TAC) en frambuesas orgánicas. Para la cuantificación de estos biocompuestos utilizaron el método de pH diferencial por espectrofotometría y la técnica de HPLC. Las condiciones en las que se sometieron las frutas y el jugo de frambuesa en el secador fueron a 70°C y en el liofilizador a -55 °C durante 45 horas.

El análisis cualitativo mostró perfiles de antocianinas similares en todos los polvos de frambuesa y con un patrón claro de antocianinas con la presencia de dos compuestos principales. Tanto en la fruta como en el jugo de frambuesa orgánica, la liofilización produjo una mejor extracción del contenido total de antocianinas esto podría atribuirse a la degradación térmica y/o oxidación de estos compuestos durante el secado por aire caliente. Además, los contenidos más altos de antocianinas totales se encontraron en frambuesas orgánicas molidas para obtener jugo en comparación con las frutas secas frescas.

Los resultados presentados en este trabajo indican que el método de secado más adecuado en términos de contenido de antocianinas fue la liofilización. Sin embargo, el análisis cualitativo detallado de los polvos de frambuesa debería ayudar a comprender los efectos de diferentes tratamientos de secado.

El método de cuantificación de antocianinas por pH diferencial, el cual describe el estudio de Martínez, Arévalo, Verde y Morales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, menciona que este es un método espectrofotométrico que se basa en la transformación estructural de las antocianinas con el cambio de pH, ya que a pH de 1 se vuelven de color fucsia y a pH de 4.5 incoloras (Martinez, Arévalo, Verde, & Morales, 2011) . Para ello prepararon diluciones con un buffer pH 1.0 de cloruro de potasio y con una solución buffer pH 4.5 de acetato de sodio y se midió la absorbancia de cada muestra a una longitud de onda de 515 nm y a 700 nm. A partir de la ecuación de Lambert-Beer se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 6. Ecuación de Lambert-Beer

$$C = \frac{A}{\epsilon * l}$$

Donde:

C: Concentración molar.

A: Absorbancia

ϵ : Coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido (26900).

l: Longitud de paso de celda (1 cm)

A partir de ella, se puede determinar la concentración en mg/L usando el peso molecular del pigmento junto con el factor de dilución. En este caso el pigmento de antocianinas en mayor proporción es la cianidina. La cual tiene un peso molecular de 449.2 g/mol y un coeficiente de extinción molar de 26900. Por lo que la concentración de antocianinas se obtuvo con la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Corrección de la absorbancia por medio de diferentes pH.

$$\Delta A = (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{pH=1} - (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{pH=4.5}$$

$$AT \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\Delta A * M * FD * 1000}{\epsilon * I}$$

Donde:

AT: Antocianinas totales.

ΔA : Diferencia en las absorbancias.

M: Masa molecular para cianidina-3-glucósido (449.2 g/mol).

FD: Factor de dilución (5:1)

ϵ : Coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido (26900).

I: Longitud de paso de celda (1 cm)

VI. METODOLOGÍA

A. MATERIA PRIMA.

Se utilizaron las moras (*Rubus glaucus* Benth) de la marca guatemalteca “Planesa Fresh” que presentaban deformaciones en las bayas; con el objetivo de simular bayas recogidas de cultivos agrícolas. El número de lote era FCEM y tenía como fecha de producción 21 de junio de 2023 (ver especificaciones en anexos)

B. EQUIPO

Se utilizó el siguiente equipo proporcionado por la Universidad del Valle de Guatemala:

- Balanza analítica marca OHAUS, modelo PA114
- Balanza marca OHAUS, modelo V31XH2
- Balanza de humedad marca OHAUS, modelo MB 120
- Potenciómetro digital marca Dr. Meter, modelo
- Refractómetro portátil marca Milwaukee, modelo MA871
- Vernier digital marca TRUPER
- Amperímetro modelo Fluke 33
- Espectrofotómetro UV-VIS marca Shimadzu, modelo UV-mini 1240
- Centrifuga marca eppendorf, modelo 5804 R
- Centrifuga marca Fischer Scientific, modelo 228
- Higrómetro marca
- Anemómetro
- Liofilizador de bandejas marca Harvest Right
- Secador de bandejas

C. REACTIVOS

- Hidróxido de sodio
- Ácido clorhídrico fumante 37% marca MERCK

- Buffer verde pH 6.86 a 25°C, marca Dr. meter
- Buffer rojo pH 4 a 25°C, marca Dr. meter
- Buffer azul pH 9.18 a 25°C, marca Dr. Meter
- Metanol

D. CARACTERIZACIÓN DE LA MORA (*RUBUS GLAUCUS BENTH*)

1. Determinación de la humedad utilizando una balanza de humedad

- a. Se configuró el método de “mora” en la balanza de humedad OHAUS, en donde se secaron las muestras a 120°C. Se dejó registrado el método para utilizarlo nuevamente.
- b. Se colocó el plato de muestras y se taro para después colocar 8.000 g ± 0.010 g de moras prensadas, para tener el contenido líquido expuesto. Lo cual corresponde al peso promedio de 1 mora en el lote FCEM.
- c. Se cerró la tapa y se dejó correr el equipo hasta que indicará que las muestras estaban secas y que la lectura se había terminado.
- d. Al terminar el tratamiento se anotó el valor de la humedad obtenido y se descartó la mora seca en el basurero correspondiente.
- e. Se repitió este procedimiento en triplicado.

2. Determinación de densidad aparente y real del fruto de mora y la densidad del jugo de mora.

- a. Para obtener la densidad aparente del fruto de mora, se colocaron 5 moras en una probeta de 100 ± 0.25 mL, previamente tarada, y se pesaron las moras.
- b. Se anotó el volumen que 5 moras ocupaban. Con la siguiente ecuación se determinó la densidad aparente

Ecuación 8. Densidad aparente de la mora

$$\rho_{aparente} = \frac{m}{V_{mora}}$$

Donde:

ρ : Densidad aparente de la muestra (g/mL)

m: peso de la muestra (g)

V_{mora} : Volumen que ocupaban las moras en una probeta

- c. Para determinar la densidad real de la mora, se pesaron aproximadamente 15.0000 g \pm 0.00005 g de mora entera en la balanza analítica OHAUS.
- d. Se llenó una probeta de 100 \pm 0.25 mL, con 50 mL de agua destilada para determinar el volumen de las moras enteras.
- e. Se colocaron las moras en la probeta con agua y se verificó que estuvieran completamente sumergidas.
- f. Se verificó el volumen del agua nuevamente para determinar el volumen de las moras.
- g. Para obtener la densidad real del fruto de la mora se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 9. Densidad real de las moras enteras

$$\rho_{real} = \frac{m}{(V_M - V_L)}$$

Donde:

ρ : Densidad relativa de la muestra (g/mL)

m: peso de la muestra (g)

VM: Volumen del agua con la muestra

VL: Volumen inicial del agua.

- h. Para determinar la densidad del jugo de mora, se pesaron 10.0000 \pm 0.00005 g de mora entera en la balanza analítica OHAUS.
- i. Se colocaron las moras en un mortero de porcelana y se molieron hasta obtener el jugo que esta adentro del fruto.
- j. En una probeta de 15 \pm 0.25 mL, previamente tarada, se pesó 5 mL del jugo de mora y se anotó sus resultados.
- k. Se repitió este procedimiento en triplicado.

3. Determinación del pH

- a. Se calibró el potenciómetro marca Dr. meter, utilizando los buffers correspondientes del equipo.
 - 1. Buffer rojo pH 4 a 25°C, marca Dr. meter
 - 2. Buffer verde pH 6.86 a 25°C, marca Dr. meter
 - 3. Buffer azul pH 9.18 a 25°C, marca Dr. meter

- b. Se pesaron $10.0000 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de mora entera en la balanza analítica OHAUS.
- c. Se colocaron las moras en un mortero de porcelana y se molieron hasta obtener el jugo que esta adentro del fruto.
- d. Se centrifugó el jugo de mora obtenido para remover las semillas y los residuos de las drupeolas a 5000 rpm por 15 min a temperatura ambiente, utilizando la centrifuga 228.
- e. Se colocó el sobrenadante en un beaker de 50 mL y midió el pH con el potenciómetro, previamente calibrado.
- f. Se anotó el resultado y se limpió el equipo con un paño desechable KimWipes
- g. Se repitió este procedimiento en triplicado.

4. Determinación de sólidos totales como grados °Brix

- 1. Se verificó el estado del refractómetro portátil marca Milwaukee y se realizó una calibración, según indicaba el manual.
 - 1. Se limpió el área de muestreo, en donde se encuentra el prisma, con un paño desechable KimWipes.
 - 2. Se prendió el refractómetro y se colocó una gota de agua destilada en la cámara de muestreo.
 - 3. Se presionó el botón “Zero”.
 - 4. Se limpió el área de muestreo con un paño desechable KimWipes.
- m. Se pesaron $10.0000 \pm 0.00005 \text{ g}$ de mora entera en la balanza analítica OHAUS.
- n. Se colocaron las moras en un mortero de porcelana y se molieron hasta obtener el jugo que esta adentro del fruto.
- o. Se centrifugó el jugo de mora obtenido para remover las semillas y los residuos de las drupeolas a 5000 rpm por 15 min a temperatura ambiente, utilizando la centrifuga 228.
- p. Se colocó el sobrenadante en un beaker de 50 mL.
- q. Con una pipeta Pasteur se colocó una gota del jugo en el refractómetro portátil y se presionó el botón “Read”.

- r. Se anotó el resultado y se limpió el equipo con un paño desechable KimWipes
 - s. Se repitió este procedimiento en triplicado.
5. Determinación del ácido málico en las moras mediante titulación potenciométrica.
- a. Se pesaron $2.500 \text{ g} \pm 0.00005 \text{ g}$ de mora entera en la balanza analítica OHAUS.
 - b. Se colocaron las moras en un mortero de porcelana y se molieron hasta obtener el jugo que esta adentro del fruto.
 - c. Se colocó la fruta molida en un beaker de 100 mL.
 - d. Se realizó una titulación potenciométrica con una solución de NaOH 0.1N.
 - 1. Se añadió 3 gotas de fenolftaleína a la muestra y se agitó para homogenizar la solución
 - 2. Se agregó 0.5 mL de la solución de NaOH 0.1N y con el potenciómetro se anotaba el resultado del pH.
 - 3. El tratamiento se repitió hasta llegar a 10 mL de la solución de NaOH 0.1N.
 - 4. Para cuantificar el ácido málico presente se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación 10. Porcentaje de ácidos orgánicos presentes en la muestra

$$\text{Ácido málico (\%)} = \left(\frac{A * B * C}{D} \right) * 100\%$$

A: Volumen de NaOH utilizado para llegar a un pH de 8.2 (mL).

B: Normalidad del NaOH (0.1N).

C: Peso equivalente del ácido orgánico.

D: Peso de la muestra utilizada (g).

6. Determinación del índice de madurez de la fruta en relación con los sólidos totales y a la cantidad de ácido málico presente.
- a. Se cálculo como la relación entre los sólidos solubles totales (SST) y el porcentaje de ácido málico presente en la muestra, ya que es el ácido predominante en el fruto. Se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Índice de madurez

$$IM = \frac{SST}{AM}$$

Donde:

SST: Cantidad de sólidos solubles totales (%)

AM: Cantidad de ácido málico (%)

7. Diámetro ecuatorial y longitud

- a. Con un vernier digital se midió el diámetro ecuatorial de las moras que equivalen al tamaño de muestra significativo del lote, donde se obtuvo con la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Muestra significativa de una población

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado.

N = Tamaño de la población o universo.

Z = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (1.96)

e = Error de estimación máximo aceptado (10%)

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (50%)

q = (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

- b. Con las mismas moras enteras se midió su longitud.

E. TRATAMIENTO DE LIOFILIZACIÓN EN MORAS (*RUBUS GLAUCUS* BENTH).

1. Se lavaron las moras con agua y jabón, de la muestra significativa del lote de moras, que se determinó anteriormente. Se pesó cada mora para establecer el cambio de masa durante el tratamiento.
2. Se colocó el material para liofilizar en las bandejas que se encuentran dentro del equipo con papel encerado para evitar que se adhirieran a la bandeja, y se utilizó una bandeja adicional para prensar las moras y obtener el líquido que se encuentra dentro de ellas y facilitar la transferencia de masa y calor.
3. Las moras prensadas debían tener un grosor de 0.5 mm en donde se viera refleja el agua y se debían formar cirulos con un diámetro máximo de 5 cm. Esto se midió utilizando un vernier digital marca TRUPER.
4. Con una pequeña cantidad de moras se les midió la humedad utilizando una balanza de humedad OHAUS, para establecer la humedad inicial de la muestra.
5. Se revisó que el sello de goma, el cual se encuentra en la compuerta del liofilizador, estuviera limpió y colocado correctamente; al igual que la compuerta de vidrio.
6. Se conectó la bomba de vacío al equipo liofilizador por medio de una manguera y apretar suavemente en ambas salidas.
7. Se conectó el cable de alimentación del liofilizador a un tomacorriente de 110 voltios.
8. El interruptor de la bomba de vacío tenía que estar en la posición "ENCENDIDO" ("O" está apagado, "I" está encendido) porque es necesario que permanezca encendido antes de prender el equipo.
9. La puerta de acrílico se cerró y crear un buen sellado se verificó que se realizaran ambas etapas del cerrojo. La etapa 1 cierra la puerta y la etapa 2 comprime la puerta contra el sello de goma.
10. Se verificó que la válvula de drenaje del liofilizador, ubicada en la parte inferior, estuviera de perpendicular a la dirección del tubo de drenaje para asegurar que está cerrada, ya que, de lo contrario, podría haber una fuga de vacío.
11. Se encendió el liofilizador presionando el interruptor la posición "ENCENDIDO" ("O" está apagado, "I" está encendido) que se encuentra en la parte de atrás del equipo
12. Se presionó el botón "Start" para que el equipo comience a trabajar. Como las moras no se encontraban congeladas previamente, se presionó el botón "NO FROZEN".

13. Esperar a que el liofilizador termine todo el tratamiento ya que es automático. El liofilizador emitió un ruido para notificar que el tratamiento estaba completado. Se indicó en la pantalla "Abrir la válvula de drenaje para liberar la presión", esto permitió que entrara aire en la cámara y se pudieran retirar las muestras.
14. Se retiraron las bandejas del equipo utilizando guantes de protección térmica porque las bandejas se encontraban a una temperatura muy baja.
15. Se recogió el material liofilizado y verificó que estuviera completamente seco, para ello se recogieron muestras y se determinó su humedad final utilizando la balanza de humedad OHAUS.
16. Se pesaron las moras que se obtuvieron después del tratamiento de liofilización y se anotaron los resultados.
17. Con las moras liofilizadas, se trituraron hasta obtener un polvo fino. Fue necesario se puede utilizar un tamizador para remover las semillas que se encontraban dentro de la mora. Este tratamiento se realizó en un ambiente sin humedad y con una temperatura de 18°C para evitar que la humedad del ambiente afectará a la muestra y pudiera rehidratarla de nuevo.
18. El polvo de mora se almacenó en bolsas pequeñas y selladas, hasta su posterior utilización.
19. Se realizó el tratamiento durante dos corridas más.

F. TRATAMIENTO DE SECADO EN MORAS (*RUBUS GLAUCUS* BENTH).

1. Para este procedimiento, se utilizó el secado de bandejas que se encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle.
2. Se configuró el equipo para que tuviera una temperatura interna de 80°C, ya que de esta manera se podría eliminar el agua a un ritmo constante sin afectar directamente a otros compuestos.
3. Se lavaron las moras con agua y jabón, de la muestra significativa del lote de moras, que se determinó anteriormente.
4. Se cortaron pequeños trozos de papel encerado, equivalente a la cantidad de moras que se encuentran en la muestra significativa del lote, y se colocaron en una bandeja que contenía una malla delgada. Se pesó cada mora junto con el trozo de papel encerado y malla para establecer el cambio de masa durante el tratamiento.
5. Se utilizó una bandeja adicional para prensar las moras y obtener el líquido que se encuentra dentro de ellas y facilitar la transferencia de masa y calor.

6. Las moras prensadas debían tener un grosor de 0.5 mm en donde se viera refleja el agua y se debían formar cirulos con un diámetro máximo de 5 cm. Esto se midió utilizando un vernier digital marca TRUPER.
7. Con una pequeña cantidad de moras se les midió la humedad utilizando una balanza de humedad OHAUS, para establecer la humedad inicial de la muestra.
8. Se colocó la bandeja en el secado de bandejas, previamente calentado a 80°C.
9. Se esperó media hora para registrar el cambio de peso de las moras, una vez terminado este tiempo se midió la humedad de la entrada y salida del aire, junto con su temperatura.
10. Repetir el procedimiento cada 30 minutos hasta determinar que el peso de la mora se vuelva constante. Anotar en cada intervalo el peso de la mora, con el objetivo de obtener una curva de secado junto con las condiciones de entrada y salida del gas.
11. Por medio del multímetro que se encuentra junto al secador de bandejas, registrar la electricidad que se utiliza durante todo el tratamiento, mediante el cambio de voltaje que se obtuvo en cada período de 30 minutos.
12. Se retiraron las bandejas del equipo utilizando guantes de protección térmica porque las bandejas se encontraban a una temperatura bastante alta.
13. Se recogió el material secado y se verificó que estuviera completamente seco, para ello se recogieron muestras y se determinó su humedad final utilizando la balanza de humedad OHAUS.
14. Con las moras secadas, se trituraron hasta obtener un polvo fino. Fue necesario se puede utilizar un tamizador para remover las semillas que se encontraban dentro de la mora. Este tratamiento se realizó en un ambiente sin humedad y con una temperatura de 18°C para evitar que la humedad del ambiente afectará a la muestra y pudiera rehidratarla de nuevo.
15. El polvo de mora se almacenó en bolsas pequeñas y selladas, hasta su posterior utilización.
16. Se realizó el tratamiento durante dos corridas más.

G. EXTRACCIÓN DE ANTOCIANINAS

1. Moras sin ningún tratamiento

- a. Se molieron aproximadamente 5.0000 ± 0.00005 g de mora fresca. Se usó una balanza analítica marca OHAUS y se utilizó un mortero de porcelana, previamente lavada para procesar la mora.

- b. Se pesó 0.3000 ± 0.00005 g de la mora procesada y colocó en un beaker de 50 mL.
- c. Se añadió 5 mL de una solución al 1% de ácido clorhídrico en metanol (v/v), previamente realizada.
- d. Se homogenizó por 15 minutos a 500 rpm utilizando un agitador magnético para luego centrifugar las muestras por 5 min a 500 rpm con 4°C en la centrifuga 5804 R.
- e. Se removió el sobrenadante y se almacenó en un tubo de ensayo. El procedimiento anterior se repitió dos veces más con el pellet obtenido y se juntó los sobrenadantes para obtener un volumen final de 20 mL.
- f. Las extracciones se realizaron 4 veces más con diferentes porciones de la mora para tener un volumen total de 100 mL, separado en 5 tubos de ensayo de 20 mL.

2. Moras después del tratamiento de liofilización y secado

- a. Se pesó 0.3000 ± 0.00005 g del polvo de mora liofilizado y se colocó en un beaker de 50 mL.
- b. Se añadió 5 mL de una solución al 1% de ácido clorhídrico en metanol (v/v), previamente realizada.
- c. Se homogenizó por 15 minutos a 500 rpm utilizando un agitador magnético para luego centrifugar las muestras por 5 min a 500 rpm con 4°C en la centrifuga 5804 R.
- d. Se removió el sobrenadante y se almacenó en un tubo de ensayo. El procedimiento anterior se repitió dos veces más con el pellet obtenido y se juntó los sobrenadantes para obtener un volumen final de 20 mL.
- e. Las extracciones se realizaron 4 veces más con diferentes porciones del polvo de mora para tener un volumen total de 100 mL, separado en 5 tubos de ensayo de 20 mL.
- f. Se repitió el procedimiento para el polvo de mora obtenido por secado.

H. CUANTIFICACIÓN DE ANTOCIANINAS

1. Para cuantificar las antocianinas obtenidas de la mora fresca, como el polvo de mora liofilizado y secado. Se realizaron dos soluciones, A y B.
2. Para la solución A, se realizó un buffer de pH 1.0 de cloruro de potasio (KCl) 0.025 M. Se mezcló 300 mL de agua destilada con 0.559 g de cloruro de potasio. Se midió con un potenciómetro marca Dr. meter el pH de la solución y ajustó con ácido clorhídrico (HCl).
3. Para la solución B, se realizó un buffer de pH 4.5 de acetato de sodio 0.4 M. Para ello se pesó 12.72 g de bicarbonato de sodio y se mezcló con 300 mL de agua destilada. Luego, en un beaker aparte se añadió 6.86 mL de ácido acético y mezclarlo con 300 mL de agua destilada.
 - Se mezcló ambas soluciones según la relación que se obtiene del cálculo 2, usando la ecuación 7, por lo que se debe mezclar 200 mL de la solución del ácido acético y 100 mL de la solución de bicarbonato de sodio.

Ecuación 13. Ecuación de Henderson-Hasselbach

$$pH = pK_a + \log \left(\frac{[A^-]}{[HA^+]} \right)$$

4. Se colocó en un tubo de ensayo 2.5 mL la solución antocianinas y añadió con aproximadamente 0.25 mL de la Solución A, para obtener un factor de dilución de 5.
5. La solución de antocianinas se colocó en la cubeta del espectrómetro UV-VIS marca Shimadzu, modelo UV-mini 1240 y se leyó su absorbancia a una longitud de onda de 510 nm y 700 nm. Se anotó ambos resultados. Se repitió el procedimiento anterior, con la solución B Se utilizó como blanco agua ultrapura.
6. Se calculó la concentración de antocianinas como mg cianidina-3-glucósido/100 mL con la ecuación 3.

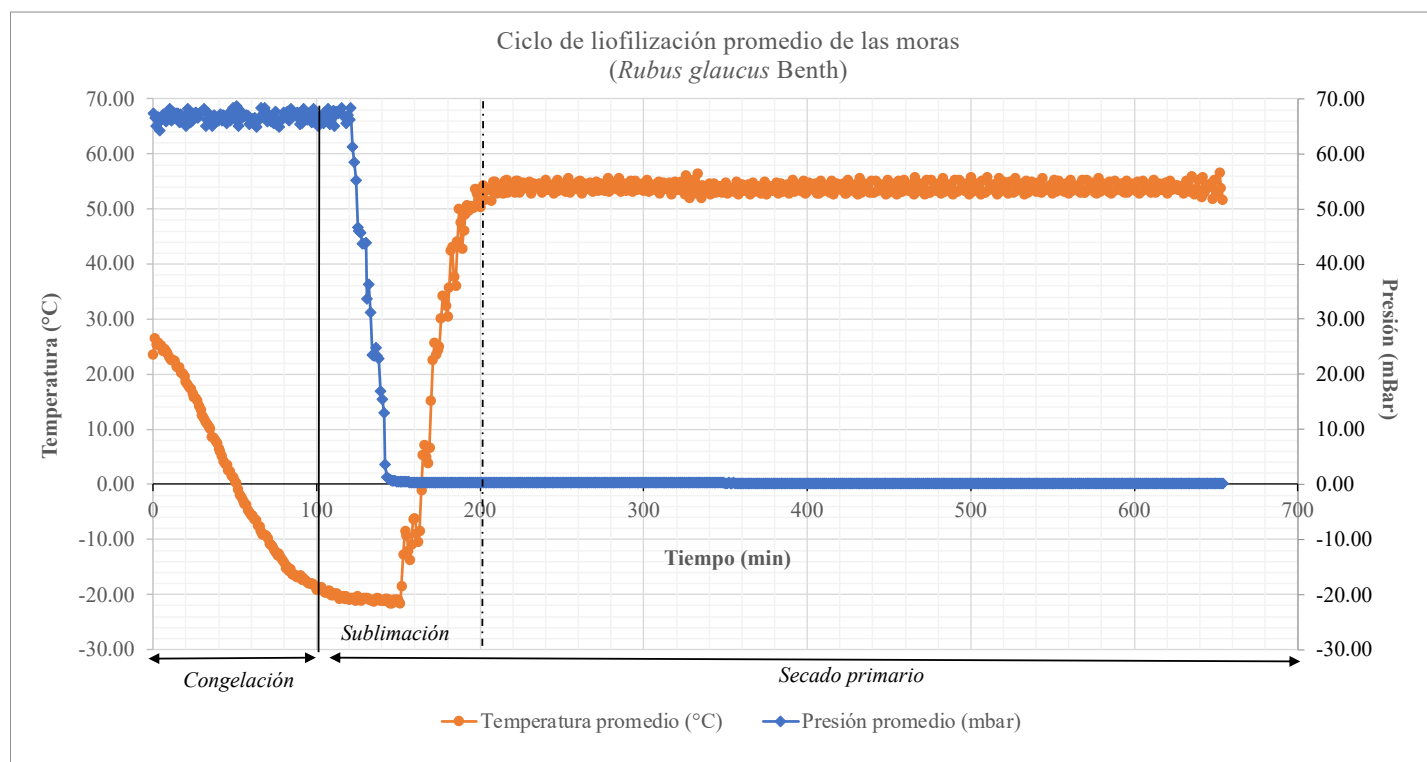
Ecuación 14. Corrección de la absorbancia por medio de diferentes pH.

$$\Delta A = (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{pH=1} - (A_{520 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{pH=4.5}$$

$$AT \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\Delta A * M * FD * 1000}{\epsilon * l}$$

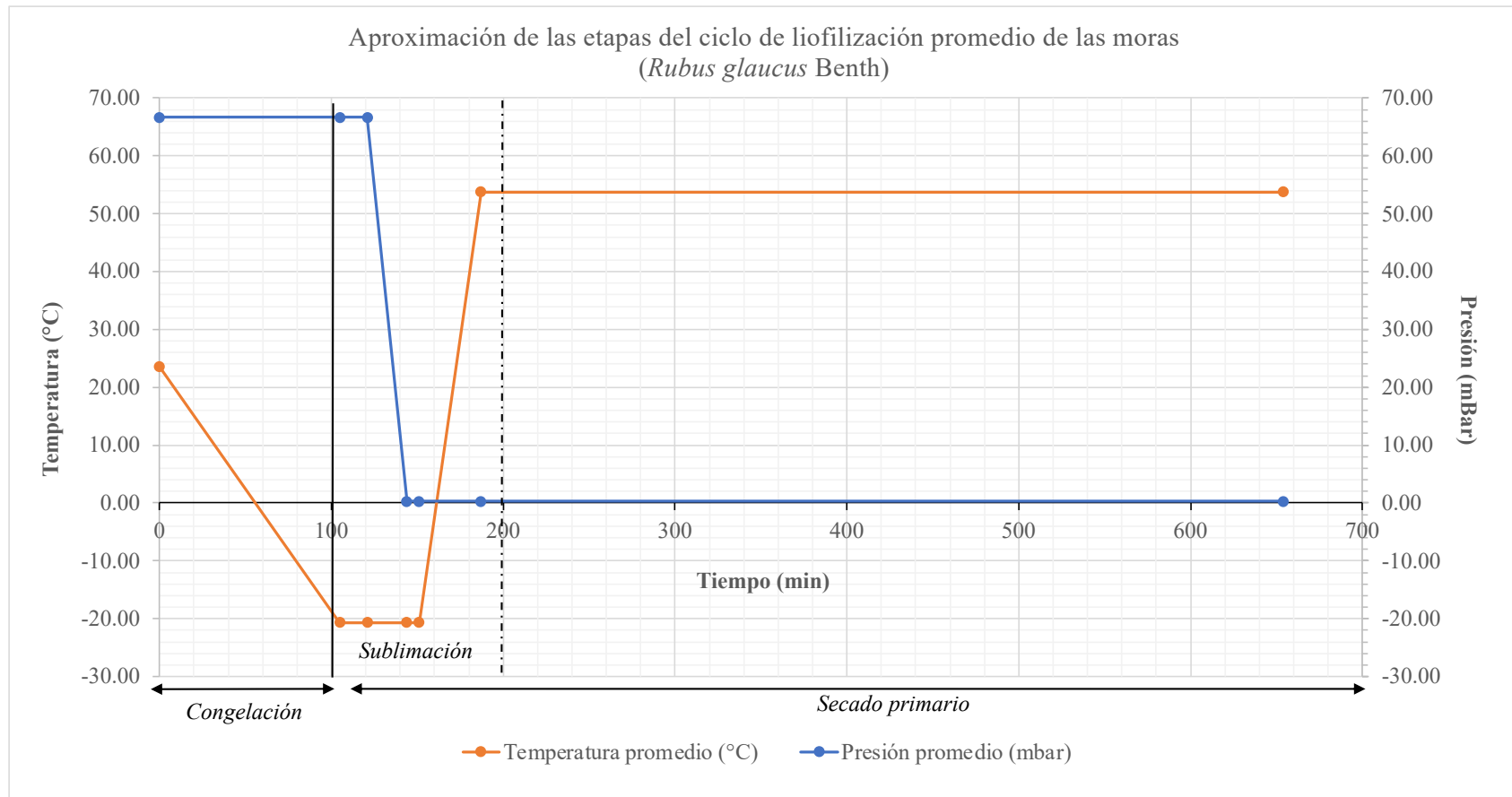
VII. RESULTADOS

Figura 18. Ciclo de liofilización promedio en las muestras de los frutos de moras (*Rubus glaucus Benth*)



En la gráfica se puede observar la temperatura (°C) y la presión (mbar) de la cámara del liofilizador, durante el ciclo de liofilización promedio en las muestras de los frutos de moras. Se determinaron las etapas de congelación, sublimación y secado primario durante el tratamiento de liofilización.

Figura 19. Aproximación de la presión y temperatura durante las etapas principales del ciclo de liofilización



Se graficaron los valores del Cuadro 1 para una visualización del ciclo de liofilización y sus etapas importantes: congelación y secado primario. Esta es solo una aproximación de los datos originales obtenidos.

Cuadro 1. Aproximación de la presión y temperatura durante las etapas principales del ciclo de liofilización

Tiempo (min)	Presión promedio (mbar)	Temperatura promedio (°C)
0	66.70 ± 0.95	23.52 ± 0.21
105	66.70 ± 0.95	-20.66 ± 0.56
121	66.70 ± 0.95	-20.66 ± 0.56
144	0.25 ± 0.08	-20.66 ± 0.56
151	0.25 ± 0.08	-20.66 ± 0.56
187	0.25 ± 0.08	53.76 ± 0.56
654	0.25 ± 0.08	53.76 ± 0.56

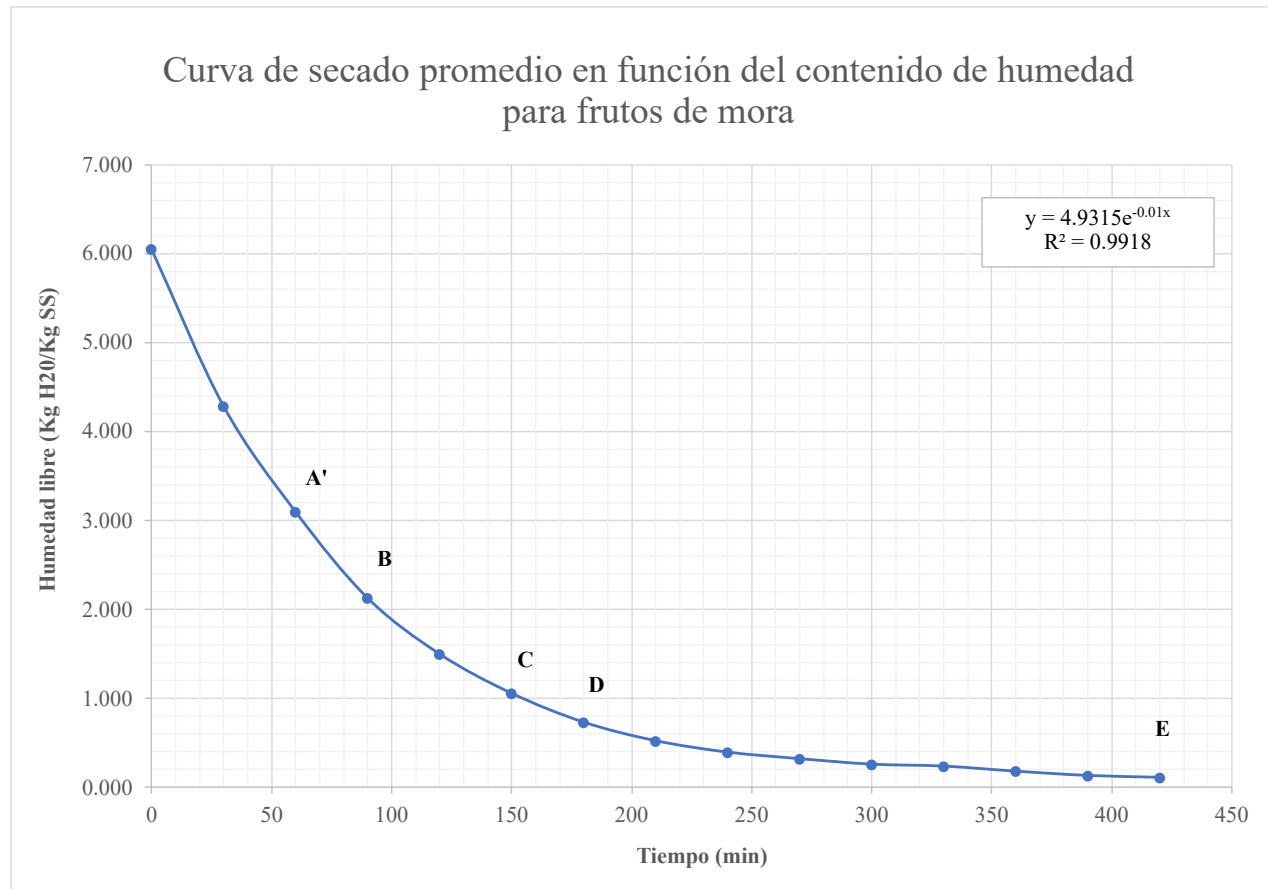
Los valores que se observan en el Cuadro 1, hacen referencia a las etapas principales del ciclo de liofilización, con respecto a la temperatura y presión promedio. Para encontrar estos valores se observó la Figura 18 y se hizo una aproximación con cada uno de ellos.

Cuadro 2. Humedad inicial y final del ciclo de liofilización

Medición	Humedad inicial (% ± 0.01%)	Humedad final (% ± 0.01%)	Humedad base húmeda (kg agua / kg SS)	Humedad final calculada (%)
1	88.27	1.85	0.0139 ± 0.01049	1.3739 ± 0.01049
2	88.19	1.86	0.0130 ± 0.00909	1.2798 ± 0.00909
3	87.99	1.84	0.0212 ± 0.02529	2.0807 ± 0.02529
Promedio	88.15	1.85	0.02	1.58
Desviación estándar	0.145195	0.010	0.004530	0.4377

La humedad inicial y final en mediciones de porcentaje se obtuvieron mediante mediciones en la balanza balanza de humedad OHAUS modelo MB120. El contenido de humedad en base húmeda se calculó con la ecuación 5, en donde se colocó la pérdida de agua sobre el peso del sólido seco inicial. A partir de este dato, se obtuvo el porcentaje de humedad presente en la muestra.

Figura 20. Curva de secado promedio en función del contenido de humedad para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*)



En la gráfica se presenta el contenido de humedad en relación con el tiempo de secado, de los datos obtenidos experimentalmente. Se presenta la ecuación que relaciona el comportamiento de los datos, esta se obtuvo mediante una regresión exponencial utilizando el Microsoft Excel. El tiempo de secado duró 7 horas (420 minutos).

Cuadro 3. Humedad promedio de las muestras de los frutos de moras prensadas (Rubus glaucus Benth) durante el tiempo de secado

Tiempo	Humedad (Kg H2O/Kg SS)
0	6.052 ± 0.329
30	4.286 ± 0.075
60	3.098 ± 0.057
90	2.128 ± 0.115
120	1.498 ± 0.075
150	1.056 ± 0.019
180	0.731 ± 0.028
210	0.522 ± 0.017
240	0.393 ± 0.019
270	0.320 ± 0.016
300	0.258 ± 0.023
330	0.236 ± 0.009
360	0.179 ± 0.008
390	0.131 ± 0.006
420	0.110 ± 0.006

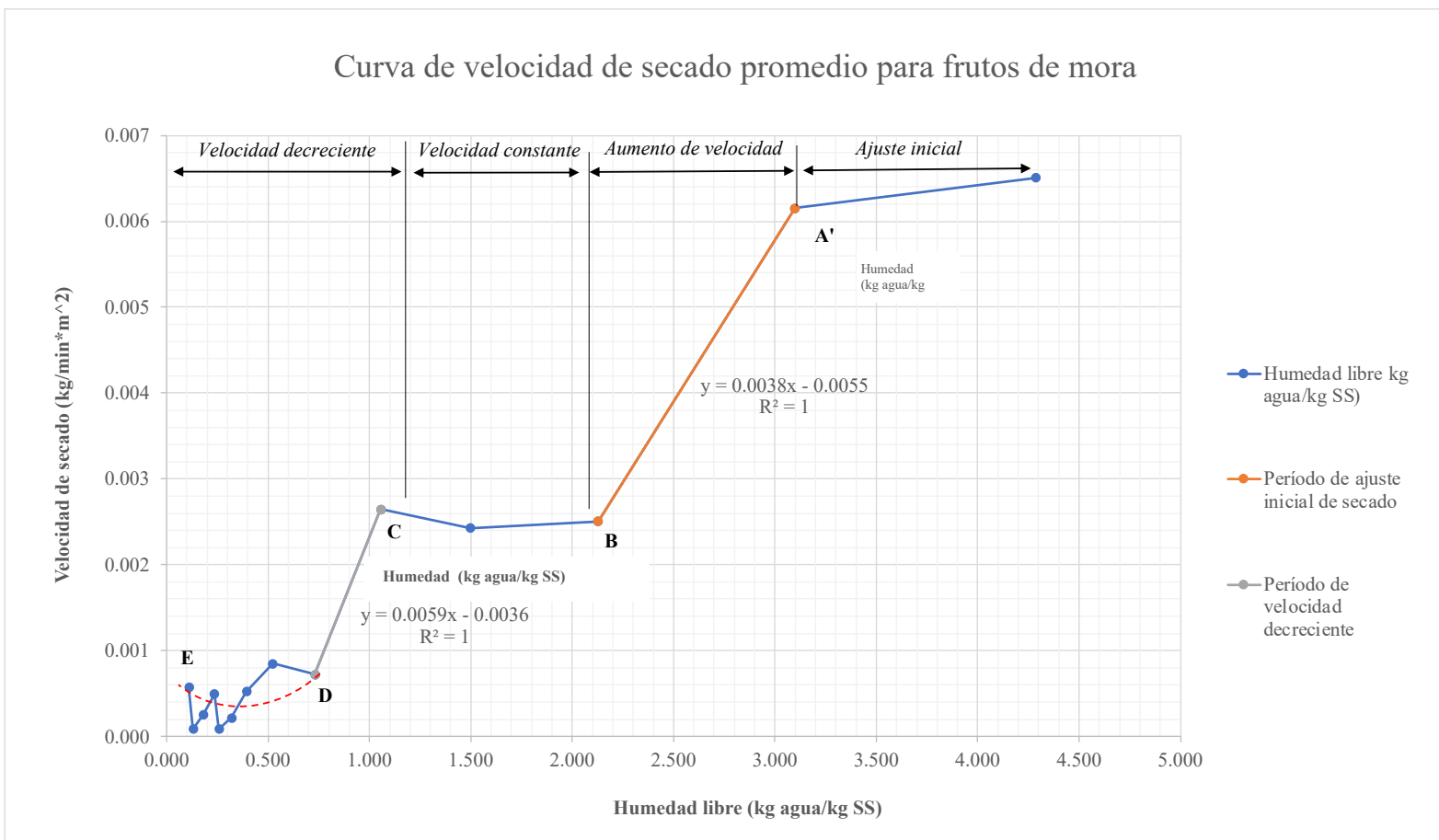
En el Cuadro 3 se puede observar el contenido de humedad en base húmeda que se obtuvo de los frutos de mora a diferentes tiempos de secado. Estos datos se utilizaron para realizar la curva de secado promedio.

Cuadro 4. Velocidad de secado en relación con el contenido de Humedad promedio de las muestras de los frutos de moras (Rubus glaucus Benth)

Humedad (Kg H2O/Kg SS)	Velocidad de secado (kg/min*m²)
4.286 ± 0.075	0.006510 ± 0.000287
3.098 ± 0.057	0.006153 ± 0.000088
2.128 ± 0.115	0.002504 ± 0.000332
1.498 ± 0.075	0.002427 ± 0.000470
1.056 ± 0.019	0.002645 ± 0.000525
0.731 ± 0.028	0.000725 ± 0.000103
0.522 ± 0.017	0.000850 ± 0.000022
0.393 ± 0.019	0.000523 ± 0.000241
0.320 ± 0.016	0.000216 ± 0.000122
0.258 ± 0.023	0.000085 ± 0.000124
0.236 ± 0.009	0.000495 ± 0.000070
0.179 ± 0.008	0.000252 ± 0.000028
0.131 ± 0.006	0.000086 ± 0.000050
0.110 ± 0.006	0.000572 ± 0.000022

Se puede observar la velocidad de secado en relación de la Humedad que se obtuvo de los frutos de mora a diferentes tiempos de secado. Estos datos se utilizaron para realizar la curva de velocidad de secado promedio.

Figura 21. Curva de velocidad de secado promedio para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*)



En la gráfica se puede observar la curva de velocidad de secado en relación con la Humedad que presenta la muestra. Las etapas que se identificaron en la curva son: Ajuste inicial de la muestra (A'), aumento de velocidad (A'-B), velocidad constante (B-C) y velocidad decreciente (C-D). A partir del D, se puede observar irregularidades en la velocidad de secado.

Cuadro 5. Humedad inicial y final del tratamiento de secado

Medición	Humedad inicial (% ± 0.01%)	Humedad final (% ± 0.01%)	Humedad base húmeda (kg agua / kg SS)	Humedad final calculada (%)
1	85.20	9.42	0.1078	9.73
2	85.70	9.54	0.1047	9.48
3	86.50	9.32	0.1165	10.44
Promedio	85.80	9.43	0.11	9.88
Desviación estándar	0.66	0.16	0.01	0.49

La humedad inicial y final en mediciones de porcentaje se obtuvieron mediante mediciones en la balanza balanza de humedad OHAUS modelo MB120. El contenido de humedad en base húmeda se calculó con la ecuación 5, en donde se colocó la pérdida de agua sobre el peso del sólido seco inicial. A partir de este dato, se obtuvo el porcentaje de humedad presente en la muestra.

Cuadro 6. Comparación técnica entre los tratamientos de liofilización y secado utilizando diferentes parámetros en función del equipo utilizado

Tratamiento	Tiempo (h)	Consumo de energía (kW*h)	Efectividad (% m/m)	Rendimiento (% m/m)	Eficiencia (kg/kW*h)	Productividad (kg/h)
Liofilización	10.86 ± 0.004	32.70 ± 1.38E-08	98.15 ± 0.01	12.68 ± 0.51	2.20 ± 0.01	0.10 ± 0.004
Secado en bandejas	7.00 ± 0.005	34.63 ± 1.82E-06	90.49 ± 0.17	18.00 ± 0.08	1.47 ± 0.00	2.12 ± 0.01

La efectividad de la operación se obtuvo en base a la humedad final, esperando retirar un 100% de humedad. El rendimiento se calculó en relación con el peso final con el peso inicial de la muestra. La eficiencia demuestra la relación entre la cantidad de agua evaporada y la energía eléctrica utilizada. La productividad se determinó en base a la cantidad de muestra que se obtuvo al final en relación con el tiempo del tratamiento.

Cuadro 7. Caracterización de la moras del lote FCEM provenientes de la empresa "Planesa Fresh"

Características fisicoquímicas	
pH	3.45 ± 0.0379 pH
Sólidos solubles totales (SST)	7.9 ± 0.0577 %
Índice de madurez	5.0 ± 0.2883
Diametro ecuatorial promedio	17.9 ± 0.05 mm
Longitud	24.6 ± 0.05 mm
Densidad aparente del fruto de mora	1.273 ± 0.03 g/mL
Densidad real del fruto de moras	1.054 ± 0.0426 g/mL
Densidad del jugo de mora	1.052 ± 0.0230 g/mL
Ácido total titulable	
- Ácido Málico	1.583 ± 0.0903 %
Azúcares presentes (% p/v)	
- Sacarosa	1.67450 %
- Glucosa	1.43577 %
- Fructosa	2.01138 %
Características organolépticas	
Olor	Ácido, característico a mora
Sabor	Ácido, característico a mora
Aspecto visual	Frutos entero de mora
Color	Violeta oscuro

Se observa una tabla descriptiva de las características que tenía el lote de moras FCEM sin ningún tratamiento y con la fruta entera. Las características se separaron en fisicoquímicas y organolépticas para determinar cómo cambiaban posterior los tratamientos.

Cuadro 8. Caracterización del polvo de moras obtenido después del tratamiento de liofilización

Características fisicoquímicas	
pH	2.54 ± 0.0208 pH
Densidad	1.077 ± 0.0066 g/mL
Ácido total titulable	
- Ácido Málico	1.565 ± 0.1012 %
Azúcares presentes (% p/v)	
- Sacarosa	1.535 %
- Glucosa	1.436 %
- Fructosa	1.851 %
Características organolépticas	
Olor	Ácido, característico a mora
Sabor	Ácido, característico a mora
Aspecto visual	Polvo
Color	Rosado Fucsia

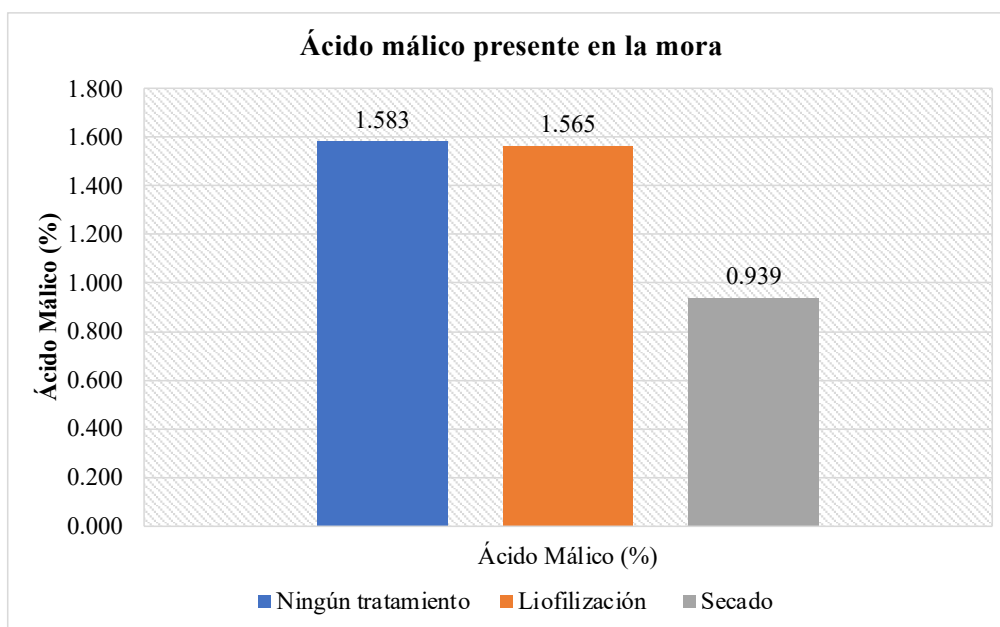
Se observa una tabla descriptiva de las características que tenía el lote de moras FCEM posterior al tratamiento de liofilización. Las características se separaron en fisicoquímicas y organolépticas para realizar una comparación con el lote inicial.

Cuadro 9. Caracterización del polvo de moras después del tratamiento de secado

Características fisicoquímicas	
pH	5.61 ± 0.0115 pH
Densidad	1.091 ± 0.0134 g/mL
Ácido total titulable	
- Ácido Málico	0.939 ± 0.0310 %
Azúcares presentes (% p/v)	
- Sacarosa	1.315 %
- Glucosa	1.128 %
- Fructosa	1.766 %
Características organolépticas	
Olor	Ácido, característico a mora
Sabor	Ácido, característico a mora
Aspecto visual	Polvo
Color	Violeta oscuro

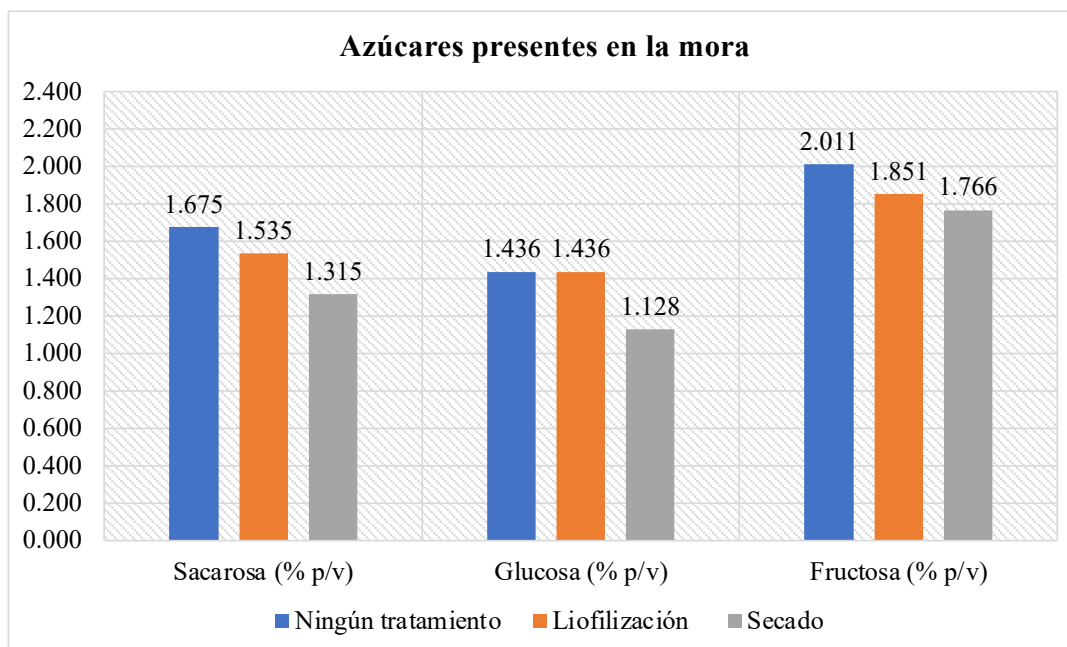
Se observa una tabla descriptiva de las características que tenía el lote de moras FCEM posterior al tratamiento de secado. Las características se separaron en fisicoquímicas y organolépticas para realizar una comparación con el lote inicial.

Figura 22. Comparación del ácido málico en la mora



La gráfica muestra una comparación de los ácidos orgánicos predominantes en la mora sin ningún tratamiento y después de la liofilización y secado. Esto se obtuvo realizando una titulación potenciométrica.

Figura 23. Comparación de los azúcares presentes en la mora



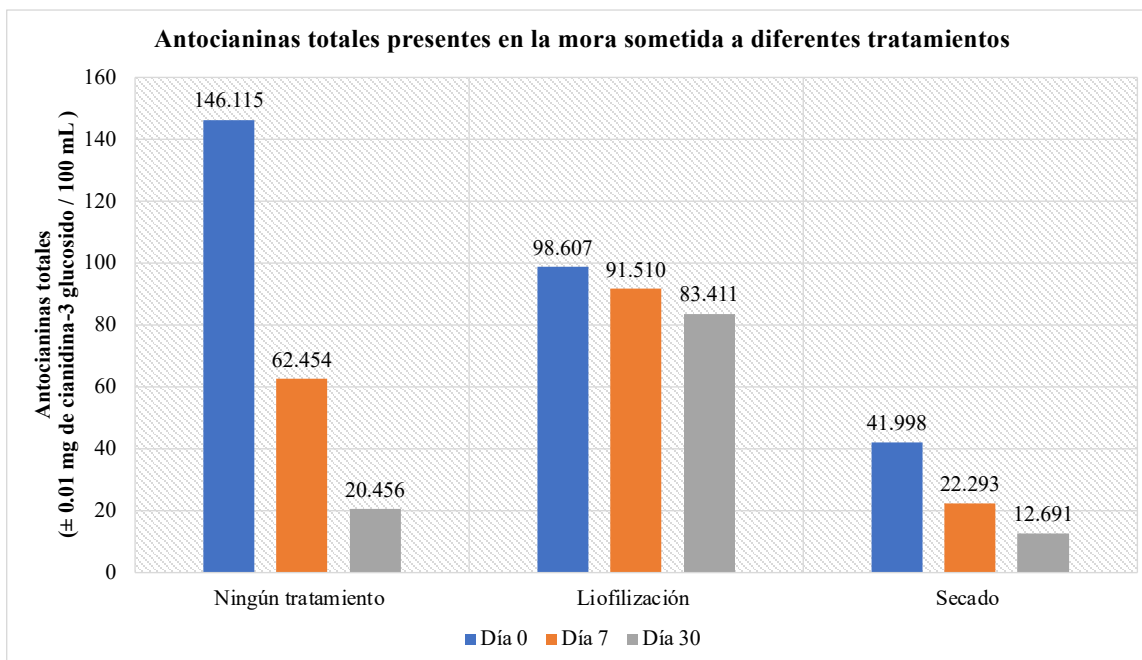
La gráfica muestra una comparación de los azúcares en la mora sin ningún tratamiento y después de la liofilización y secado. Los datos se obtuvieron mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) utilizando columnas Agilent Hi Plex H de 300x7.8 mm y 5 µm de tamaño de partícula. La fase móvil utilizada fue agua, y se mantuvo una temperatura de 80 grados Celsius en la columna, 40 grados Celsius en el detector y 25 grados Celsius en el termostato del automuestreador.

Cuadro 10. Determinación de la cantidad de azúcares preservadas durante los tratamientos de liofilización y secado

Tratamiento	Sacarosa (± 0.00005 % p/v)	Glucosa (± 0.00005 % p/v)	Fructosa (± 0.00005 % p/v)
Liofilización	91.65	100.00	92.05
Secado	78.54	78.56	87.82

Se puede observar la cantidad de azúcares que permanecieron en el producto después de los tratamientos de liofilización y secado.

Figura 24. Antocianinas totales presentes en la mora



La gráfica muestra una comparación de las antocianinas totales en la mora sin ningún tratamiento y después de la liofilización y secado. La cuantificación de las antocianinas se realizó después de varios días para evaluar su estabilidad después de la liofilización y secado.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo del estudio era evaluar la capacidad de retención de antocianinas en moras (*Rubus glaucus* Benth) en los tratamientos de liofilización y secado. Para ello, se llevó a cabo diversos estudios en las moras, antes y después de los tratamientos, con el objetivo de determinar la operación unitaria que generara el producto con mayor contenido de antioxidantes para asegurar su potencial como fuente natural de compuestos bioactivos en la industria.

El ciclo de liofilización promedio de las moras tuvo una duración aproximada de 11 horas, equivalente a 654 minutos. En la Figura 18 se puede observar la temperatura y presión con respecto al tiempo de liofilización. Los valores representados se obtuvieron directamente del equipo. Las muestras inicialmente tenían $88.15 \% \pm 0.15 \%$ de humedad y después de la liofilización obtuvieron un $1.85\% \pm 0.001 \%$ de humedad total, obteniendo una humedad inferior al 10%.

Con el fin de facilitar la visualización del tratamiento, se procedió a realizar una aproximación para cada etapa principal. La primera, etapa que se visualiza en la Figura 19 corresponde a la congelación. Inicialmente, las muestras tenían una temperatura promedio de $23.52 \text{ }^{\circ}\text{C}$, conforme avanza la liofilización, la temperatura se reduce a -20.66°C . Este descenso se debe al ajuste automático del equipo, el cual coloca las muestras a una temperatura inferior a $0.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Este procedimiento resulta fundamental, ya que es en este punto donde el agua presente en las muestras cambia de fase líquida a sólida, generando cristales de hielo. Este paso determinó la morfología del hielo y la distribución del tamaño de los poros, que permitieron la salida del vapor durante la sublimación. Esta fase se prolongó durante aproximadamente una hora y media, y la presión se mantuvo invariable hasta la conclusión del ciclo de liofilización, a 66.70 mBar (Ellab Validation Solutions, 2018).

El inicio del secado primario del producto tuvo lugar alrededor del minuto 151. En este momento, liofilizador comenzó a aumentar gradualmente la temperatura en la cámara con el producto, alcanzando una temperatura de $53.76 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Al inicio de esta etapa la presión era de 66.70 mBar y se redujo progresivamente hasta alcanzar un valor de 0.25 mbar . Este ajuste se llevó a cabo con el propósito de reducir la de presión por debajo del punto triple del agua. Al aumentar la temperatura lentamente y a una presión baja constante se obtuvo un cambio de fase desde un sólido directamente a vapor sin pasar por la fase líquida (Ellab Validation Solutions, 2018).

No obstante, es relevante señalar que la disminución de la presión de la cámara del producto y el aumento de la temperatura de este no se produjeron de manera simultánea, lo cual difiere de las fuentes literaria. La razón de esto reside en que la composición de la muestra no solo contenía agua, sino también otros compuestos en forma líquida como ácidos orgánicos y azúcares, esto se debe a que el punto triple para estos compuestos es diferente al del agua, lo que explica la divergencia observada en el tratamiento de liofilización (Castañeda I. , 2010).

La Figura 20 muestra la curva de secado promedio del fruto de mora, donde se representa el contenido de humedad (kg de agua/kg de SS) a lo largo del tiempo de secado. Inicialmente, la muestra tenía un contenido de humedad de 6.052 kg de agua/kg de sólidos solubles (equivalente al 85.82% de humedad total). Después de 7 horas (420 min) del tratamiento de secado, se alcanzó un nivel de humedad final de 0.11 kg de agua/kg de SS, equivalente 9.88% de humedad total obteniendo un contenido de humedad inferior al 10%.

La curva de secado presenta un comportamiento similar al de una función exponencial descendente, donde la humedad de la mora disminuye con el transcurso del tiempo de secado. La ecuación que mejor se ajusta a estos datos es la siguiente: $y = 4.9315e^{-0.01x}$, donde 4.9315 representa la cantidad inicial de humedad en base seca de la muestra en kg de agua/kg de sólidos secos, y 0.01 es la tasa que determina la velocidad de secado. Desde el punto D hasta el punto E en la curva de secado, se puede observar que el contenido de humedad de la muestra comienza a tener una tendencia constante. Sin embargo, es importante destacar que no alcanza un estado de equilibrio de humedad completo, porque, aunque la variación de la humedad se vuelve menor, aún se registran pequeñas fluctuaciones en la gráfica con respecto al tiempo de secado. Esto sugiere que la muestra no ha llegado a un estado de humedad completamente constante y que el tratamiento de secado aún no se ha estabilizado por completo (Treybal, 1980).

En la gráfica de la velocidad de secado con respecto al tiempo, que se presenta en la Figura 21, se puede identificar las etapas del secado de moras. En estas se interpreta que durante el período de A' ocurrió el ajuste inicial del tratamiento secado, en donde las moras comenzaron a calentarse gradualmente, ya que tenían una temperatura inicial de 23°C. En este punto, la humedad en la superficie moras comenzó a evaporarse, por lo que la velocidad es relativamente baja. Además, en el intervalo de tiempo de A' – B, se aprecia un aumento en la velocidad de secado, representado por una función lineal, expresada como $y = 0.0038x - 0.0055$. Ocurrió un aumento en la velocidad de secado porque tanto la temperatura como la diferencia de concentración de humedad entre el material y el entorno experimentan un incremento significativo, eliminando la humedad libre de manera más rápida. Esto se ve reflejado en la curva de secado de la Figura 20 debido a que se observa una pendiente más pronunciada; lo que indica que se intensificó la evaporación del agua contenida en las moras, lo que aumentó la transferencia de humedad desde el interior hasta la superficie (Treybal, 1980).

Durante el período de B-C, se debería ver reflejado un intervalo de velocidad constante, el cual indica que la velocidad de secado alcanzó su punto máximo y que la humedad de las moras comenzó a trasladarse a la superficie a un ritmo constante, lo que llegó a equilibrar la velocidad de evaporación, indicando la eliminación de la humedad no ligada. Sin embargo, en este período se observa una fluctuación, esto se debe a que las moras inicialmente contienen una gran cantidad de agua, tanto en el interior de la fruta como en el interior de las drupeolas, por lo que la eliminación de la humedad se vuelve irregular. Posteriormente, se observa que la velocidad de secado tuvo un comportamiento decreciente (D-E), representado por la función lineal de $y = 0.0059x - 0.0036$ esto se debe a que la humedad no ligada de la mora comenzó a disminuir, dejando únicamente la humedad ligada. Es importante destacar que, durante la parte final de este período, se observa una considerable variabilidad en la velocidad de secado en relación con la humedad. La causa de esta

variabilidad radica en que, al agotarse la humedad no ligada en la muestra, esta se vuelve más propensa a absorber la humedad del ambiente en su estructura. Esto ocasionó inexactitudes en las mediciones del contenido de humedad (Treybal, 1980).

Cómo se observa en el Cuadro 10 se evaluó la efectividad de ambos tratamientos. La liofilización produjo un resultado de $98.147 \pm 0.010\%$ de efectividad, mientras que el secado de bandejas obtuvo un $90.493 \pm 0.172\%$. Esto se debe a que la liofilización permitió la eliminación de una mayor cantidad de humedad, dejando un producto final con un contenido de humedad de $1.85 \pm 0.010\%$. A diferencia del secado, el cual logró un contenido de humedad final de $9.51 \pm 0.172\%$. Aunque ambos tratamientos alcanzaron el objetivo de obtener muestras con un contenido de humedad por debajo del 10%, la sublimación del agua en las muestras durante la liofilización resultó en una mayor eliminación de humedad. Esto se ve reflejado en el rendimiento del tratamiento de secado ($18.005 \pm 0.077\%$) ya que es superior al de la liofilización ($12.683 \pm 0.345\%$), dado que, si bien se obtiene una mayor cantidad de moras al final del tratamiento, no se logra eliminar completamente la humedad (Martínez, Arévalo, Verde, & Morales, 2011).

No obstante, es relevante mencionar que ambos tratamientos presentaron una eficiencia considerablemente reducida. La eficiencia se evaluó en función de la cantidad de agua extraída de la muestra en relación con la energía eléctrica consumida por el equipo. En el caso del tratamiento de secado en bandejas, la eficiencia fue de $1.471 \pm 0.002\%$. Este valor se atribuye en parte al tamaño significativo del equipo y a que no se utilizó la capacidad máxima de este (Cabrera, 2004). En el tratamiento de liofilización la eficiencia que se logró fue de $2.189 \pm 0.008\%$, esto se debe, al consumo substancial de energía por parte de dicho equipo por la duración del tratamiento, que fue de 10.86 ± 0.042 horas. Esto se relaciona a la productividad de los tratamientos, dado que la liofilización presenta una productividad de 0.096 ± 0.004 kg/h, la cual es inferior a la del secado en bandejas, que alcanza 2.123 ± 0.014 kg/h.

Se llevó a cabo una caracterización de las moras del lote FCEM procedentes de la empresa "Planesa Fresh" antes de someterlas a los tratamientos de liofilización y secado, como se detalla en el Cuadro 7. Posteriormente, se procedió a caracterizar el polvo resultante de dichos tratamientos, tal como se indica en los Cuadros 8 y 9. La Figura 22 presenta una comparación del ácido orgánico predominantes en las moras antes y después de los procedimientos mencionados, específicamente ácido málico. Las cantidades iniciales de este fue de $1.583 \pm 0.0903 \%$ (Cabrera, 2004).

Sin embargo, es relevante destacar que durante el tratamiento de secado solo se logró conservar el 59.33% del ácido orgánico, en contraste con la liofilización, donde se mantuvo el 98.87% de este. Este comportamiento se atribuye a la naturaleza de los ácidos orgánicos, ya que estos presentan una baja resistencia al calor debido a su bajo punto de ebullición. Como resultado, estos ácidos tienden a degradarse cuando se someten a temperaturas comprendidas entre 80°C y 100°C (Coronado, Vega, R, Vázquez, & C, 2015).

La liofilización logró preservar en mayor medida los compuestos orgánicos debido a que el tratamiento implica la congelación de las muestras a temperaturas extremadamente bajas, lo que previene la descomposición y la degradación de los compuestos orgánicos que

podrían ocurrir debido al calor. Asimismo, este efecto se refleja en las alteraciones observadas en los azúcares presentes en las moras antes y después de los tratamientos. Durante la liofilización, se conserva el $91.65 \pm 0.000005\%$ de sacarosa, el $100 \pm 0.000005\%$ de glucosa y el $92.02 \pm 0.000005\%$ de fructosa, mientras que, en el tratamiento de secado, se retiene el $78.54 \pm 0.000005\%$ de sacarosa, el $78.56 \pm 0.000005\%$ de glucosa y el $87.82 \pm 0.000005\%$ de fructosa.

En los tratamientos de liofilización y secado, se llevó a cabo una evaluación de la capacidad de retención de antocianinas en las moras. Inicialmente, las moras contenían 146.115 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido / 100 mL. En el producto resultante de la liofilización, como se detalla en el Cuadro 8, se presentó como un polvo color fucsia con un sabor y olor característico a mora. El cambio en el color se debió a una disminución en el pH de la solución, resultado del aumento en la concentración de ácido málico con respecto al peso inicial de las moras aumento. Este cambio cambió en el pH tuvo un efecto protector en la molécula de antocianinas, ya que se encontraban en su forma más estable como catión flavilio (AH⁺). Como resultado, la liofilización logró retener un contenido de 98.607 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido / 100 mL (Coronado, Vega, R, Vázquez, & C, 2015).

Por otro lado, el tratamiento de secado produjo un polvo de color violeta oscuro, y esta decoloración se debe al aumento del pH, lo que afectó negativamente la concentración de antocianinas. El contenido final de antocianinas después del secado fue de 41.998 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido / 100 mL. Además, durante el tratamiento de secado, la temperatura se mantuvo a 80°C para eliminar el agua, lo cual pudo tener un impacto significativo en las antocianinas ya que a temperaturas altas, existe un mayor grado de destrucción de estas moléculas. Esto se debe a que sufren diversos mecanismos como glicosilación, ataque nucleofílico del agua, escisión y polimerización. Mientras que, durante la liofilización, las antocianinas se preservaron en mayor medida por la congelación que sufren previo al tratamiento de sublimación (De la Rosa, Hernández, Morales, Quiroz, & García, 2022).

Con el objetivo de evaluar el potencial del polvo de mora como fuente natural de compuestos bioactivos, se analizaron los frutos de mora junto con el polvo obtenido de ambos tratamientos para evaluar la cantidad de antocianinas totales después de 7 y 30 días. Los resultados indicaron que las antocianinas de los frutos de mora durante 7 y 30 días disminuyeron a 62.454 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido / 100 mL después de 7 días y 20.456 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido / 100 mL después de 30 días. Esta degradación se atribuye al contenido de agua que presenta la muestra, ya que la humedad en las moras favorece el crecimiento de microorganismos, lo que conduce a la descomposición y la formación de mohos, lo que afecta la conservación de las antocianinas (Cabrera, 2004).

Por lo tanto, se observa que, en el tratamiento de liofilización, las antocianinas se conservan dentro del rango de una mora normal, que oscila entre 82.5 y 325.9 mg de cianidina-3 glucosido / 100 mL. Esto se debe a la eliminación del agua en la muestra, lo que permite obtener un polvo de mora que conserva sus características organolépticas de una mora normal y preserva los biocompuestos a largo plazo, como se observa en la Figura 24. En comparación, secado, aunque no conservó la mayoría de antocianinas, no experimentó

una disminución significativa de estas durante 7 u 30 días, debido el polvo de mora que se obtuvo, no contenía tanta humedad como una fruta normal (Parzanese, 2016).

Los resultados destacan la liofilización como un tratamiento efectivo para conservar la humedad y los compuestos bioactivos, como las antocianinas y los ácidos orgánicos, en las moras. Por lo que, la liofilización puede ser una opción preferible para la producción de productos de mora con un alto contenido de antioxidantes. De esta manera, la liofilización emerge como una alternativa preferible para la fabricación de productos de mora con un elevado contenido de antioxidantes. Sin embargo, al considerar el escalado del tratamiento, es crucial tener en cuenta que ambos métodos poseen desventajas en términos de eficiencia y productividad, especialmente en lo que respecta al consumo de energía eléctrica, según se detalla en el Cuadro 6.

El tratamiento de secado se llevó a cabo mediante un secador de bandejas a escala industrial, con un consumo de energía de 34.63 kW/h. Al comparar este dato con el consumo de energía del liofilizador, que opera a escala de laboratorio (32.70 kW/h), se observa una similitud en las cifras. Al escalar la producción a nivel industrial, se identifican dos tendencias en los costos. Por un lado, habría un incremento en el costo energético debido al uso de un liofilizador industrial, pero, por otro lado, los costos unitarios del producto podrían reducirse debido al aumento en el volumen de producción. Es crucial mantener o mejorar el rendimiento y la eficacia del tratamiento de liofilización durante la producción industrial, ya que estos aspectos están directamente relacionados con la cantidad final de masa de la muestra y la cantidad de agua retirada durante el tratamiento.

En el estudio se identificaron varias fuentes potenciales de error. Estas incluyen la posible variabilidad en las muestras iniciales en términos de contenido de antocianinas y otros compuestos bioactivos, errores en la calibración de instrumentos utilizados para medir parámetros como humedad, temperatura y presión, variabilidad en el funcionamiento del equipo de liofilización y secado, influencia de condiciones ambientales como la temperatura y humedad relativa. Estos factores pueden haber influido en los resultados del estudio y deben considerarse con el objetivo de mejorar la precisión y la confiabilidad de futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

IX. CONCLUSIONES

- El ciclo de liofilización promedio de las moras tuvo una duración aproximada de 11 horas, equivalente a 654 minutos con un contenido de humedad final de $1.85\% \pm 0.001\%$, inferior al 10%. Como resultado se obtuvo un $98.147 \pm 0.010\%$ de efectividad, un rendimiento de $12.683 \pm 0.345\%$, una productividad de 0.096 ± 0.004 kg/h y una eficiencia de $2.189 \pm 0.008\%$.
- El tratamiento de secado duró aproximadamente 7 horas (420 min), las moras prensadas alcanzaron un contenido de humedad de $9.88 \pm 0.01\%$, inferior al 10%. Como resultado se obtuvo un $90.493 \pm 0.172\%$ de efectividad, un rendimiento de $18.005 \pm 0.077\%$, una productividad de 2.123 ± 0.014 kg/h y una eficiencia de $1.471 \pm 0.002\%$.
- El tratamiento de liofilización demostró ser más efectiva en la conservación de los compuestos bioactivos, ya que logró retener un contenido de 98.607 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido por cada 100 mL por la disminución del pH generando un producto con mayor antioxidantes. A diferencia del tratamiento de secado ya que al aumentar el pH y la temperatura obtuvo un contenido final de antocianinas de 41.998 ± 0.01 mg de cianidina-3 glucosido por cada 100 mL.

X. RECOMENDACIONES

- Dadas las ventajas del tratamiento de liofilización desde la conservación de los compuestos bioactivos, se recomienda realizar un estudio para realizar un escalamiento del tratamiento y determinar qué parámetros debe tener el tratamiento para reducir costos y tiempo de producción sin comprometer la calidad del producto final de mora.
- Se recomienda realizar un análisis de cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC, por sus siglas en inglés) para la cuantificación de antocianinas en los productos posteriores de la liofilización y secado para evaluar el método de manera más precisa, utilizando estándares y columnas adecuadas para el método.
- Considerar la adición de medidas de conservación, como el envasado al vacío, para prolongar aún más la vida útil de los productos de mora obtenidos mediante liofilización y secado.
- Realizar estudios adicionales sobre otros compuestos bioactivos presentes en las moras y su comportamiento durante los tratamientos de liofilización y secado para una comprensión más completa de su impacto en la calidad del producto final.
- Se recomienda realizar un modelo cinético de la degradación de antocianinas para establecer el tiempo máximo en el cual los productos pueden ser consumidos sin experimentar una pérdida significativa de sus propiedades antioxidantes. La implementación de un modelo cinético proporcionaría información detallada sobre la estabilidad de las antocianinas durante el almacenamiento y la vida útil de los productos de mora.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M; Reza, M y Gerardo, R. 2011. «Propiedades funcionales de las antocianinas». México: Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud.
- Azuola, R; y Vargas, P. 2007. *Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA)*. Costa Rica: Tecnología en Marcha .
- Barbosa, G. 1997. *Food Engineering Laboratory Manual*. Estados Unidos: Technomic Publishing Company, Inc. .
- Barley, J. 2009. *Basic Principles of Freeze Drying*. Estados Unidos: SP Scientific.
- Bartoszek, A; Bekierska, A y Bell, J. 2006. *Managing innovations in biotechnology*. European Projects Semester 2006 .
- Cabrera, A. 2004. *El efecto de la temperatura de operación sobre el tratamiento de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas*. Obtenido de Colección de Tesis Digitales. Universidad de las Américas Puebla: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/
- Castañeda, I. 2010. *Inducción de antocianinas y capacidad antioxidante por oligogalacturónidos en uvas de mesa cv. "Flame Seedless"*. Sonora: Centro de investigación en alimentación y desarrollo, A. C. .
- Coronado, M; Vega, S; R, G; Vázquez, M; y C, R. 2015. *Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco, México.
- De la Rosa, X; Hernández, J; Morales, J; Quiroz, J; y García, I. 2022. *Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas*. Bolivia: Revista Boliviana de Química.
- Ellab Validation Solutions. 2018. *The Freeze Drying Theory and Process Things to Consider*. Obtenido de https://www.ellab.com/wp-content/uploads/2020/08/the-freeze-drying-theory-and-process_ellab-whitepaper.pdf
- Enaru, B; Dretcanu, G; y Daria, T. 2021. *Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation*. Suecia: National Library of Medicine.
- Escobar, C. 2013. *Rendimiento y calidad de dos variedades de mora*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar.
- Forbes, P; Mangas, E; y Pagano, N. 2009. *Diseño y Evaluación de Proyectos Agroindustriales*. Argentina: Universidad Nacional de La Pampa. Facultad de Agronomía.

- Garriazo, C; y Ingaruca, G. 2019. *Determinación de la actividad antioxidante y citotóxica del extracto hidroalcohólico del fruto de Vaccinium corymbosum (Arándano) proveniente de Cañete, Lima*. Perú: Universidad Interamericana. Facultad de ciencias de la salud.
- Garzón, G. 2008. *Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: Revisión*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- González, R. 2016. *Digestión de alimentos: Tendencias en los modelos de digestión in vitro*. España: Revista Doctorado UMH.
- Kaume, L; Howard, L; y Devareddy, L. 2011. *The Blackberry Fruit: A Review on Its Composition and Chemistry, Metabolism and Bioavailability, and Health Benefits*. Estados Unidos: Journal of Agricultural and Food Chemistry.
- Léon, C. d. 2020. *Cultivo de la mora en Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social . 2010. *Política Nacional Contra el Cáncer. (Plan Nacional 2010-2015)*. Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social .
- Molnar, A; Lakat, T; Hosszu, A; Szebeni, B; y Balogh, A. 2021. *Lyophilization and homogenization of biological samples improves reproducibility and reduces standard deviation in molecular biology techniques*. Hungary: Springer.
- Nava, E; Michelena, G; y Iliana, A. 2015. *Microencapsulación de compuestos bioactivos*. México: Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- NTC4106. 1997. *Norma Técnica Colombiana NTC4106*. Colombia, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Orellana, A. 2014. *Catálogo de frutales nativos de Guatemala*. Guatemala: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
- Parzanese, T. 2016. *Liofilización de alimentos*. Obtenido de Secretaría de agricultura, ganadería y pesa. Ministerio de Economía de Argentina: <https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=209>
- Pino, O; Jáuregui, U; y Quiñones, I. 1997. *La planta piloto y el escalado de tratamiento de obtención de principios activos para medicamentos por síntesis química*. Cuba: Centro de Química Farmacéutica .
- Prensa Libre. 2018. *El Alzheimer, una enfermedad que afecta a todos*. Obtenido de Prensa Libre: <https://www.prensalibre.com/c-studio/el-alzheimer-una-enfermedad-que-afecta-a-todos/>

- Revista de la Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura de Chile. 2017.«Ingredientes Funcionales, una nueva industria para Chile». Chile: Revista de la Fundación para la Innovación Agraria del Ministerio de Agricultura de Chile.
- Sánchez, V; y Méndez, N. 2013. *Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad*. México: Departamento de Investigación Biomédica, Fundación Clínica Médica Sur. .
- Suarez, D; y Morales, Y. 2018. *Principios básicos de la cromatografía líquida de alto rendimiento para la separación y análisis de mezclas*. Colombia: Grupo de investigación Tratamientos de Separación no Convencionales (GPS).
- Universidad abierta y a distancia de México. 2023. *Operaciones unitarias II*. Obtenido de https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE1/BI/06/BOU2/unidad_02/descargables/BOU2_U2_Contenido.pdf
- Vásquez, S; Bejarano, G; y Rodriguez, R. 2012. *Funcionalidad de distintas variedades de arándanos*. España: Grupo de Pared Celular y Componentes Bioactivos de Alimentos.
- Treybal, R. 1980. *Operaciones de Transferencia de Masa*. Estados Unidos: McGraw-Hill.

XII. ANEXOS

A. DATOS DE PLACA

Para este trabajo se emplearon los siguientes equipos, con sus especificaciones, los cuales se encuentran ubicados dentro de las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.

Cuadro 11. Especificaciones de la balanza analítica

Parámetro	Especificación
Marca	OHAUS,
Modelo	PA114
Precisión	± 0.00005 g
Capacidad máxima	110 g
Requerimientos de electricidad	8-14.5 V 50/60 hz
Dimensiones (L x W x H)	19.6 x 28.7 x 32 cm



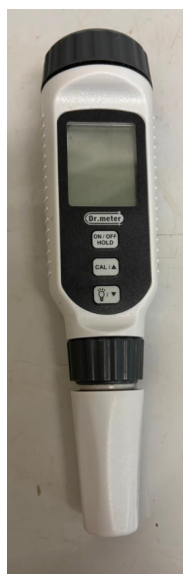
Se trabajó con la balanza analítica que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para pesar las muestras antes y después de los tratamientos de liofilización y secado.

Cuadro 12. Especificaciones de la balanza

Parámetro	Especificación
Marca	OHAUS
Modelo	V31XH2
Precisión	± 0.1 g
Capacidad máxima	500 g
Requerimientos de electricidad	100-120 V
Dimensiones (L x W x H)	8.5 x 7.3 x 3 in

Cuadro 14. Especificaciones del potenciómetro digital

- Parámetro	Especificación
Marca	Dr. meter
Modelo	PH838
Precisión	± 0.05 pH
Rango de medición	0-14 pH



Se trabajó con el potenciómetro digital que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para la titulación potenciométrica de las muestras antes y después de los tratamientos de liofilización y secado.

Cuadro 15. Especificaciones del refractómetro portátil

- Parámetro	Especificación
Marca	Milwaukee
Modelo	MA87 1
Precisión	$\pm 0.1\%$ Brix
Rango	0 - 85% Brix
Tipo de batería	1 x 9V AA



Se trabajó con el refractómetro portátil que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para determinación del índice de maduración de las muestras antes y después de los tratamientos de liofilización y secado.

Cuadro 16. Especificaciones del vernier digital

- Parámetro	Especificación
Marca	TRUPER
Capacidad mínima/máxima	(0.0005" / 0.01 mm) / (6" / 150 mm)
Precisión	± 0.002" / 0.05 mm
Dimensiones (largo x ancho)	23.7 x 1.6 cm



Se trabajó con el refractómetro portátil que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para determinación del diámetro ecuatorial y longitud de las moras. Además, del grosor y área que ocupaban las moras después de ser prensadas.

Cuadro 17. Especificaciones del amperímetro

- Parámetro	Especificación
Marca	Fluke
Modelo	902
Precisión	$\pm 1\%$
Rango de voltaje	0 – 600 V



Se trabajó con el amperímetro que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para determinar la energía que utiliza el liofilizador en cada una de sus etapas.

Cuadro 18. Especificaciones del espectrofotómetro UV-VIS

- Parámetro	Especificación
Marca	Shimadzu,
Modelo	UV-mini 1240
Precisión de longitud de onda	$\pm 1 \text{ nm}$
Rango de longitud de onda	190 – 1100 nm
Dimensiones (L x W x H)	41.6 x 27.4 x 37.9 cm
Requerimientos de electricidad	100 – 120 VAC, 50/60 Hz



Se trabajó con el espectrofotómetro UV-VIS que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para realizar la cuantificación de las antocianinas totales que estaban presentes en las muestras antes y después de los tratamientos de secado y liofilización.

Cuadro 19. Especificaciones de la centrifuga modelo 5804 R

- Parámetro	Especificación
Marca	eppendorf
Modelo	5804 R
RCF máximo	20,913 x g
Velocidad	200 – 14,000 rpm
Requerimientos de electricidad	120 V, 50-60 Hz
Dimensiones (L x W x H)	63.4 x 55.0 x 34.2



Se trabajó con la centrifuga que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para eliminar los residuos de moras.

Cuadro 20. Especificaciones de la centrifuga modelo 228

- Parámetro	Especificación
Marca	Fisher Scientific
Modelo	228
Velocidad máxima	3400 rpm
Capacidad máxima	90 mL (6 x 15 mL)
Requerimientos de electricidad	115 V



Se trabajó con la centrifuga que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para eliminar los residuos de moras.

Cuadro 21. Especificaciones del hidrómetro

- Parámetro	Especificación
Marca	EXTECH
Modelo	RH101
Precisión	± 0.01%
Rango de humedad	10-95%
Dimensiones	150 x 75 x 40 mm



Se trabajó con el hidrómetro que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para determinar la humedad del ambiente y la del interior del secador de bandejas antes y después del tratamiento.

Cuadro 22. Especificaciones del anemómetro

- Parámetro	Especificación
Marca	General
Modelo	DAF800
Precisión	± 3%
Rango de medición de la velocidad del aire	0.4-30 m/s
Dimensiones	6.15 x 2.36 x 1.29 in



Se trabajó con el anemómetro que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para determinar el flujo del aire del secador de bandejas en la entrada y salida del equipo.

Cuadro 23. Especificaciones del liofilizador

- Parámetro	Especificación
Marca	Harvest Right
Modelo	HRFDXLBK
Motor	½ HP
Peso	33 lb
Requerimientos de electricidad	115 V, 60 Hz



Se trabajó con el liofilizador que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para realizar la liofilización de moras.

Cuadro 24. Secador de bandejas

- Parámetro	Especificación
Marca	Corbett Industris Inc.
Modelo	Ec- 404-6
Voltaje	220 V
Ventilador de escape	225 CFM
Motor	1.0 HP



Se trabajó con el liofilizador que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala para realizar la liofilización de moras.

B. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1. Determinación de la masa de cloruro de potasio que se debe colocar para obtener una solución de 300 mL con pH 1 y 0.025 M.

$$\frac{0.025 \text{ mol } KCl}{1000 \text{ mL disolución}} * \frac{74.5513 \text{ g } KCl}{1 \text{ mol } KCl} = \frac{1.86 \text{ g } KCl}{1000 \text{ mL disolución}}$$
$$300 \text{ mL} * \frac{1.86 \text{ g } KCl}{1000 \text{ mL disolución}} = 0.559 \text{ g } KCl$$

Se realizó el cálculo para determinar las cantidades de reactivo que se debía colocar para realizar el buffer que se utilizaría en la cuantificación de las antocianinas.

Cálculo 2. Determinación de las cantidades que se debe colocar de carbonato de sodio y ácido acético para obtener 300 mL de un buffer de acetato de sodio con pH 4.5 y 0.4 M.

$$\frac{0.4 \text{ mol } Na_2CO_3}{1000 \text{ mL disolución}} * \frac{105.988 \text{ g } Na_2CO_3}{1 \text{ mol } Na_2CO_3} = \frac{42.40 \text{ g } Na_2CO_3}{1000 \text{ mL disolución}}$$

$$300 \text{ mL} * \frac{42.40 \text{ g } Na_2CO_3}{1000 \text{ mL disolución}} = 12.72 \text{ g } Na_2CO_3$$

$$\frac{0.4 \text{ mol } C_4H_2O_2}{1000 \text{ mL disolución}} * \frac{60.052 \text{ g } C_4H_2O_2}{1 \text{ mol } C_4H_2O_2} = \frac{24.02 \text{ g } C_4H_2O_2}{1000 \text{ mL disolución}}$$

$$300 \text{ mL} * \frac{24.02 \text{ g } C_4H_2O_2}{1000 \text{ mL disolución}} = 7.206 \text{ g } Na_2CO_3$$

$$7.206 \text{ g } Na_2CO_3 * \frac{1000 \text{ mL } C_4H_2O_2}{1.05 \text{ g } C_4H_2O_2} = 6.86 \text{ mL } C_4H_2O_2$$

$$pH = pK_a + \log\left(\frac{[A^-]}{[HA^+]}\right)$$

$$10^{pH-pK_a} = \left(\frac{[A^-]}{[HA^+]}\right)$$

$$10^{4.5-4.8} = \left(\frac{[A^-]}{[HA^+]}\right)$$

$$\left(\frac{[A^-]}{[HA^+]}\right) = \frac{0.50}{1}$$

Se realizó el cálculo para determinar las cantidades de reactivo que se debía colocar para realizar el buffer que se utilizaría en la cuantificación de las antocianinas. Utilizando como base la ecuación de Henderson-Hasselbach.

Cálculo 3. Humedad

$$\%H_{bh} = \frac{m_{agua}}{m_T} * 100 = \frac{m_T - m_s}{m_T} * 100$$

Este cálculo se utilizó para determinar la humedad de los sólidos secos en la muestra, con respecto a la pérdida de agua que hubo en los diferentes tratamientos. Se repitió para cada corrida de los dos tratamientos para evaluar el cambio de humedad al inicio y al final del tratamiento.

Cálculo 4. Área total de la mora prensada

$$A = \frac{\pi D^2}{4} + 2\pi h \left(\frac{D}{2}\right) + 2\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = 0.00484 \text{ m}^2$$

Este cálculo se utilizó para determinar el área total de la mora utilizando el grosor y diámetro que se obtuvo después de ser prensada. Esto se utilizó para encontrar la velocidad de secado de la muestra. Se repitió el cálculo para cada corrida del tratamiento de secado.

Cálculo 5. Velocidad de secado.

$$N = \frac{-Ss \, dx}{A \, d\theta} = 0.00648 \frac{\text{kg}}{\text{min} * \text{m}^2}$$

Este cálculo se utilizó para determinar la velocidad de secado, utilizando la variación masa de la muestra con respecto al tiempo, área y humedad inicial y final. Utilizando estos datos con los de humedad de base seca, se puede observar el cambio que tiene la muestra durante todo el tratamiento de secado.

Cálculo 6. Entalpía del aire seco

$$H_G = (1005 + 1884Y')t_G + 2502300Y' = 709.29 \frac{J}{\text{kg aire seco}}$$

Este cálculo se utilizó para determinar la entalpía del aire seco, utilizando la temperatura del gas junto con la humedad, tanto al inicio como al final. Este dato se utilizó para realizar el balance de masa y energía del secador.

Cálculo 7. Entalpía del sólido seco

$$H_s = C_B(t_s - t_0) + xC_{A,L}(t_s - t_0) + \Delta H_A = 815.33 \frac{J}{\text{kg aire seco}}$$

Este cálculo se utilizó para determinar la entalpía del sólido seco, utilizando la temperatura del sólido seco junto con la humedad, tanto al inicio como al final. Asumiendo que el sólido seco entró a una temperatura de ambiente y salió con la temperatura colocada en el secador. Este dato se utilizó para realizar el balance de masa y energía del secador.

Cálculo 8. Calor del tratamiento de secado

$$Q = mC_p\Delta T = 4185.39 \text{ J, durante 7 horas del proceso}$$

Este cálculo se utilizó para determinar la energía que se produce durante el tratamiento de secado. La energía que se obtuvo de este cálculo es la que se utilizó durante las 7 horas del tratamiento.

C. DATOS ORIGINALES

Cuadro 25. Mediciones de pH para la caracterización del lote FCEM

Medición	pH (± 0.01 pH)
1	3.48
2	3.47
3	3.41
Promedio (pH)	3.45
Desviación estándar (\pm pH)	0.0379

Cuadro 26. Determinación de los sólidos solubles presentes el lote FCEM

Medición	Grados Brix ($\pm 0.02\%$)	Temperatura ambiente ($\pm 0.3^\circ$ C)
1	7.9	24.1
2	7.9	24.2
3	8	24.1
Promedio (%)	7.93	24.13
Desviación estándar (\pm %)	0.0577	0.0577

Cuadro 27. Diámetro ecuatorial y longitud de las moras en el lote FCEM

Número de mora	Diámetro (± 0.05 mm)	Longitud (± 0.05 mm)
1	17.53	30.35
2	18.68	26.71
3	16.06	21.76
4	18.05	20.08
5	23.54	26.16
6	17.03	19.33

Número de mora	Diámetro (± 0.05 mm)	Longitud (± 0.05 mm)
7	17.98	22.99
8	19.34	25.44
9	17.4	27.54
10	17.65	18.09
11	19.47	25.03
12	18.48	23.39
13	17.58	19.13
14	16.13	26.43
15	17.23	24.6
Promedio (mm)	18.14	23.80
Desviación estándar (\pm mm)	1.79	3.54

Se utilizaron los frutos de mora enteros para realizar las mediciones, tomando en cuenta una muestra significativa de la población con un 95% de confianza.

Cuadro 28. Densidad de los frutos de mora enteros.

Medición	Peso de los frutos de mora (± 0.0001 g)	Volumen (± 0.25 mL)	Densidad de los frutos de mora (g/mL)
1	15.4381	14	1.103
2	15.3927	15	1.026
3	15.4829	15	1.032
Promedio (g)	15.44	14.67	1.054
Desviación estándar (\pm g)	0.05	0.58	0.043

Utilizando se pesaron alrededor de 15 g de mora, y utilizando una probeta con 50 mL de agua, se midió el volumen de diferencia que ocupaba los frutos para encontrar la densidad de los frutos estimada.

Cuadro 29. Densidad del jugo de mora

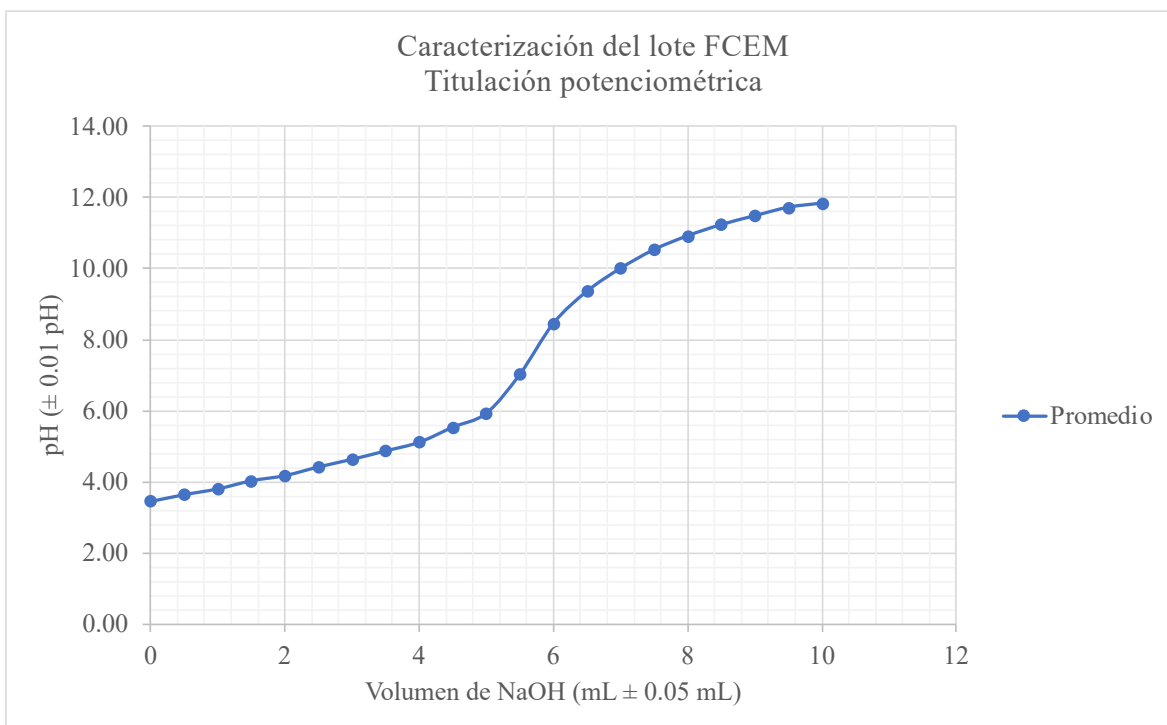
Medición	Peso del jugo de mora (± 0.0001g)	Volumen del jugo de mora (± 0.25 mL)	Densidad del jugo de mora (g/mL)
1	5.3182	5	1.064
2	5.3349	5	1.067
3	5.1283	5	1.026
Promedio (g)	5.26	5.00	1.052
Desviación estándar (± g)	0.11	-	0.023

Se trituraron las moras y se centrifugaron para retirar las semillas y residuos de las drupeolas. Se colocó 5 mL del jugo en una probeta de 25 mL y se pesó.

Cuadro 30. Titulación potenciométrica del jugo de mora para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra

Volumen de NaOH (± 0.05 mL)	Primera titulación (± 0.01 pH)	Segunda titulación (± 0.01 pH)	Tercera titulación (± 0.01 pH)	Promedio (pH)	Desviación estándar (pH)
0	3.48	3.47	3.41	3.45	0.04
0.5	3.61	3.65	3.67	3.64	0.03
1	3.78	3.78	3.86	3.81	0.05
1.5	4.03	4.04	4.03	4.03	0.01
2	4.18	4.14	4.22	4.18	0.04
2.5	4.42	4.39	4.46	4.42	0.04
3	4.68	4.54	4.69	4.64	0.08
3.5	4.92	4.83	4.87	4.87	0.05
4	5.19	5.07	5.09	5.12	0.06
4.5	5.63	5.55	5.44	5.54	0.10
5	6.21	5.72	5.87	5.93	0.25
5.5	8.16	6.36	6.57	7.03	0.98
6	9.27	8.03	8.08	8.46	0.70
6.5	9.94	9.19	8.95	9.36	0.52
7	10.59	9.83	9.59	10.00	0.52
7.5	11.13	10.46	10	10.53	0.57
8	11.49	10.84	10.42	10.92	0.54
8.5	11.67	11.21	10.81	11.23	0.43
9	11.82	11.5	11.12	11.48	0.35
9.5	11.97	11.76	11.42	11.72	0.28
10	12.09	11.86	11.55	11.83	0.27

Figura 25. Gráfica de la titulación potenciométrica promedio



Cuadro 31. Concentraciones del ácido orgánicos predominante en la mora sin ningún tratamiento

Medición	Volumen de NaOH (± 0.05 mL)	Ácido Acético (%)
1	5.52	1.324
2	6.07	1.458
3	6.13	1.470
Promedio	5.9	1.417
Desviación estándar	0.34	0.08

Cuadro 32. Mediciones de pH para la caracterización del lote FCEM después del tratamiento de liofilización

Medición	pH (± 0.01 pH)
1	3.54
2	3.53
3	3.5
Promedio (pH)	3.52
Desviación estándar (± pH)	0.0208

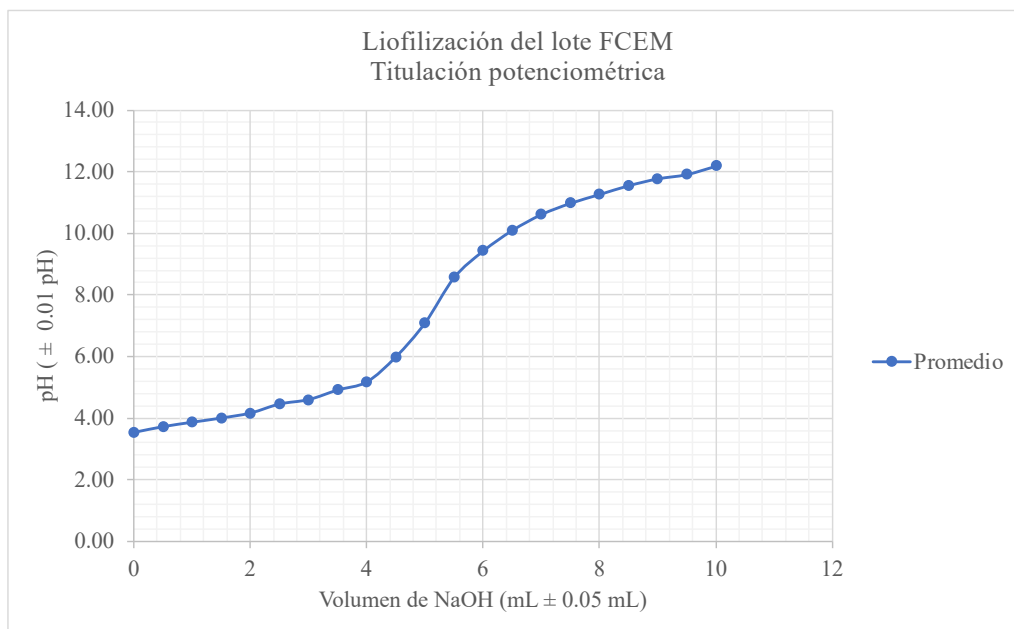
Cuadro 33. Densidad de la mora posterior al tratamiento de liofilización

Medición	Peso del jugo de mora (± 0.0001g)	Volumen del jugo de mora (± 0.25 mL)	Densidad del jugo de mora (g/mL)
1	5.4124	5	1.082
2	5.3912	5	1.078
3	5.3475	5	1.070
Promedio (g)	5.38	5.00	1.077
Desviación estándar (± g)	0.03	-	0.007

Cuadro 34. Titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de liofilización

Volumen de NaOH (± 0.05 mL)	Primera titulación (± 0.01 pH)	Segunda titulación (± 0.01 pH)	Tercera titulación (± 0.01 pH)	Promedio (pH)	Desviación estándar (± pH)
0	3.54	3.53	3.5	3.52	0.02
0.5	3.65	3.72	3.76	3.71	0.06
1	3.75	3.88	3.93	3.85	0.09
1.5	3.81	4.06	4.1	3.99	0.16
2	4.03	4.17	4.26	4.15	0.12
2.5	4.31	4.49	4.54	4.45	0.12
3	4.52	4.55	4.7	4.59	0.10
3.5	4.94	4.85	4.92	4.90	0.05
4	5.26	5.08	5.16	5.17	0.09
4.5	6.28	5.76	5.91	5.98	0.27
5	8.24	6.43	6.58	7.08	1.00
5.5	9.37	8.13	8.17	8.56	0.70
6	10.01	9.28	8.98	9.42	0.53
6.5	10.69	9.91	9.68	10.09	0.53
7	11.23	10.5	10.1	10.61	0.57
7.5	11.58	10.91	10.44	10.98	0.57
8	11.71	11.22	10.86	11.26	0.43
8.5	11.86	11.58	11.21	11.55	0.33
9	12	11.83	11.49	11.77	0.26
9.5	12.18	11.92	11.64	11.91	0.27
10	12.22	12.11	12.22	12.18	0.06

Figura 26. Gráfica de la titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de liofilización



Cuadro 35. Concentraciones de los ácidos orgánicos predominantes en la mora después del tratamiento de liofilización

Medición	Volumen de NaOH (± 0.05 mL)	Ácido Acético (%)	Ácido Cítrico (%)	Ácido Málico (%)
1	4.99	1.198	1.277	1.337
2	5.53	1.327	1.416	1.482
3	5.58	1.339	1.429	1.496
Promedio	7.08	1.288	1.374	1.438
Desviación estándar	0.33	0.08	0.08	0.09

Cuadro 36. Mediciones de pH para la caracterización del lote FCEM después del tratamiento de secado

Medición	pH (± 0.01 pH)
1	3.62
2	3.62
3	3.6
Promedio (pH)	3.61
Desviación estándar (± pH)	0.0115

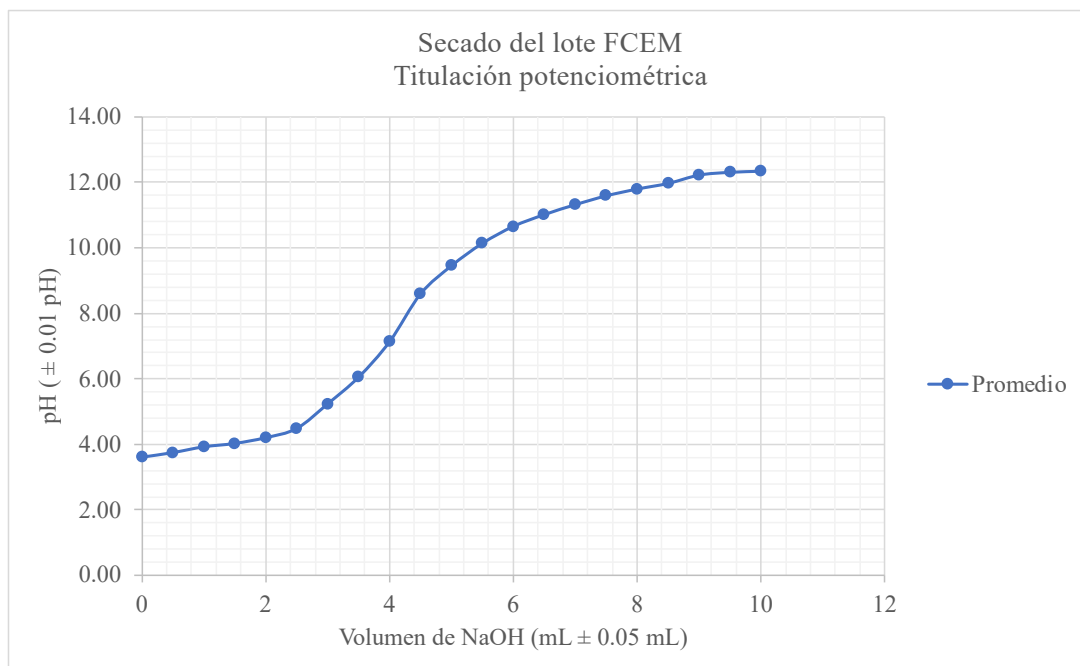
Cuadro 37. Densidad de la mora posterior al procedimiento de secado.

Medición	Peso del jugo de mora ($\pm 0.0001\text{g}$)	Volumen del jugo de mora ($\pm 0.25\text{ mL}$)	Densidad del jugo de mora (g/mL)
1	5.5024	5	1.100
2	5.4812	5	1.096
3	5.3775	5	1.076
Promedio (g)	5.45	5.00	1.091
Desviación estándar ($\pm\text{ g}$)	0.0668	-	0.013

Cuadro 38. Titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de secado.

Volumen de NaOH ($\pm 0.05\text{ mL}$)	Primera titulación ($\pm 0.01\text{ pH}$)	Segunda titulación ($\pm 0.01\text{ pH}$)	Tercera titulación ($\pm 0.01\text{ pH}$)	Promedio (pH)	Desviación estándar ($\pm\text{ pH}$)
0	3.62	3.62	3.6	3.61	0.01
0.5	3.71	3.73	3.82	3.75	0.06
1	3.84	3.94	4.01	3.93	0.09
1.5	3.87	4.08	4.15	4.03	0.15
2	4.07	4.26	4.3	4.21	0.12
2.5	4.33	4.54	4.6	4.49	0.14
3	5.35	5.18	5.2	5.24	0.09
3.5	6.37	5.83	5.98	6.06	0.28
4	8.34	6.44	6.65	7.14	1.04
4.5	9.46	8.17	8.18	8.60	0.74
5	10.03	9.31	9.05	9.46	0.51
5.5	10.75	9.97	9.73	10.15	0.53
6	11.25	10.57	10.18	10.67	0.54
6.5	11.66	10.94	10.48	11.03	0.59
7	11.73	11.32	10.94	11.33	0.40
7.5	11.92	11.6	11.28	11.60	0.32
8	12.02	11.9	11.5	11.81	0.27
8.5	12.19	12.02	11.73	11.98	0.23
9	12.24	12.15	12.31	12.23	0.08
9.5	12.35	12.29	12.31	12.32	0.03
10	12.37	12.25	12.43	12.35	0.09

Figura 27. Gráfica de la titulación potenciométrica del polvo de mora posterior a la liofilización para determinar la concentración de ácidos orgánicos presentes en la muestra posterior al tratamiento de secado.

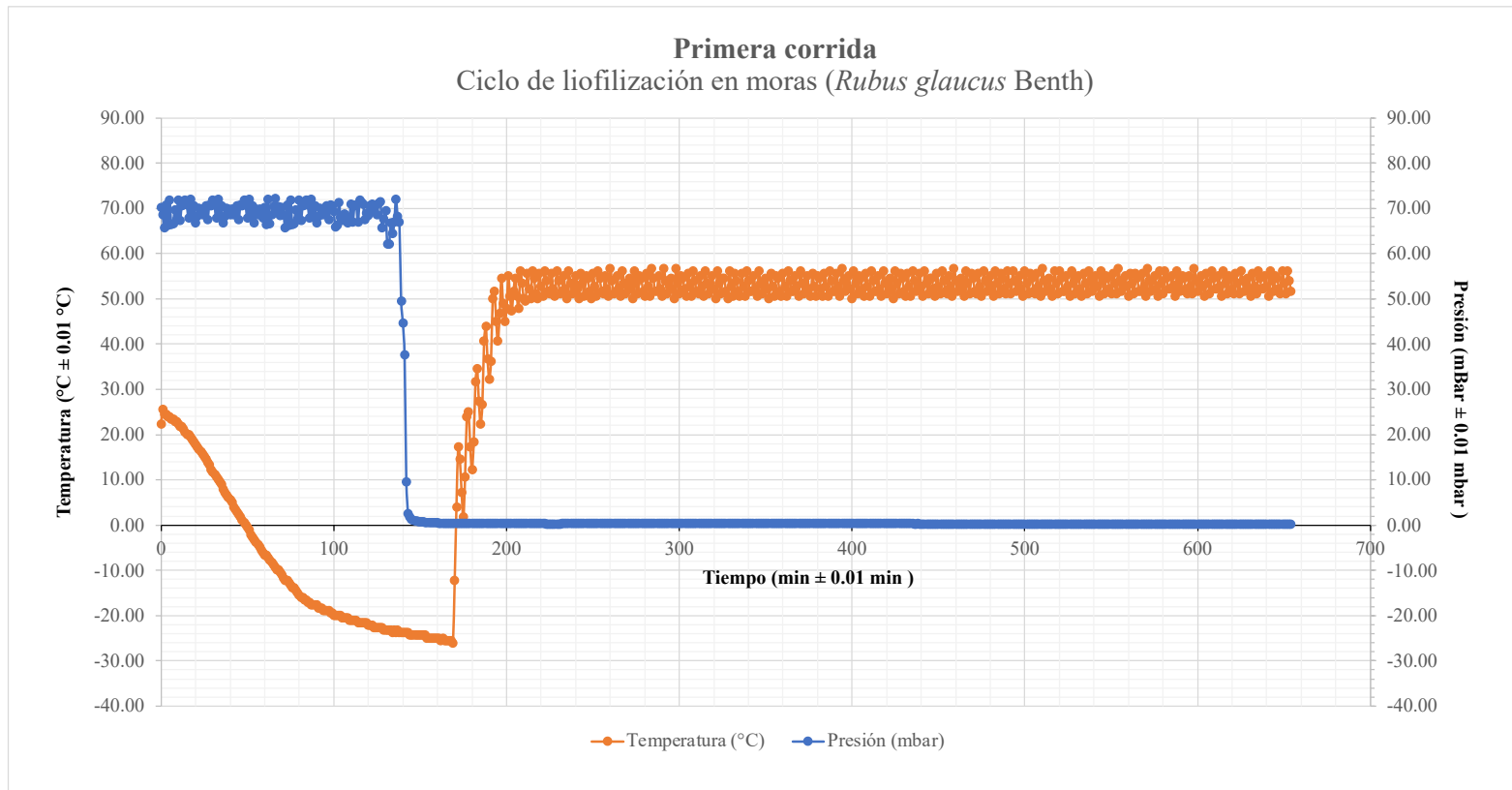


Cuadro 39. Concentraciones de los ácidos orgánicos predominantes en la mora después del tratamiento de secado

Medición	Volumen de NaOH (± 0.05 mL)	Ácido Acético (%)	Ácido Cítrico (%)	Ácido Málico (%)
1	3.96	0.951	1.015	1.062
2	4.51	1.083	1.155	1.210
3	4.57	1.097	1.170	1.224
Promedio	7.07	1.044	1.113	1.165
Desviación estándar	0.33	0.08	0.09	0.09

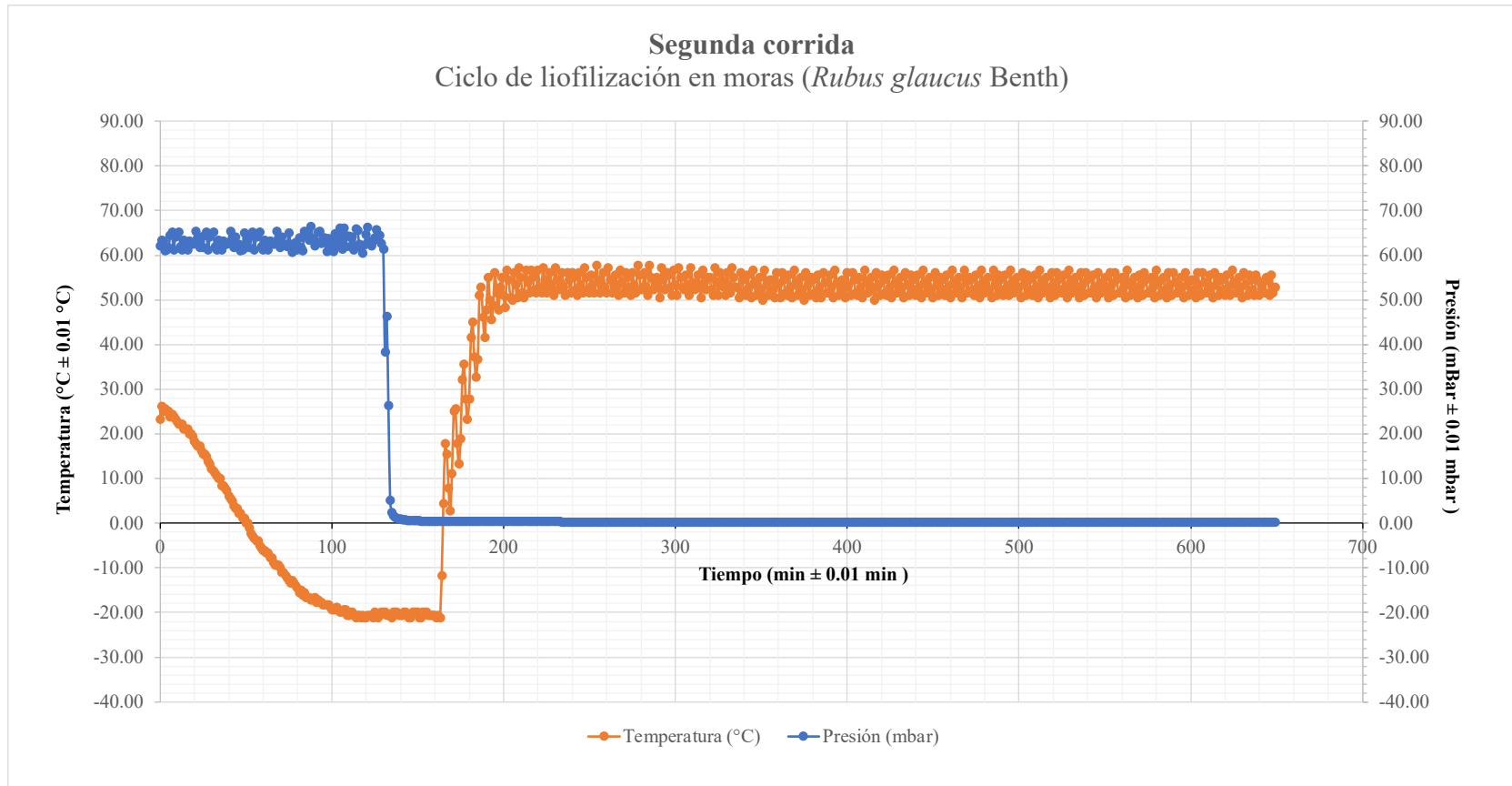
D. DATOS CALCULADOS

Figura 28. Ciclo de liofilización durante la primera corrida.



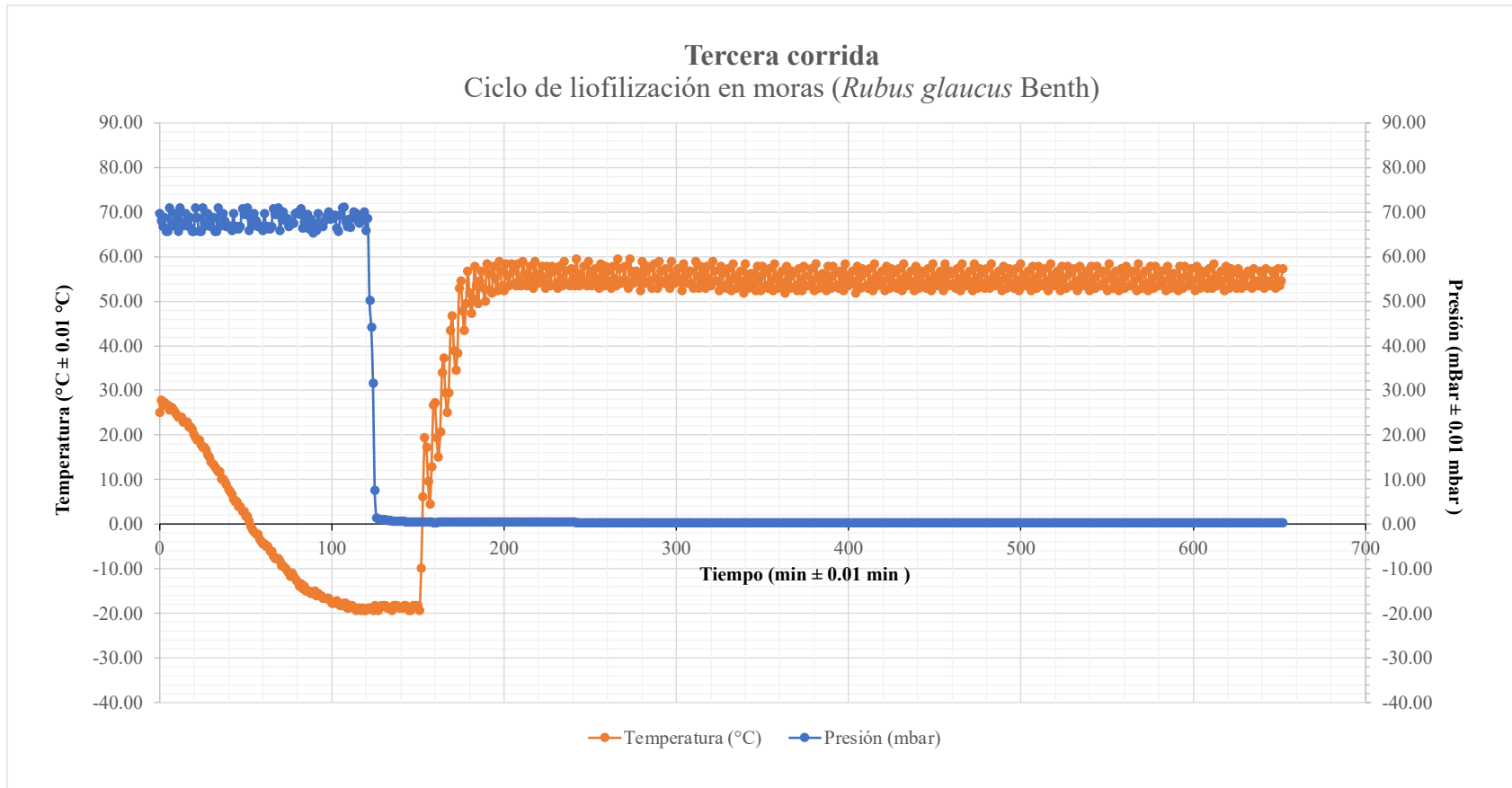
En la gráfica se puede observar la temperatura (°C) y la presión (mbar) del equipo de liofilización en función del tiempo. La etapa de congelación se realiza hasta que la presión alcance valores cercanos a 0 mbar. A partir de este punto, la temperatura comienza a aumentar para realizar la etapa de secado primario.

Figura 29. Ciclo de liofilización durante la segunda corrida.



En la gráfica se puede observar la temperatura (°C) y la presión (mbar) del equipo de liofilización en función del tiempo. La etapa de congelación se realiza hasta que la presión alcance valores cercanos. A partir de este punto, la temperatura comienza a aumentar para realizar la etapa de secado primario.

Figura 30. Ciclo de liofilización durante la tercera corrida.



En la gráfica se puede observar la temperatura (°C) y la presión (mbar) del equipo de liofilización en función del tiempo. La etapa de congelación se realiza hasta que la presión alcance valores cercanos a cero. A partir de este punto, la temperatura comienza a aumentar para realizar la etapa de secado primario.

Cuadro 40. Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (Rubus glaucus Benth) obtenida durante la primera corrida del ciclo de liofilización

Número de mora	Peso Inicial ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso final ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso del agua ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Humedad (kg agua/kg SS)
1	0.004195	0.0004813	0.003713	0.00259 \pm 0.00047
2	0.006768	0.0008324	0.005936	0.00569 \pm 0.00031
3	0.005058	0.0005547	0.004503	0.00772 \pm 0.00040
4	0.007848	0.0009890	0.006859	0.00876 \pm 0.00028
5	0.006073	0.0007245	0.005349	0.00196 \pm 0.00034
6	0.006214	0.0007541	0.005460	0.00404 \pm 0.00034
7	0.005235	0.0007212	0.004514	0.02085 \pm 0.00039
8	0.007501	0.0007812	0.006719	0.01336 \pm 0.00029
9	0.004078	0.0004099	0.003668	0.01710 \pm 0.00050
10	0.003552	0.0003595	0.003192	0.01638 \pm 0.00056
11	0.004236	0.0004484	0.003788	0.01161 \pm 0.00048
12	0.004717	0.0006387	0.004078	0.01841 \pm 0.00043
13	0.005456	0.0007773	0.004678	0.02580 \pm 0.00038
14	0.006457	0.0008365	0.005621	0.01237 \pm 0.00033
15	0.004767	0.0007528	0.004014	0.04231 \pm 0.00043

Cuadro 41. Estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (Rubus glaucus Benth) obtenida durante la primera corrida del ciclo de liofilización

**Estadística descriptiva de la Humedad
(kg agua/kg SS)**

Media	0.01393
Error típico	0.00271
Mediana	0.01237
Moda	No disponible
Desviación estándar	0.01049
Varianza de la muestra	0.00011
Curtosis	2.80154
Coefficiente de asimetría	1.41989
Rango	0.04034
Mínimo	0.00196

Máximo	0.04231
Suma	0.20895
Cuenta	15.00000

Se puede observar la estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenida durante la primera corrida del ciclo de liofilización, como se puede observar, a pesar de que la varianza de la muestra es pequeña, no hay se obtuvo moda.

Cuadro 42. Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (Rubus glaucus Benth) obtenida durante la segunda corrida del ciclo de liofilización

Número de mora	Peso Inicial ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso final ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso del agua ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Humedad (kg agua/kg SS)
1	0.005799	0.0008695	0.004930	0.03292 \pm 0.00036
2	0.006411	0.0008377	0.005574	0.01276 \pm 0.00033
3	0.005591	0.0006907	0.004900	0.00550 \pm 0.00037
4	0.005824	0.0007603	0.005064	0.01264 \pm 0.00036
5	0.006622	0.0008662	0.005756	0.01291 \pm 0.00032
6	0.002896	0.0003895	0.002507	0.01670 \pm 0.00067
7	0.006099	0.0007794	0.005320	0.00982 \pm 0.00034
8	0.004591	0.0005312	0.004060	0.00238 \pm 0.00044
9	0.004875	0.0005598	0.004315	0.00324 \pm 0.00041
10	0.005640	0.0006109	0.005029	0.00985 \pm 0.00037
11	0.005642	0.0008007	0.004842	0.02442 \pm 0.00037
12	0.007246	0.0008035	0.006442	0.00722 \pm 0.00030
13	0.010331	0.0011632	0.009168	0.00550 \pm 0.00023
14	0.004650	0.0006653	0.003985	0.02564 \pm 0.00044

Cuadro 43. Estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (Rubus glaucus Benth) obtenida durante la segunda corrida del ciclo de liofilización

***Estadística descriptiva de la Humedad
(kg agua/kg SS)***

Media	0.01296
Error típico	0.00243
Mediana	0.01124
Moda	No disponible

Desviación estándar	0.00909
Varianza de la muestra	0.00008
Curtosis	0.29197
Coefficiente de asimetría	0.99737
Rango	0.03055
Mínimo	0.00238
Máximo	0.03292
Suma	0.18149
Cuenta	14.00000

Se puede observar la estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenida durante la segunda corrida del ciclo de liofilización, como se puede observar, a pesar de que la varianza de la muestra es pequeña, no hay se obtuvo moda.

Cuadro 44. Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (Rubus glaucus Benth) obtenida durante la tercera corrida del ciclo de liofilización

Número de mora	Peso Inicial ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso final ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso del agua ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Humedad (kg agua/kg SS)
1	0.005515	0.0006522	0.004863	0.00092 \pm 0.00037
2	0.004483	0.0005467	0.003937	0.00463 \pm 0.00045
3	0.006925	0.0008793	0.006046	0.00973 \pm 0.00031
4	0.004295	0.0005194	0.003776	0.00361 \pm 0.00046
5	0.006045	0.0007106	0.005335	0.00021 \pm 0.00034
6	0.004788	0.0008142	0.003973	0.05567 \pm 0.00043
7	0.005327	0.0008812	0.004446	0.05050 \pm 0.00039
8	0.006253	0.0008790	0.005374	0.02380 \pm 0.00034
9	0.004976	0.0008722	0.004104	0.06151 \pm 0.00042
10	0.006439	0.0006429	0.005796	0.01780 \pm 0.00033
11	0.006228	0.0006730	0.005555	0.00936 \pm 0.00034
12	0.004194	0.0007963	0.003398	0.07819 \pm 0.00049
13	0.004151	0.0005261	0.003625	0.00951 \pm 0.00048
14	0.004026	0.0004522	0.003574	0.00504 \pm 0.00049
15	0.005985	0.0007193	0.005266	0.00286 \pm 0.00035
16	0.002647	0.0003280	0.002319	0.00664 \pm 0.00073

Cuadro 45. Estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenida durante la tercera corrida del ciclo de liofilización

Estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS)	
Media	0.02125
Error típico	0.00632
Mediana	0.00943
Moda	No disponible
Desviación estándar	0.02529
Varianza de la muestra	0.00064
Curtosis	0.21456
Coefficiente de asimetría	1.26964
Rango	0.07798
Mínimo	0.00021
Máximo	0.07819
Suma	0.33999
Cuenta	16.00000

Se puede observar la estadística descriptiva de la Humedad (kg agua/kg SS) en cada mora (*Rubus glaucus* Benth) obtenida durante la tercera corrida del ciclo de liofilización, como se puede observar, a pesar de que la varianza de la muestra es pequeña, no hay se obtuvo moda.

Cuadro 46. Porcentaje de humedad obtenido antes y después del tratamiento de liofilización durante la primera corrida

Medición	Humedad inicial (% ± 0.01%)	Humedad final (% ± 0.01%)
1	89.36	1.77
2	87.19	1.83
3	88.25	1.96
Promedio (%)	88.27	1.85
Desviación estándar (±%)	1.09	0.10

La humedad se midió utilizando la balanza de humedad OHAUS modelo MB120. Las mediciones se realizaron en triplicado, utilizando 3 moras que fueron sometidas al tratamiento de liofilización. Se puede observar el promedio de la humedad inicial y final junto con su desviación.

Cuadro 47. Porcentaje de humedad obtenido antes y después del tratamiento de liofilización durante la segunda corrida

Medición	Humedad inicial (% ± 0.01%)	Humedad final (% ± 0.01%)
1	89.84	2.39
2	87.23	1.38
3	87.51	1.82
Promedio (%)	88.19	1.86
Desviación estándar (±%)	1.43	0.51

La humedad se midió utilizando la balanza de humedad OHAUS modelo MB120. Las mediciones se realizaron en triplicado, utilizando 3 moras que fueron sometidas al tratamiento de liofilización. Se puede observar el promedio de la humedad inicial y final junto con su desviación.

Cuadro 48. Porcentaje de humedad obtenido antes y después del tratamiento de liofilización durante la tercera corrida

Medición	Humedad inicial (% ± 0.01%)	Humedad final (% ± 0.01%)
1	88.92	1.49
2	85.4	2.73
3	89.64	1.31
Promedio (%)	87.99	1.84
Desviación estándar (±%)	2.27	0.77

La humedad se midió utilizando la balanza de humedad OHAUS modelo MB120. Las mediciones se realizaron en triplicado, utilizando 3 moras que fueron sometidas al tratamiento de liofilización. Se puede observar el promedio de la humedad inicial y final junto con su desviación.

Cuadro 49. Humedad y Velocidad de secado que se obtuvo en el tratamiento de secado en bandejas durante la primera corrida, en relación a su peso inicial y final

Número de mora	Tiempo (min)	Peso inicial ($\pm 1*10^{-6}$ kg)	Peso final ($\pm 1*10^{-6}$ kg)	Humedad (kg agua/kg SS)	Velocidad de secado (kg/min*m²)
1	30	0.00589	0.00564	4.27694 \pm 0.00147	0.00648 \pm 2.27E-04
2	60	0.00672	0.00610	3.16419 \pm 0.00106	0.00606 \pm 1.92E-04
3	90	0.00431	0.00362	2.25215 \pm 0.00117	0.00286 \pm 1.15E-04
4	120	0.00589	0.00448	1.57995 \pm 0.00073	0.00295 \pm 9.89E-05
5	150	0.00873	0.00581	1.07315 \pm 0.00046	0.00323 \pm 1.03E-04
6	180	0.00381	0.00213	0.69937 \pm 0.00073	0.00064 \pm 2.36E-05
7	210	0.00707	0.00349	0.52971 \pm 0.00041	0.00083 \pm 2.80E-05
8	240	0.00744	0.00327	0.41167 \pm 0.00037	0.00080 \pm 2.45E-05
9	270	0.00388	0.00148	0.30276 \pm 0.00059	0.00009 \pm 4.42E-06
10	300	0.00397	0.00145	0.27975 \pm 0.00057	0.00021 \pm 7.70E-06
11	330	0.00941	0.00313	0.22601 \pm 0.00028	0.00050 \pm 1.53E-05
12	360	0.00573	0.00169	0.17265 \pm 0.00039	0.00022 \pm 8.05E-06
13	390	0.00435	0.00013	0.13368 \pm 0.00054	0.00011 \pm 4.86E-06
14	420	0.00555	0.00028	0.10782 \pm 0.00042	0.00059 \pm 2.37E-05

Cuadro 50. Humedad y Velocidad de secado que se obtuvo en el tratamiento de secado en bandejas durante la segunda corrida, en relación a su peso inicial y final

Número de mora	Tiempo (min)	Peso inicial ($\pm 1*10^{-6}$ kg)	Peso final ($\pm 1*10^{-6}$ kg)	Humedad (kg agua/Kg SS)	Velocidad de secado (kg/min*m²)
1	30	0.00583	0.00555	4.21668 \pm 0.00074	0.00624 \pm 2.16E-04
2	60	0.00687	0.00616	3.06835 \pm 0.00059	0.00615 \pm 1.90E-04
3	90	0.00419	0.00344	2.10616 \pm 0.00053	0.00244 \pm 9.59E-05
4	120	0.00580	0.00429	1.48192 \pm 0.00044	0.00228 \pm 7.56E-05
5	150	0.00864	0.00568	1.05966 \pm 0.00036	0.00250 \pm 7.84E-05
6	180	0.00365	0.00209	0.74944 \pm 0.00064	0.00084 \pm 3.03E-05
7	210	0.00720	0.00344	0.50254 \pm 0.00042	0.00086 \pm 2.80E-05
8	240	0.00762	0.00316	0.37458 \pm 0.00043	0.00038 \pm 1.28E-05
9	270	0.00392	0.00151	0.32096 \pm 0.00083	0.00023 \pm 9.09E-06
10	300	0.00388	0.00135	0.25886 \pm 0.00092	0.00008 \pm 4.59E-06
11	330	0.00936	0.00313	0.23623 \pm 0.00043	0.00042 \pm 1.44E-05
12	360	0.00563	0.00169	0.18755 \pm 0.00074	0.00028 \pm 1.11E-05
13	390	0.00425	0.00111	0.13474 \pm 0.00111	0.00012 \pm 2.25E-05
14	420	0.00563	0.00027	0.10474 \pm 0.00549	0.00055 \pm 3.59E-05

Cuadro 51. Humedad y Velocidad de secado que se obtuvo en el tratamiento de secado en bandejas durante la tercera corrida, en relación a su peso inicial y final

Número de mora	Tiempo (min)	Peso inicial ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Peso final ($\pm 1 \cdot 10^{-6}$ kg)	Humedad (kg agua/kg SS)	Velocidad de secado (kg/min \cdot m ²)
1	30	0.00594	0.00564	4.36583 \pm 0.00076	0.00681 \pm 2.33E-04
2	60	0.00684	0.00608	3.06280 \pm 0.00059	0.00624 \pm 1.96E-04
3	90	0.00424	0.00341	2.02543 \pm 0.00053	0.00221 \pm 8.43E-05
4	120	0.00587	0.00425	1.43205 \pm 0.00044	0.00205 \pm 6.54E-05
5	150	0.00867	0.00558	1.03521 \pm 0.00036	0.00221 \pm 7.01E-05
6	180	0.00375	0.00211	0.74525 \pm 0.00064	0.00070 \pm 2.48E-05
7	210	0.00704	0.00340	0.53374 \pm 0.00043	0.00087 \pm 2.90E-05
8	240	0.00753	0.00314	0.39371 \pm 0.00044	0.00039 \pm 1.33E-05
9	270	0.00374	0.00144	0.33504 \pm 0.00088	0.00033 \pm 1.24E-05
10	300	0.00386	0.00125	0.23406 \pm 0.00100	-0.00004 \pm -3.92E-06
11	330	0.00931	0.00309	0.24485 \pm 0.00044	0.00056 \pm 1.78E-05
12	360	0.00563	0.00160	0.17598 \pm 0.00079	0.00026 \pm 1.06E-05
13	390	0.00433	0.00106	0.12392 \pm 0.00117	0.00003 \pm 3.44E-05
14	420	0.00559	0.00017	0.11651 \pm 0.00894	0.00057 \pm 4.94E-05

Figura 31. Curva de secado en función del contenido de humedad para frutos de mora (*Rubus glaucus* Benth) durante la primera corrida

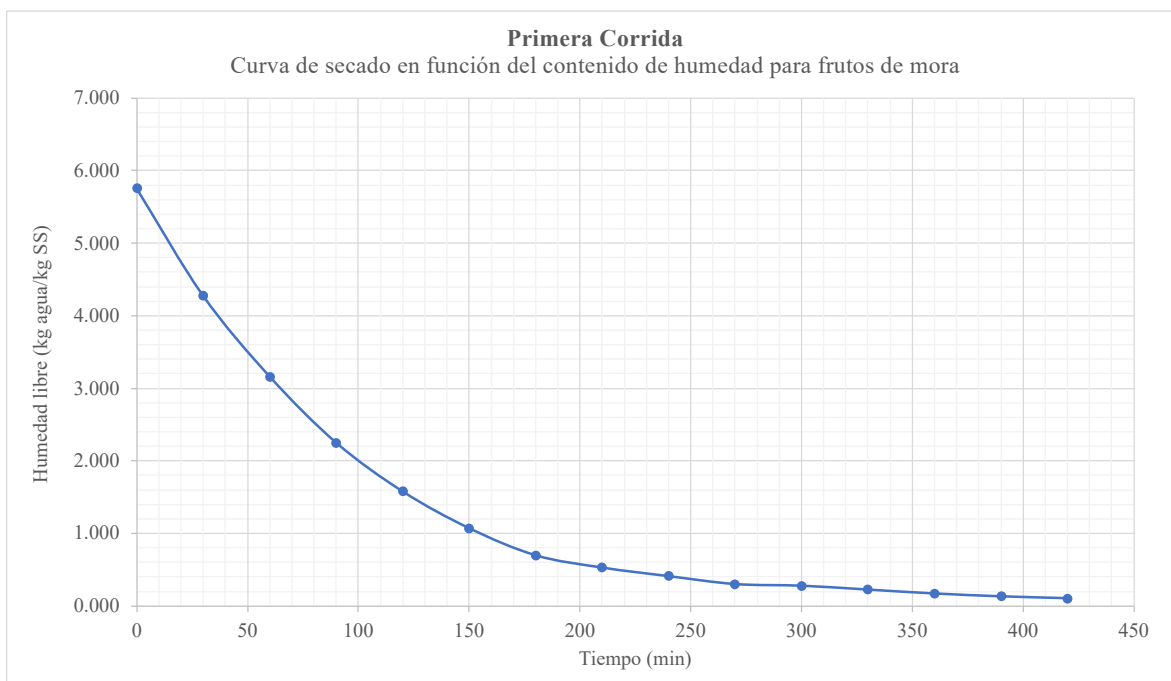


Figura 32. Curva de secado en función del contenido de humedad para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*) durante la segunda corrida

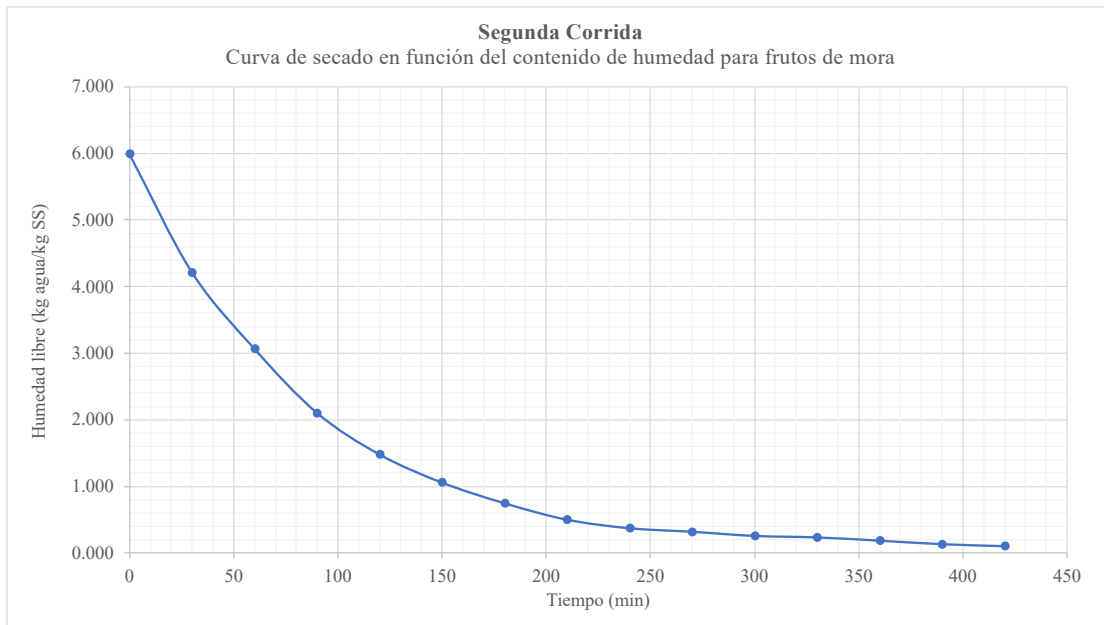


Figura 33. Curva de secado en función del contenido de humedad para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*) durante la tercera corrida

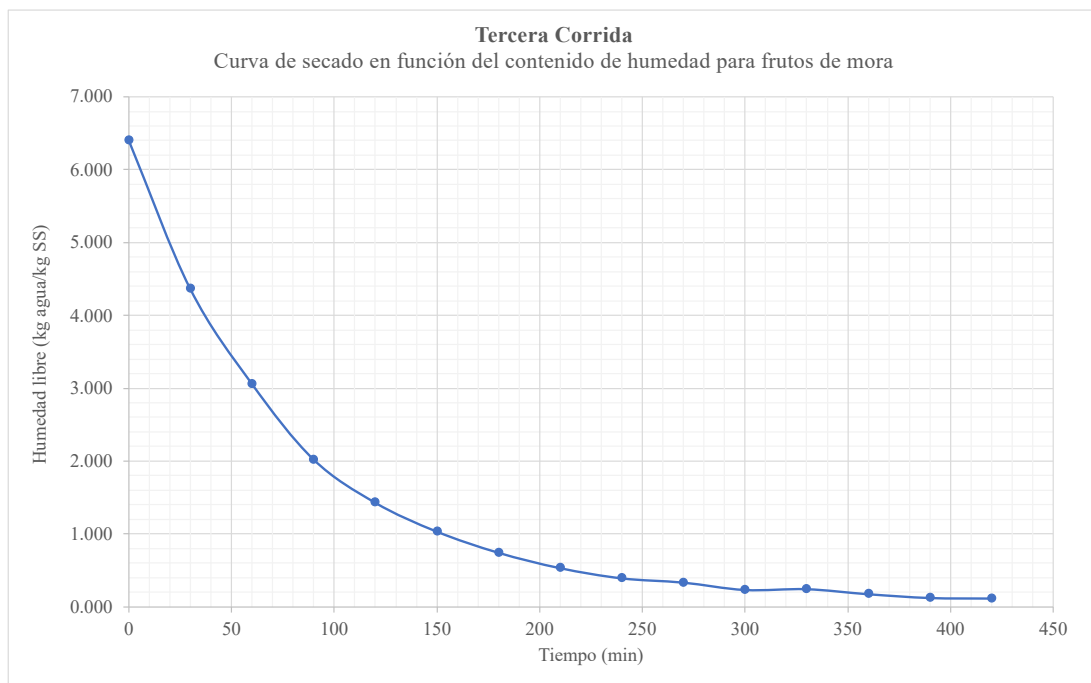


Figura 34. Curva de velocidad de secado para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*) durante la primera corrida

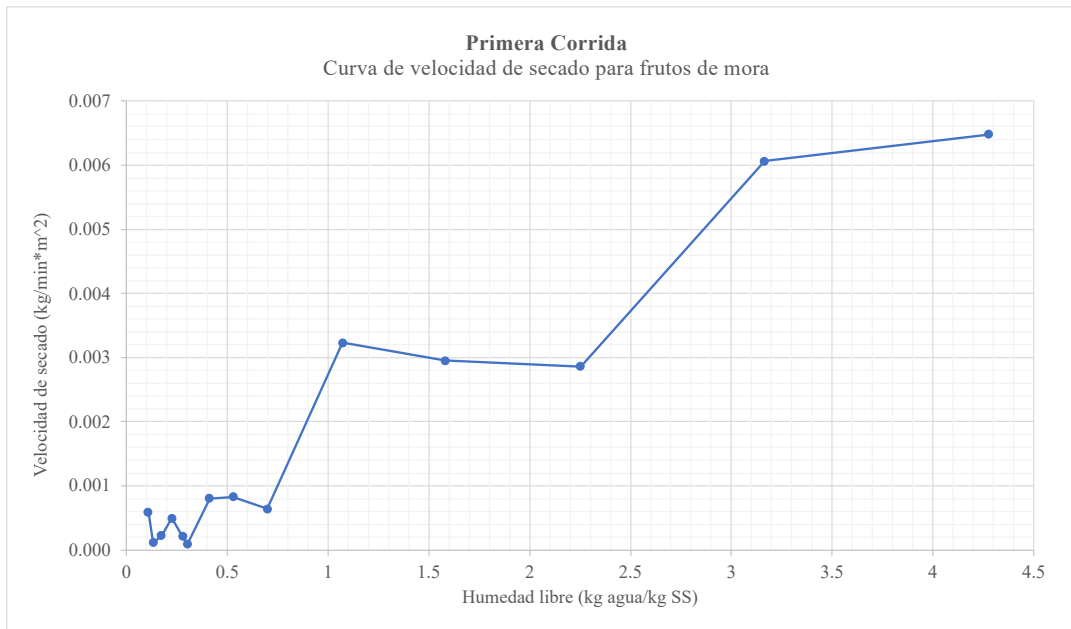


Figura 35. Curva de velocidad de secado para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*) durante la segunda corrida

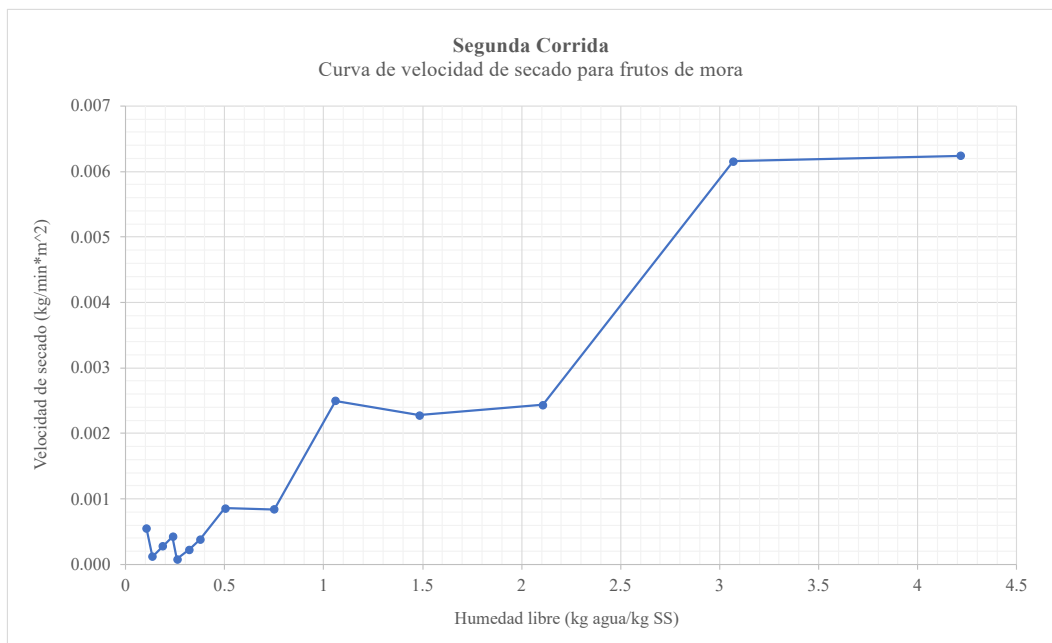
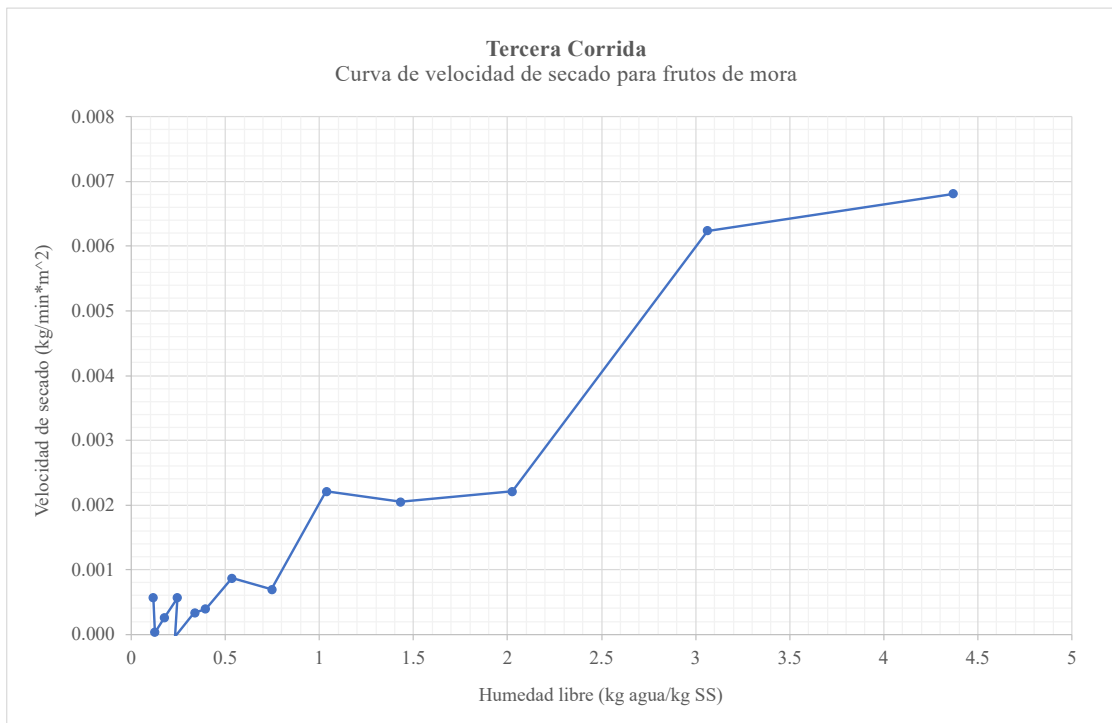


Figura 36. Curva de velocidad de secado para frutos de mora (*Rubus glaucus Benth*) durante la tercera corrida



Cuadro 52. Presión y temperatura de la primera corrida durante el ciclo de liofilización

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
0	70.20	22.22
1	68.56	25.56
2	65.61	24.44
3	70.64	24.44
4	66.18	23.89
5	71.71	23.89
6	66.43	23.33
7	66.50	23.33
8	69.68	22.78
9	67.43	22.78
10	71.82	22.22
11	67.32	21.67
12	70.42	21.67
13	70.73	21.11
14	71.77	20.56
15	70.76	20.00
16	67.84	20.00
17	71.90	19.44
18	68.07	18.89
19	70.48	18.33
20	66.82	17.78
21	68.16	17.22
22	69.93	16.67
23	69.75	16.11
24	68.55	15.56
25	69.79	15.00
26	70.60	14.44
27	67.51	13.89
28	70.74	13.33
29	70.53	12.22
30	71.77	11.67
31	70.76	11.11
32	67.84	10.56
33	71.90	10.00
34	68.07	9.44
35	70.48	8.89

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
36	66.82	7.78
37	68.16	7.22
38	69.93	6.67
39	69.75	6.11
40	68.55	5.56
41	69.75	5.00
42	68.55	3.89
43	69.79	3.33
44	70.60	2.78
45	67.51	2.22
46	70.74	1.67
47	70.53	1.11
48	71.77	0.56
49	70.76	0.00
50	67.84	-0.56
51	71.90	-1.11
52	68.07	-2.22
53	70.48	-2.78
54	66.82	-3.33
55	69.75	-3.89
56	68.55	-4.44
57	69.75	-5.00
58	68.55	-5.56
59	67.84	-6.11
60	70.20	-6.67
61	66.33	-6.67
62	71.95	-7.22
63	66.50	-7.78
64	68.46	-8.33
65	70.36	-8.89
66	72.09	-9.44
67	69.47	-10.00
68	70.36	-10.00
69	68.34	-10.56
70	70.20	-11.11
71	68.56	-11.67
72	65.61	-12.22

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
73	70.64	-12.22
74	66.18	-12.78
75	71.71	-13.33
76	66.43	-13.89
77	66.50	-13.89
78	69.68	-14.44
79	67.43	-15.00
80	71.82	-15.56
81	67.32	-16.11
82	70.42	-16.11
83	70.73	-16.67
84	71.77	-16.67
85	70.76	-17.22
86	67.84	-17.22
87	71.90	-17.78
88	68.07	-17.78
89	70.48	-17.78
90	66.82	-17.78
91	68.16	-18.33
92	69.93	-18.33
93	69.75	-18.33
94	68.55	-18.89
95	69.79	-18.89
96	70.60	-18.89
97	67.51	-18.89
98	70.74	-19.44
99	70.53	-19.44
100	69.17	-20.00
101	65.82	-20.00
102	66.13	-20.00
103	71.29	-20.00
104	67.91	-20.00
105	67.35	-20.56
106	68.75	-20.56
107	67.47	-20.56
108	66.74	-20.56
109	67.91	-21.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
110	70.82	-21.11
111	66.98	-21.11
112	70.52	-21.11
113	70.69	-21.11
114	66.94	-21.67
115	71.74	-21.67
116	71.23	-21.67
117	70.84	-21.67
118	67.52	-21.67
119	68.85	-21.67
120	68.31	-22.22
121	70.49	-22.22
122	70.92	-22.22
123	69.37	-22.78
124	70.69	-22.78
125	68.53	-22.78
126	70.98	-22.78
127	71.39	-22.78
128	65.68	-22.78
129	67.66	-23.33
130	69.40	-23.33
131	61.99	-23.33
132	61.98	-23.33
133	66.66	-23.33
134	64.39	-23.89
135	66.83	-23.33
136	71.99	-23.89
137	68.12	-23.33
138	66.91	-23.89
139	49.45	-23.89
140	44.68	-23.89
141	37.55	-23.89
142	9.57	-23.89
143	2.55	-23.89
144	1.72	-24.44
145	1.26	-24.44
146	1.05	-24.44

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
147	0.92	-24.44
148	0.82	-24.44
149	0.72	-24.44
150	0.66	-24.44
151	0.62	-24.44
152	0.59	-24.44
153	0.55	-24.44
154	0.52	-25.00
155	0.50	-25.00
156	0.47	-25.00
157	0.45	-25.00
158	0.43	-25.00
159	0.42	-25.00
160	0.40	-25.00
161	0.39	-25.00
162	0.38	-25.56
163	0.37	-25.00
164	0.36	-25.56
165	0.35	-25.56
166	0.34	-25.56
167	0.33	-25.56
168	0.32	-25.56
169	0.32	-26.11
170	0.31	-12.22
171	0.30	3.89
172	0.30	17.22
173	0.30	14.44
174	0.29	7.22
175	0.29	1.67
176	0.28	10.56
177	0.28	23.89
178	0.28	25.00
179	0.27	17.22
180	0.27	12.22
181	0.27	18.33
182	0.27	31.67
183	0.26	34.44

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
184	0.26	27.22
185	0.26	22.22
186	0.26	26.67
187	0.25	40.56
188	0.25	43.89
189	0.25	36.67
190	0.25	32.22
191	0.25	36.11
192	0.25	50.00
193	0.24	51.67
194	0.24	45.00
195	0.24	40.56
196	0.24	46.67
197	0.24	54.44
198	0.24	48.89
199	0.24	45.00
200	0.24	47.78
201	0.23	55.00
202	0.23	50.56
203	0.23	47.22
204	0.23	51.67
205	0.23	54.44
206	0.23	50.56
207	0.23	47.78
208	0.23	56.11
209	0.23	53.33
210	0.23	50.00
211	0.22	49.44
212	0.22	55.56
213	0.22	52.22
214	0.22	50.00
215	0.22	56.11
216	0.22	54.44
217	0.22	51.11
218	0.22	50.00
219	0.22	55.56
220	0.22	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
221	0.22	50.56
222	0.22	56.11
223	0.22	53.89
224	0.22	51.67
225	0.21	51.11
226	0.21	55.56
227	0.21	52.22
228	0.21	50.56
229	0.21	56.11
230	0.21	53.89
231	0.21	51.11
232	0.22	51.67
233	0.22	55.00
234	0.22	52.22
235	0.22	50.00
236	0.22	56.11
237	0.23	53.33
238	0.23	51.11
239	0.23	53.33
240	0.24	55.00
241	0.24	52.22
242	0.24	50.00
243	0.25	55.56
244	0.25	53.33
245	0.25	50.56
246	0.25	55.00
247	0.26	54.44
248	0.26	51.67
249	0.27	50.00
250	0.27	55.56
251	0.27	52.78
252	0.28	50.56
253	0.28	56.11
254	0.28	54.44
255	0.28	51.67
256	0.29	51.11
257	0.29	55.00

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
258	0.29	52.22
259	0.29	50.56
260	0.29	56.67
261	0.29	53.89
262	0.29	51.11
263	0.29	51.67
264	0.29	55.00
265	0.29	52.22
266	0.28	50.56
267	0.28	56.11
268	0.28	53.33
269	0.28	51.11
270	0.28	53.33
271	0.28	54.44
272	0.28	52.22
273	0.27	50.00
274	0.27	56.11
275	0.27	53.33
276	0.27	51.11
277	0.27	55.00
278	0.27	54.44
279	0.27	51.67
280	0.26	50.56
281	0.26	55.56
282	0.26	52.78
283	0.26	50.56
284	0.26	56.67
285	0.26	54.44
286	0.26	51.67
287	0.26	51.67
288	0.26	55.00
289	0.26	52.22
290	0.26	50.56
291	0.25	56.67
292	0.26	53.89
293	0.26	51.11
294	0.26	53.33

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
295	0.26	54.44
296	0.26	52.22
297	0.26	50.00
298	0.26	56.67
299	0.26	53.33
300	0.26	51.11
301	0.26	55.00
302	0.26	54.44
303	0.26	52.22
304	0.26	50.56
305	0.26	55.56
306	0.26	52.78
307	0.26	50.56
308	0.26	56.11
309	0.26	53.89
310	0.26	51.67
311	0.26	51.11
312	0.26	55.00
313	0.26	52.78
314	0.26	50.56
315	0.26	56.11
316	0.26	53.33
317	0.26	51.11
318	0.26	52.78
319	0.26	55.00
320	0.26	52.22
321	0.26	50.00
322	0.26	56.11
323	0.26	53.33
324	0.26	51.11
325	0.26	54.44
326	0.26	54.44
327	0.26	51.67
328	0.26	50.00
329	0.26	56.11
330	0.26	52.78
331	0.26	50.56

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
332	0.26	55.56
333	0.25	53.89
334	0.25	51.67
335	0.25	50.56
336	0.25	55.56
337	0.25	52.78
338	0.25	50.56
339	0.25	56.11
340	0.25	53.89
341	0.25	51.67
342	0.25	51.67
343	0.25	55.00
344	0.25	52.22
345	0.25	50.56
346	0.24	56.11
347	0.24	53.33
348	0.24	51.11
349	0.24	53.33
350	0.24	54.44
351	0.24	52.22
352	0.24	50.00
353	0.24	55.56
354	0.24	52.78
355	0.24	50.56
356	0.24	55.00
357	0.24	54.44
358	0.24	51.67
359	0.24	50.56
360	0.24	55.56
361	0.24	52.78
362	0.24	50.56
363	0.24	56.11
364	0.24	53.89
365	0.24	51.67
366	0.24	51.67
367	0.24	55.00
368	0.24	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
369	0.24	50.56
370	0.24	56.11
371	0.24	53.33
372	0.24	51.11
373	0.24	52.78
374	0.23	55.00
375	0.23	52.22
376	0.23	50.56
377	0.23	55.56
378	0.23	52.78
379	0.23	50.56
380	0.23	55.00
381	0.23	54.44
382	0.23	52.22
383	0.23	50.56
384	0.23	55.56
385	0.23	52.78
386	0.23	50.56
387	0.23	56.11
388	0.23	53.89
389	0.23	51.67
390	0.23	51.67
391	0.23	55.56
392	0.23	52.78
393	0.23	50.56
394	0.23	56.67
395	0.23	53.89
396	0.23	51.67
397	0.23	52.78
398	0.23	55.00
399	0.23	52.22
400	0.22	50.00
401	0.22	56.11
402	0.22	53.33
403	0.22	51.11
404	0.22	55.00
405	0.22	54.44

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
406	0.22	52.22
407	0.22	50.56
408	0.22	55.56
409	0.22	52.78
410	0.22	50.56
411	0.22	56.11
412	0.22	53.89
413	0.22	51.67
414	0.22	51.67
415	0.22	55.00
416	0.22	52.22
417	0.22	50.56
418	0.22	56.11
419	0.22	53.33
420	0.22	51.11
421	0.22	53.89
422	0.22	54.44
423	0.22	52.22
424	0.22	50.00
425	0.22	56.11
426	0.22	53.33
427	0.22	51.11
428	0.22	55.56
429	0.22	54.44
430	0.22	51.67
431	0.22	50.56
432	0.22	55.56
433	0.22	52.78
434	0.22	50.56
435	0.22	56.11
436	0.22	53.89
437	0.22	51.67
438	0.22	52.22
439	0.22	55.56
440	0.22	52.78
441	0.22	50.56
442	0.22	56.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
443	0.22	53.33
444	0.22	51.11
445	0.22	54.44
446	0.22	54.44
447	0.22	52.22
448	0.22	50.56
449	0.21	55.56
450	0.21	52.78
451	0.21	51.11
452	0.21	56.11
453	0.21	53.89
454	0.21	51.67
455	0.21	51.11
456	0.21	55.00
457	0.21	52.78
458	0.21	50.56
459	0.21	56.67
460	0.21	53.89
461	0.21	51.67
462	0.21	53.33
463	0.21	54.44
464	0.21	52.22
465	0.21	50.56
466	0.21	56.11
467	0.21	53.33
468	0.21	51.11
469	0.21	55.56
470	0.21	54.44
471	0.21	51.67
472	0.21	51.11
473	0.21	55.56
474	0.21	52.78
475	0.21	50.56
476	0.21	56.11
477	0.21	53.89
478	0.21	51.67
479	0.21	53.33

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
480	0.21	55.00
481	0.21	52.22
482	0.21	50.56
483	0.21	56.11
484	0.21	53.33
485	0.21	51.11
486	0.21	55.56
487	0.21	54.44
488	0.21	52.22
489	0.21	51.11
490	0.21	56.11
491	0.21	53.33
492	0.21	51.11
493	0.21	56.11
494	0.21	53.89
495	0.21	51.67
496	0.21	53.33
497	0.21	55.00
498	0.21	52.22
499	0.21	50.56
500	0.21	56.11
501	0.21	53.33
502	0.21	51.11
503	0.21	55.56
504	0.20	54.44
505	0.20	51.67
506	0.20	51.11
507	0.20	55.56
508	0.20	52.78
509	0.20	50.56
510	0.20	56.67
511	0.20	53.89
512	0.20	51.67
513	0.20	53.89
514	0.20	54.44
515	0.20	52.22
516	0.20	50.56

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
517	0.20	56.11
518	0.20	53.33
519	0.20	51.11
520	0.20	56.11
521	0.20	54.44
522	0.20	51.67
523	0.20	51.67
524	0.20	55.00
525	0.20	52.78
526	0.20	50.56
527	0.20	56.11
528	0.20	53.33
529	0.20	51.11
530	0.20	54.44
531	0.20	55.00
532	0.20	52.22
533	0.20	50.56
534	0.20	55.56
535	0.20	53.33
536	0.20	51.11
537	0.20	56.11
538	0.20	53.89
539	0.20	51.67
540	0.20	52.78
541	0.20	55.00
542	0.20	52.78
543	0.20	50.56
544	0.20	56.11
545	0.20	53.89
546	0.20	51.11
547	0.20	55.00
548	0.20	54.44
549	0.20	52.22
550	0.20	51.11
551	0.20	55.56
552	0.20	53.33
553	0.20	51.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
554	0.20	56.67
555	0.20	53.89
556	0.20	51.67
557	0.20	52.78
558	0.20	55.00
559	0.20	52.78
560	0.20	50.56
561	0.20	55.56
562	0.20	53.33
563	0.20	51.11
564	0.20	55.56
565	0.20	54.44
566	0.20	51.67
567	0.20	51.67
568	0.20	55.56
569	0.20	52.78
570	0.20	50.56
571	0.20	56.67
572	0.20	53.89
573	0.20	51.67
574	0.20	53.89
575	0.20	55.00
576	0.20	52.22
577	0.20	50.56
578	0.20	56.11
579	0.20	53.33
580	0.20	51.11
581	0.20	56.11
582	0.20	54.44
583	0.20	52.22
584	0.20	52.22
585	0.20	55.00
586	0.20	52.78
587	0.20	50.56
588	0.20	56.11
589	0.20	53.33
590	0.20	51.67

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
591	0.20	55.00
592	0.20	54.44
593	0.20	52.22
594	0.20	51.11
595	0.20	55.00
596	0.20	52.78
597	0.20	51.11
598	0.20	56.67
599	0.20	53.89
600	0.20	51.67
601	0.20	53.33
602	0.20	55.00
603	0.20	52.78
604	0.20	50.56
605	0.20	55.56
606	0.20	53.33
607	0.20	51.11
608	0.20	56.11
609	0.20	54.44
610	0.20	52.22
611	0.20	52.22
612	0.20	55.00
613	0.20	52.78
614	0.20	50.56
615	0.20	56.11
616	0.20	53.33
617	0.20	51.11
618	0.20	55.00
619	0.20	54.44
620	0.20	52.22
621	0.20	51.11
622	0.20	55.56
623	0.20	53.33
624	0.20	51.11
625	0.19	56.11
626	0.19	53.89
627	0.19	51.67

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
628	0.19	53.33
629	0.19	54.44
630	0.19	52.22
631	0.19	50.56
632	0.19	55.56
633	0.19	52.78
634	0.19	51.11
635	0.19	56.11
636	0.19	54.44
637	0.19	52.22
638	0.19	52.22
639	0.19	55.00
640	0.19	52.78
641	0.19	50.56
642	0.19	56.11
643	0.19	53.89
644	0.19	51.67
645	0.19	55.00
646	0.19	54.44
647	0.19	52.22
648	0.19	51.11
649	0.19	56.11
650	0.19	53.33
651	0.19	51.11
652	0.19	56.11
653	0.19	53.89
654	0.19	51.67

Cuadro 53. Presión y Temperatura de la segunda corrida durante el ciclo de liofilización

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
0	62.17	23.33
1	63.33	26.11
2	63.15	25.00
3	61.02	25.56
4	61.12	25.00
5	61.68	25.00
6	64.46	23.89
7	65.27	24.44
8	61.15	23.89
9	64.18	23.33
10	64.78	22.78
11	65.21	22.22
12	61.83	22.22
13	61.12	22.22
14	63.37	21.11
15	61.79	21.11
16	61.28	21.11
17	63.18	20.00
18	62.65	20.00
19	62.43	19.44
20	62.85	18.33
21	65.46	17.78
22	63.92	17.22
23	61.66	17.22
24	64.05	16.11
25	61.68	15.56
26	64.46	15.56
27	65.27	15.00
28	61.15	13.89
29	64.18	13.33
30	64.78	12.22
31	65.21	11.67
32	61.83	11.11
33	61.12	10.56
34	63.37	10.00
35	61.79	10.00

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
36	61.28	8.33
37	63.18	8.33
38	62.65	7.78
39	62.43	7.22
40	62.85	6.11
41	65.46	5.56
42	63.92	5.00
43	61.66	3.89
44	64.05	3.33
45	62.20	3.33
46	62.54	2.22
47	61.02	2.22
48	61.12	1.11
49	64.95	1.11
50	62.17	0.00
51	63.33	0.00
52	61.68	-1.11
53	64.46	-2.22
54	65.27	-2.78
55	61.15	-3.33
56	64.18	-3.89
57	64.78	-3.89
58	65.21	-5.00
59	61.83	-5.56
60	61.12	-6.11
61	63.37	-6.11
62	61.79	-6.67
63	61.28	-6.67
64	63.18	-7.78
65	62.65	-7.78
66	62.43	-8.89
67	62.85	-9.44
68	65.46	-9.44
69	63.92	-9.44
70	61.66	-10.00
71	64.05	-11.11
72	62.20	-11.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
73	62.54	-11.67
74	61.96	-12.22
75	64.93	-12.78
76	62.44	-13.33
77	60.64	-12.78
78	61.28	-13.33
79	62.85	-13.89
80	61.16	-14.44
81	63.87	-15.56
82	61.83	-15.00
83	60.99	-16.11
84	65.30	-15.56
85	64.45	-16.67
86	64.11	-16.67
87	63.43	-16.67
88	66.41	-17.22
89	63.70	-17.22
90	62.02	-16.67
91	62.86	-17.78
92	65.28	-17.22
93	65.43	-17.78
94	62.68	-17.78
95	63.70	-18.33
96	63.97	-18.33
97	60.79	-18.33
98	63.80	-18.33
99	62.48	-18.89
100	63.18	-19.44
101	60.83	-19.44
102	64.76	-19.44
103	62.06	-18.89
104	63.24	-19.44
105	66.13	-20.00
106	61.45	-20.00
107	66.15	-19.44
108	61.94	-19.44
109	64.35	-20.56

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
110	64.36	-20.56
111	61.93	-20.00
112	64.04	-20.00
113	61.21	-20.56
114	65.91	-21.11
115	65.61	-20.56
116	62.50	-20.56
117	61.78	-21.11
118	60.53	-20.56
119	62.27	-21.11
120	64.64	-21.11
121	66.24	-20.56
122	63.00	-20.56
123	62.14	-20.56
124	63.27	-21.11
125	63.97	-20.00
126	65.82	-20.56
127	64.61	-21.11
128	64.51	-20.56
129	62.69	-20.00
130	61.32	-20.00
131	38.35	-20.00
132	46.24	-20.56
133	26.35	-20.56
134	5.13	-20.56
135	2.36	-21.11
136	1.67	-20.00
137	1.27	-20.00
138	1.08	-20.00
139	0.96	-20.56
140	0.87	-20.56
141	0.81	-20.56
142	0.74	-20.00
143	0.70	-20.00
144	0.66	-20.56
145	0.63	-21.11
146	0.61	-21.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
147	0.59	-20.00
148	0.57	-20.00
149	0.54	-20.00
150	0.52	-20.00
151	0.50	-21.11
152	0.49	-21.11
153	0.47	-20.00
154	0.45	-20.00
155	0.44	-20.00
156	0.43	-20.56
157	0.41	-20.56
158	0.40	-20.56
159	0.39	-20.56
160	0.38	-20.56
161	0.37	-21.11
162	0.36	-20.56
163	0.35	-21.11
164	0.34	-11.67
165	0.33	4.44
166	0.32	17.78
167	0.32	15.56
168	0.33	7.78
169	0.34	2.78
170	0.36	11.11
171	0.37	25.00
172	0.37	25.56
173	0.37	17.78
174	0.38	13.33
175	0.39	18.89
176	0.40	32.22
177	0.40	35.56
178	0.40	27.78
179	0.39	23.33
180	0.39	27.78
181	0.40	41.67
182	0.40	45.00
183	0.39	37.22

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
184	0.38	32.78
185	0.38	36.67
186	0.39	51.11
187	0.39	52.78
188	0.39	46.11
189	0.38	41.67
190	0.37	47.78
191	0.38	55.00
192	0.38	50.00
193	0.39	45.56
194	0.38	48.89
195	0.38	56.11
196	0.38	51.67
197	0.39	47.78
198	0.39	52.78
199	0.39	55.00
200	0.38	51.11
201	0.38	48.33
202	0.39	56.67
203	0.39	54.44
204	0.38	50.56
205	0.38	50.00
206	0.38	56.11
207	0.38	53.33
208	0.38	50.56
209	0.38	57.22
210	0.38	55.00
211	0.38	51.67
212	0.37	50.56
213	0.37	56.67
214	0.37	53.89
215	0.37	51.67
216	0.36	56.67
217	0.36	55.00
218	0.36	52.22
219	0.35	51.67
220	0.35	56.67

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
221	0.35	52.78
222	0.35	51.67
223	0.34	57.22
224	0.34	54.44
225	0.34	51.67
226	0.34	52.78
227	0.33	56.11
228	0.33	53.33
229	0.33	51.11
230	0.33	57.22
231	0.32	54.44
232	0.32	52.22
233	0.32	53.89
234	0.32	56.11
235	0.32	52.78
236	0.31	51.11
237	0.31	56.11
238	0.31	54.44
239	0.31	51.67
240	0.31	56.11
241	0.30	55.00
242	0.30	52.22
243	0.30	51.11
244	0.30	56.11
245	0.30	53.33
246	0.30	51.67
247	0.29	57.22
248	0.29	55.00
249	0.29	52.22
250	0.29	51.67
251	0.29	55.56
252	0.29	53.33
253	0.29	51.67
254	0.28	57.78
255	0.28	54.44
256	0.28	51.67
257	0.28	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
258	0.28	56.11
259	0.28	52.78
260	0.28	51.67
261	0.28	57.22
262	0.27	54.44
263	0.27	51.67
264	0.27	53.89
265	0.27	55.56
266	0.27	52.78
267	0.27	51.11
268	0.27	56.67
269	0.26	53.89
270	0.26	51.67
271	0.26	56.11
272	0.26	55.00
273	0.26	52.78
274	0.26	51.11
275	0.26	56.11
276	0.26	53.33
277	0.26	51.67
278	0.26	57.78
279	0.26	55.56
280	0.26	52.22
281	0.26	52.78
282	0.26	56.11
283	0.26	52.78
284	0.26	51.11
285	0.26	57.78
286	0.26	55.00
287	0.26	52.22
288	0.26	53.89
289	0.26	55.00
290	0.26	52.78
291	0.26	50.56
292	0.26	57.22
293	0.26	54.44
294	0.26	52.22

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
295	0.26	56.11
296	0.26	55.56
297	0.26	52.78
298	0.26	51.11
299	0.26	56.67
300	0.26	53.33
301	0.26	51.11
302	0.26	57.22
303	0.26	55.00
304	0.26	52.78
305	0.26	52.22
306	0.26	55.56
307	0.26	53.33
308	0.26	51.11
309	0.26	57.22
310	0.26	53.89
311	0.26	52.22
312	0.26	53.89
313	0.26	55.56
314	0.26	52.78
315	0.26	50.56
316	0.26	56.67
317	0.26	53.89
318	0.26	52.22
319	0.26	55.00
320	0.26	55.00
321	0.26	52.22
322	0.26	51.11
323	0.26	57.22
324	0.26	53.89
325	0.26	51.11
326	0.26	56.11
327	0.26	54.44
328	0.26	52.78
329	0.26	51.11
330	0.26	56.11
331	0.26	53.33

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
332	0.26	51.67
333	0.26	57.22
334	0.26	55.00
335	0.26	52.78
336	0.26	52.78
337	0.26	50.56
338	0.26	56.11
339	0.26	54.44
340	0.26	51.67
341	0.26	51.11
342	0.26	55.56
343	0.26	52.78
344	0.26	50.56
345	0.26	56.67
346	0.26	53.89
347	0.26	51.11
348	0.26	52.78
349	0.26	55.00
350	0.26	52.22
351	0.26	50.00
352	0.26	56.67
353	0.26	53.33
354	0.26	51.11
355	0.26	54.44
356	0.26	54.44
357	0.26	52.22
358	0.26	50.56
359	0.26	56.11
360	0.26	53.33
361	0.26	50.56
362	0.26	56.11
363	0.26	54.44
364	0.26	51.67
365	0.26	51.11
366	0.26	55.56
367	0.26	52.78
368	0.26	50.56

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
369	0.26	56.67
370	0.26	53.89
371	0.26	51.11
372	0.26	52.78
373	0.26	55.00
374	0.25	52.22
375	0.25	50.00
376	0.25	56.11
377	0.25	53.33
378	0.25	51.11
379	0.25	55.00
380	0.25	54.44
381	0.25	51.67
382	0.25	50.56
383	0.25	55.56
384	0.24	52.78
385	0.24	50.56
386	0.24	56.11
387	0.24	53.89
388	0.24	51.67
389	0.24	51.67
390	0.24	55.56
391	0.24	52.78
392	0.24	50.56
393	0.24	56.67
394	0.24	53.89
395	0.24	51.11
396	0.24	53.89
397	0.24	54.44
398	0.24	52.22
399	0.24	50.56
400	0.24	56.11
401	0.23	53.33
402	0.23	51.11
403	0.23	56.11
404	0.23	54.44
405	0.23	51.67

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
406	0.23	51.11
407	0.23	55.00
408	0.23	52.78
409	0.23	50.56
410	0.23	56.67
411	0.23	53.89
412	0.23	51.67
413	0.23	53.33
414	0.23	55.00
415	0.23	52.22
416	0.23	50.00
417	0.23	56.11
418	0.22	53.33
419	0.22	51.11
420	0.22	55.56
421	0.22	54.44
422	0.22	51.67
423	0.22	51.11
424	0.22	55.56
425	0.22	52.78
426	0.22	50.56
427	0.22	56.67
428	0.22	53.89
429	0.22	51.67
430	0.22	52.78
431	0.22	55.00
432	0.22	52.78
433	0.22	50.56
434	0.22	56.11
435	0.22	53.33
436	0.22	51.11
437	0.22	55.56
438	0.22	54.44
439	0.22	52.22
440	0.22	51.11
441	0.22	55.56
442	0.22	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
443	0.22	50.56
444	0.22	56.67
445	0.22	53.89
446	0.22	51.67
447	0.22	52.78
448	0.22	55.00
449	0.22	52.22
450	0.21	50.56
451	0.22	56.11
452	0.21	53.33
453	0.21	51.11
454	0.21	55.00
455	0.21	54.44
456	0.21	52.22
457	0.21	51.11
458	0.21	55.56
459	0.21	52.78
460	0.21	50.56
461	0.21	56.67
462	0.21	53.89
463	0.21	51.67
464	0.21	52.78
465	0.21	55.00
466	0.21	52.78
467	0.21	50.56
468	0.21	56.67
469	0.21	53.89
470	0.21	51.67
471	0.21	55.00
472	0.21	54.44
473	0.21	52.22
474	0.21	51.11
475	0.21	55.56
476	0.21	52.78
477	0.21	50.56
478	0.21	56.67
479	0.21	53.89

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
480	0.21	51.67
481	0.21	52.78
482	0.21	55.00
483	0.21	52.22
484	0.21	50.56
485	0.21	56.67
486	0.21	53.33
487	0.21	51.11
488	0.21	55.56
489	0.21	54.44
490	0.21	52.22
491	0.21	51.11
492	0.21	55.56
493	0.21	52.78
494	0.21	51.11
495	0.21	56.67
496	0.21	53.89
497	0.21	51.67
498	0.21	52.78
499	0.21	55.00
500	0.21	52.78
501	0.21	50.56
502	0.21	56.11
503	0.21	53.33
504	0.21	51.11
505	0.21	55.56
506	0.21	54.44
507	0.21	52.22
508	0.20	51.11
509	0.21	55.56
510	0.21	52.78
511	0.20	50.56
512	0.20	56.67
513	0.20	53.89
514	0.20	51.67
515	0.20	53.33
516	0.20	55.00

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
517	0.20	52.22
518	0.20	50.56
519	0.20	56.11
520	0.20	53.33
521	0.20	51.11
522	0.20	56.11
523	0.20	54.44
524	0.20	52.22
525	0.20	51.67
526	0.20	55.56
527	0.20	52.78
528	0.20	50.56
529	0.20	56.67
530	0.20	53.89
531	0.20	51.67
532	0.20	53.89
533	0.20	55.00
534	0.20	52.22
535	0.20	50.56
536	0.20	56.11
537	0.20	53.33
538	0.20	51.11
539	0.20	56.11
540	0.20	54.44
541	0.20	51.67
542	0.20	51.67
543	0.20	55.56
544	0.20	52.78
545	0.20	50.56
546	0.20	56.11
547	0.20	53.33
548	0.20	51.67
549	0.20	53.89
550	0.20	55.00
551	0.20	52.22
552	0.20	50.56
553	0.20	56.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
554	0.20	53.33
555	0.20	51.11
556	0.20	56.11
557	0.20	54.44
558	0.20	51.67
559	0.20	51.67
560	0.20	55.00
561	0.20	52.78
562	0.20	50.56
563	0.20	56.67
564	0.20	53.89
565	0.20	51.11
566	0.20	53.89
567	0.20	55.00
568	0.20	52.22
569	0.20	50.56
570	0.20	55.56
571	0.20	53.33
572	0.20	51.11
573	0.20	56.11
574	0.20	54.44
575	0.20	51.67
576	0.20	51.67
577	0.20	55.00
578	0.20	52.78
579	0.20	50.56
580	0.20	56.67
581	0.20	53.89
582	0.20	51.11
583	0.20	54.44
584	0.20	55.00
585	0.20	52.22
586	0.20	50.56
587	0.20	56.11
588	0.20	53.33
589	0.20	51.11
590	0.20	56.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
591	0.20	53.89
592	0.20	51.67
593	0.20	52.22
594	0.20	55.00
595	0.20	52.78
596	0.20	50.56
597	0.20	56.11
598	0.20	53.33
599	0.20	51.11
600	0.20	54.44
601	0.20	54.44
602	0.20	52.22
603	0.20	50.56
604	0.20	56.11
605	0.20	53.33
606	0.20	51.11
607	0.20	56.11
608	0.20	53.89
609	0.20	51.67
610	0.20	52.22
611	0.20	55.56
612	0.20	52.78
613	0.20	50.56
614	0.20	56.11
615	0.20	53.33
616	0.20	51.11
617	0.20	55.00
618	0.20	54.44
619	0.20	52.22
620	0.20	51.11
621	0.20	55.56
622	0.20	52.78
623	0.20	51.11
624	0.20	56.67
625	0.20	53.89
626	0.20	51.67
627	0.20	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
628	0.20	55.00
629	0.20	52.78
630	0.20	50.56
631	0.20	56.11
632	0.20	53.33
633	0.20	51.11
634	0.20	55.56
635	0.20	54.44
636	0.20	52.22
637	0.20	51.11
638	0.20	55.56
639	0.20	54.44
640	0.20	51.11
641	0.20	53.33
642	0.20	53.89
643	0.20	51.67
644	0.19	55.00
645	0.19	54.44
646	0.19	51.11
647	0.19	55.56
648	0.19	51.67
649	0.19	52.78

Cuadro 54. Presión y temperatura de la tercera corrida durante el ciclo de liofilización

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
0	69.65	25.00
1	67.84	27.78
2	66.66	26.67
3	68.67	27.22
4	65.64	26.67
5	65.49	26.67
6	70.75	25.56
7	67.58	26.11
8	66.91	25.56
9	69.65	25.00
10	67.84	24.44
11	65.49	23.89
12	70.75	23.89
13	67.58	23.89
14	66.91	22.78
15	69.65	22.78
16	67.84	22.78
17	66.66	21.67
18	68.67	21.67
19	65.64	21.11
20	65.49	20.00
21	70.75	19.44
22	68.67	18.89
23	65.64	18.89
24	65.49	17.78
25	70.75	17.22
26	67.58	17.22
27	66.91	16.67
28	69.65	15.56
29	67.84	15.00
30	66.66	13.89
31	68.67	13.33
32	65.64	12.78
33	65.49	12.22
34	70.75	11.67
35	67.58	11.67

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
36	66.91	10.00
37	69.65	10.00
38	67.84	9.44
39	66.66	8.89
40	66.87	7.78
41	66.32	7.22
42	65.67	6.67
43	69.50	5.56
44	66.02	5.00
45	66.72	5.00
46	66.15	3.89
47	66.70	3.89
48	70.67	2.78
49	69.30	2.78
50	69.37	1.67
51	70.92	1.67
52	65.69	0.56
53	68.59	-0.56
54	66.91	-1.11
55	69.65	-1.67
56	67.84	-2.22
57	66.66	-2.22
58	66.87	-3.33
59	66.32	-3.89
60	65.67	-4.44
61	69.50	-4.44
62	66.02	-5.00
63	66.72	-5.00
64	66.15	-6.11
65	66.70	-6.11
66	70.67	-7.22
67	69.30	-7.78
68	69.37	-7.78
69	70.92	-7.78
70	65.69	-8.33
71	68.59	-9.44
72	69.88	-9.44

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
73	67.86	-10.00
74	68.55	-10.56
75	66.64	-11.11
76	67.00	-11.67
77	67.77	-11.11
78	67.30	-11.67
79	69.49	-12.22
80	69.79	-12.78
81	69.31	-13.89
82	70.63	-13.33
83	66.25	-14.44
84	67.49	-13.89
85	68.18	-15.00
86	69.37	-15.00
87	66.17	-15.00
88	68.27	-15.56
89	65.15	-15.56
90	67.13	-15.00
91	65.69	-16.11
92	69.50	-15.56
93	67.14	-16.11
94	67.59	-16.11
95	66.57	-16.67
96	67.97	-16.67
97	68.98	-16.67
98	69.95	-16.67
99	68.27	-17.22
100	68.88	-17.78
101	68.55	-17.78
102	69.22	-17.78
103	66.28	-17.22
104	65.61	-17.78
105	69.27	-18.33
106	70.76	-18.33
107	71.09	-17.78
108	67.70	-17.78
109	66.70	-18.89

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
110	68.37	-18.89
111	66.39	-18.33
112	68.64	-18.33
113	69.96	-18.89
114	69.61	-19.44
115	67.95	-18.89
116	67.30	-18.89
117	67.87	-19.44
118	68.62	-18.89
119	69.98	-19.44
120	65.76	-19.44
121	68.47	-18.89
122	50.13	-18.89
123	44.07	-18.89
124	31.60	-19.44
125	7.58	-18.33
126	1.26	-18.89
127	1.15	-19.44
128	1.06	-18.89
129	0.99	-18.33
130	0.94	-18.33
131	0.89	-18.33
132	0.84	-18.89
133	0.80	-18.89
134	0.75	-18.89
135	0.70	-19.44
136	0.67	-18.33
137	0.64	-18.33
138	0.62	-18.33
139	0.60	-18.89
140	0.58	-18.89
141	0.56	-18.89
142	0.54	-18.33
143	0.53	-18.33
144	0.51	-18.89
145	0.49	-19.44
146	0.48	-19.44

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
147	0.46	-18.33
148	0.45	-18.33
149	0.44	-18.33
150	0.43	-18.33
151	0.42	-19.44
152	0.41	-10.00
153	0.40	6.11
154	0.39	19.44
155	0.38	17.22
156	0.37	9.44
157	0.36	4.44
158	0.35	12.78
159	0.35	26.67
160	0.34	27.22
161	0.34	19.44
162	0.35	15.00
163	0.36	20.56
164	0.38	33.89
165	0.40	37.22
166	0.40	29.44
167	0.40	25.00
168	0.41	29.44
169	0.42	43.33
170	0.44	46.67
171	0.44	38.89
172	0.44	34.44
173	0.43	38.33
174	0.43	52.78
175	0.45	54.44
176	0.45	47.78
177	0.45	43.33
178	0.44	49.44
179	0.44	56.67
180	0.45	51.67
181	0.46	47.22
182	0.46	50.56
183	0.45	57.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
184	0.44	53.33
185	0.44	49.44
186	0.45	54.44
187	0.46	56.67
188	0.46	52.78
189	0.45	50.00
190	0.45	58.33
191	0.46	56.11
192	0.46	52.22
193	0.46	51.67
194	0.45	57.78
195	0.45	55.00
196	0.46	52.22
197	0.45	58.89
198	0.45	56.67
199	0.45	53.33
200	0.45	52.22
201	0.45	58.33
202	0.45	55.56
203	0.45	53.33
204	0.45	58.33
205	0.45	56.67
206	0.45	53.89
207	0.45	53.33
208	0.44	58.33
209	0.44	54.44
210	0.43	53.33
211	0.43	58.89
212	0.43	56.11
213	0.42	53.33
214	0.42	54.44
215	0.42	57.78
216	0.41	55.00
217	0.41	52.78
218	0.41	58.89
219	0.41	56.11
220	0.40	53.89

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
221	0.40	55.56
222	0.40	57.78
223	0.39	54.44
224	0.39	52.78
225	0.39	57.78
226	0.38	56.11
227	0.38	53.33
228	0.38	57.78
229	0.38	56.67
230	0.37	53.89
231	0.37	52.78
232	0.36	57.78
233	0.37	55.00
234	0.36	53.33
235	0.36	58.89
236	0.36	56.67
237	0.36	53.89
238	0.36	53.33
239	0.35	57.22
240	0.35	55.00
241	0.35	53.33
242	0.35	59.44
243	0.34	56.11
244	0.34	53.33
245	0.34	54.44
246	0.34	57.78
247	0.34	54.44
248	0.34	53.33
249	0.33	58.89
250	0.33	56.11
251	0.33	53.33
252	0.33	55.56
253	0.32	57.22
254	0.32	54.44
255	0.32	52.78
256	0.32	58.33
257	0.32	55.56

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
258	0.32	53.33
259	0.32	57.78
260	0.31	56.67
261	0.31	54.44
262	0.31	52.78
263	0.31	57.78
264	0.31	55.00
265	0.31	53.33
266	0.31	59.44
267	0.30	57.22
268	0.30	53.89
269	0.30	54.44
270	0.30	57.78
271	0.30	54.44
272	0.30	52.78
273	0.30	59.44
274	0.29	56.67
275	0.29	53.89
276	0.29	55.56
277	0.29	56.67
278	0.29	54.44
279	0.29	52.22
280	0.29	58.89
281	0.28	56.11
282	0.28	53.89
283	0.28	57.78
284	0.28	57.22
285	0.28	54.44
286	0.28	52.78
287	0.28	58.33
288	0.28	55.00
289	0.27	52.78
290	0.28	58.89
291	0.27	56.67
292	0.27	54.44
293	0.27	53.89
294	0.27	57.22

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
295	0.27	55.00
296	0.27	52.78
297	0.27	58.89
298	0.27	55.56
299	0.26	53.89
300	0.26	55.56
301	0.26	57.22
302	0.26	54.44
303	0.26	52.22
304	0.26	58.33
305	0.26	55.56
306	0.26	53.89
307	0.26	56.67
308	0.26	56.67
309	0.26	53.89
310	0.25	52.78
311	0.26	58.89
312	0.25	55.56
313	0.25	52.78
314	0.25	57.78
315	0.25	56.11
316	0.25	54.44
317	0.25	52.78
318	0.25	57.78
319	0.25	55.00
320	0.25	53.33
321	0.25	58.89
322	0.25	56.67
323	0.25	54.44
324	0.24	54.44
325	0.25	52.22
326	0.24	57.78
327	0.24	56.11
328	0.24	53.33
329	0.24	52.78
330	0.24	57.22
331	0.24	54.44

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
332	0.24	52.22
333	0.24	58.33
334	0.24	55.56
335	0.24	52.78
336	0.24	54.44
337	0.24	56.67
338	0.24	53.89
339	0.24	51.67
340	0.24	58.33
341	0.24	55.00
342	0.24	52.78
343	0.24	56.11
344	0.24	56.11
345	0.24	53.89
346	0.24	52.22
347	0.24	57.78
348	0.23	55.00
349	0.24	52.22
350	0.23	57.78
351	0.23	56.11
352	0.23	53.33
353	0.23	52.78
354	0.23	57.22
355	0.23	54.44
356	0.23	52.22
357	0.23	58.33
358	0.23	55.56
359	0.23	52.78
360	0.23	54.44
361	0.23	56.67
362	0.23	53.89
363	0.23	51.67
364	0.23	57.78
365	0.23	55.00
366	0.23	52.78
367	0.23	56.67
368	0.23	56.11

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
369	0.23	53.33
370	0.23	52.22
371	0.23	57.22
372	0.23	54.44
373	0.23	52.22
374	0.23	57.78
375	0.23	55.56
376	0.23	53.33
377	0.23	53.33
378	0.22	57.22
379	0.22	54.44
380	0.22	52.22
381	0.22	58.33
382	0.22	55.56
383	0.22	52.78
384	0.22	55.56
385	0.22	56.11
386	0.22	53.89
387	0.22	52.22
388	0.22	57.78
389	0.22	55.00
390	0.22	52.78
391	0.22	57.78
392	0.22	56.11
393	0.22	53.33
394	0.22	52.78
395	0.22	56.67
396	0.22	54.44
397	0.22	52.22
398	0.22	58.33
399	0.22	55.56
400	0.22	53.33
401	0.22	55.00
402	0.22	56.67
403	0.22	53.89
404	0.22	51.67
405	0.22	57.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
406	0.22	55.00
407	0.22	52.78
408	0.22	57.22
409	0.22	56.11
410	0.21	53.33
411	0.22	52.78
412	0.22	57.22
413	0.21	54.44
414	0.21	52.22
415	0.21	58.33
416	0.21	55.56
417	0.21	53.33
418	0.21	54.44
419	0.21	56.67
420	0.21	54.44
421	0.21	52.22
422	0.21	57.78
423	0.21	55.00
424	0.21	52.78
425	0.21	57.22
426	0.21	56.11
427	0.21	53.89
428	0.21	52.78
429	0.21	57.22
430	0.21	54.44
431	0.21	52.22
432	0.21	58.33
433	0.21	55.56
434	0.21	53.33
435	0.21	54.44
436	0.21	56.67
437	0.21	53.89
438	0.21	52.22
439	0.21	57.78
440	0.21	55.00
441	0.21	52.78
442	0.21	56.67

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
443	0.21	56.11
444	0.21	53.89
445	0.21	52.78
446	0.21	57.22
447	0.21	54.44
448	0.21	52.22
449	0.21	58.33
450	0.21	55.56
451	0.21	53.33
452	0.21	54.44
453	0.21	56.67
454	0.21	54.44
455	0.21	52.22
456	0.21	58.33
457	0.21	55.56
458	0.21	53.33
459	0.21	56.67
460	0.21	56.11
461	0.21	53.89
462	0.21	52.78
463	0.21	57.22
464	0.21	54.44
465	0.21	52.22
466	0.21	58.33
467	0.21	55.56
468	0.21	53.33
469	0.21	54.44
470	0.21	56.67
471	0.21	53.89
472	0.21	52.22
473	0.21	58.33
474	0.21	55.00
475	0.21	52.78
476	0.21	57.22
477	0.21	56.11
478	0.21	53.89
479	0.21	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
480	0.21	57.22
481	0.21	54.44
482	0.21	52.78
483	0.21	58.33
484	0.21	55.56
485	0.21	53.33
486	0.21	54.44
487	0.21	56.67
488	0.21	54.44
489	0.21	52.22
490	0.21	57.78
491	0.21	55.00
492	0.21	52.78
493	0.21	57.22
494	0.21	56.11
495	0.21	53.89
496	0.21	52.78
497	0.21	57.22
498	0.20	54.44
499	0.20	52.22
500	0.20	58.33
501	0.20	55.56
502	0.20	53.33
503	0.20	55.00
504	0.20	56.67
505	0.20	53.89
506	0.20	52.22
507	0.20	57.78
508	0.20	55.00
509	0.20	52.78
510	0.20	57.78
511	0.20	56.11
512	0.20	53.89
513	0.20	53.33
514	0.20	57.22
515	0.20	54.44
516	0.20	52.22

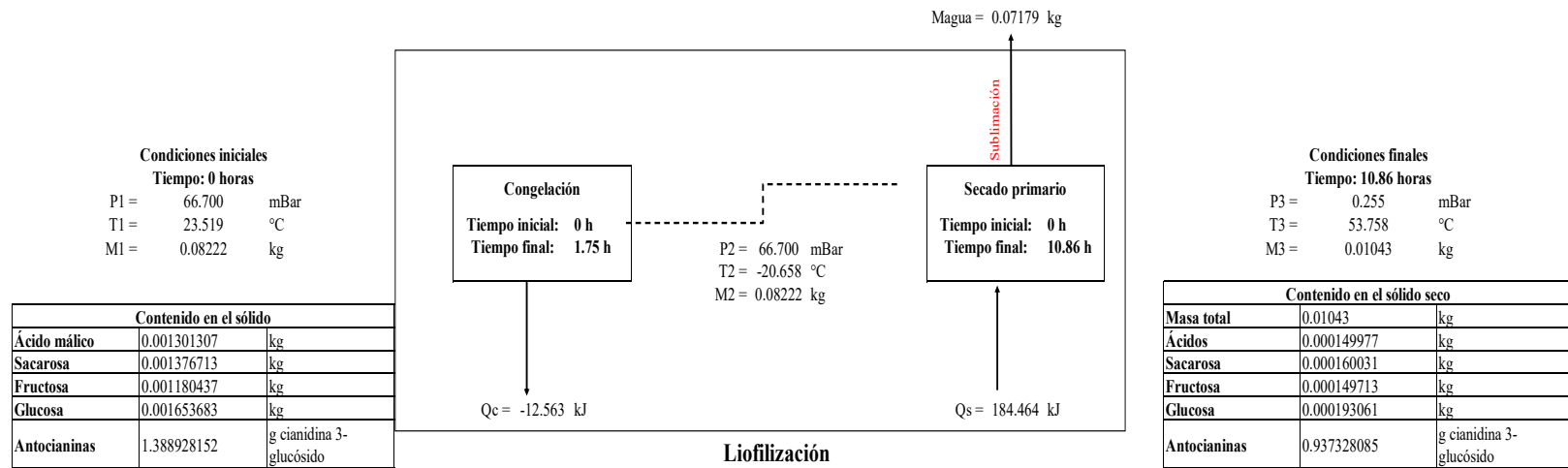
Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
517	0.20	58.33
518	0.20	55.56
519	0.20	53.33
520	0.20	55.56
521	0.20	56.67
522	0.20	53.89
523	0.20	52.22
524	0.20	57.78
525	0.20	55.00
526	0.20	52.78
527	0.20	57.78
528	0.20	56.11
529	0.20	53.33
530	0.20	53.33
531	0.20	57.22
532	0.20	54.44
533	0.20	52.22
534	0.20	57.78
535	0.20	55.00
536	0.20	53.33
537	0.20	55.56
538	0.20	56.67
539	0.20	53.89
540	0.20	52.22
541	0.20	57.78
542	0.20	55.00
543	0.20	52.78
544	0.20	57.78
545	0.20	56.11
546	0.20	53.33
547	0.20	53.33
548	0.20	56.67
549	0.20	54.44
550	0.20	52.22
551	0.20	58.33
552	0.20	55.56
553	0.20	52.78

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
554	0.20	55.56
555	0.20	56.67
556	0.20	53.89
557	0.20	52.22
558	0.20	57.22
559	0.20	55.00
560	0.20	52.78
561	0.20	57.78
562	0.20	56.11
563	0.20	53.33
564	0.20	53.33
565	0.20	56.67
566	0.20	54.44
567	0.20	52.22
568	0.20	58.33
569	0.20	55.56
570	0.20	52.78
571	0.20	56.11
572	0.20	56.67
573	0.20	53.89
574	0.20	52.22
575	0.20	57.78
576	0.20	55.00
577	0.20	52.78
578	0.20	57.78
579	0.20	55.56
580	0.20	53.33
581	0.20	53.89
582	0.20	56.67
583	0.20	54.44
584	0.20	52.22
585	0.20	57.78
586	0.20	55.00
587	0.20	52.78
588	0.20	56.11
589	0.20	56.11
590	0.20	53.89

Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
591	0.20	52.22
592	0.20	57.78
593	0.20	55.00
594	0.20	52.78
595	0.20	57.78
596	0.20	55.56
597	0.20	53.33
598	0.20	53.89
599	0.20	57.22
600	0.20	54.44
601	0.20	52.22
602	0.20	57.78
603	0.20	55.00
604	0.20	52.78
605	0.20	56.67
606	0.20	56.11
607	0.20	53.89
608	0.20	52.78
609	0.20	57.22
610	0.20	54.44
611	0.20	52.78
612	0.20	58.33
613	0.20	55.56
614	0.20	53.33
615	0.20	54.44
616	0.20	56.67
617	0.20	54.44
618	0.20	52.22
619	0.20	57.78
620	0.20	55.00
621	0.20	52.78
622	0.20	57.22
623	0.20	56.11
624	0.20	53.89
625	0.20	52.78
626	0.20	57.22
627	0.20	56.11

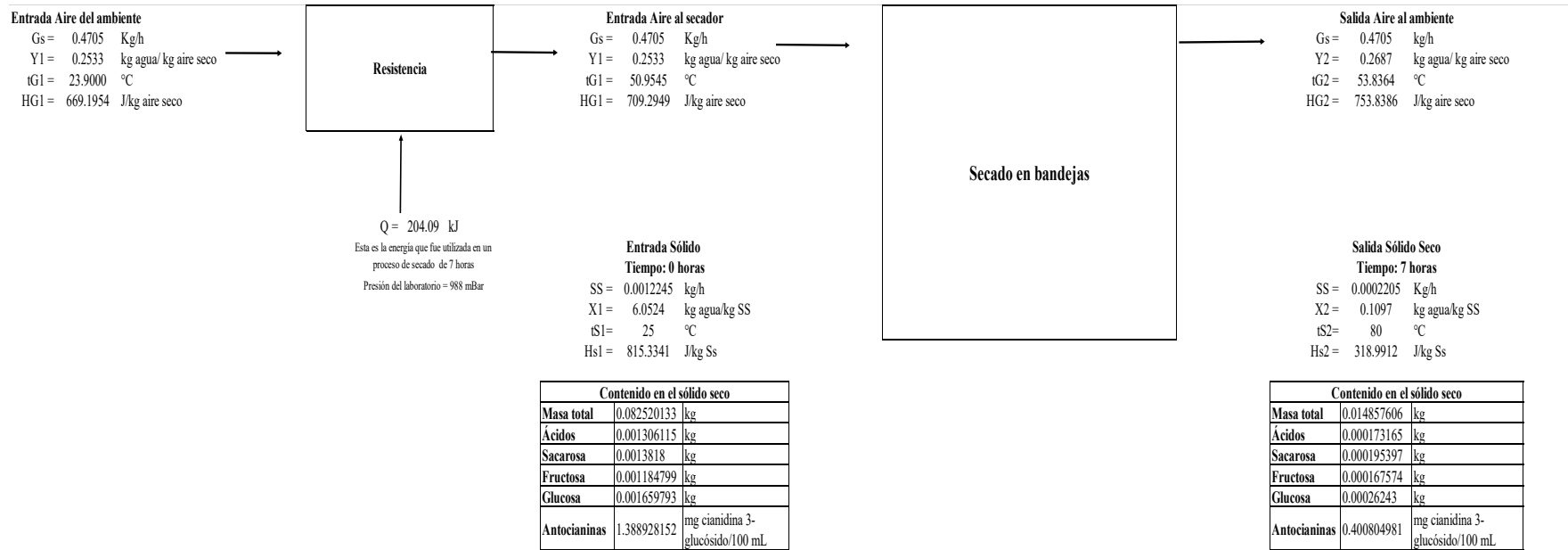
Tiempo (min ± 0.01 min)	Presión (mbar ± 0.01 mbar)	Temperatura (°C ± 0.01 °C)
628	0.20	52.78
629	0.20	55.00
630	0.20	55.56
631	0.20	53.33
632	0.20	56.67
633	0.20	56.11
634	0.20	52.78
635	0.20	57.22
636	0.20	53.33
637	0.20	54.44
638	0.20	53.33
639	0.20	56.67
640	0.20	56.11
641	0.20	52.78
642	0.20	57.22
643	0.20	53.33
644	0.20	54.44
645	0.20	53.33
646	0.20	56.67
647	0.20	56.11
648	0.20	52.78
649	0.20	57.22
650	0.20	53.33
651	0.20	54.44
652	0.20	57.22

Figura 37. Balance de masa y energía del tratamiento de liofilización



En la Figura 37 se observa el balance de masa y energía del tratamiento de liofilización, evaluando las presiones y temperaturas que se presentan en las diferentes etapas del tratamiento. Durante el tratamiento de secado primario ocurre la sublimación del agua, por lo que es cuando el producto pierde masa de agua y queda solamente la masa del sólido seco. Además, se determinó la energía que ocurre en cada tratamiento, teniendo en cuenta el estado en el que se encuentra el agua. Se presenta una pequeña descripción del contenido del sólido seco antes y después del tratamiento de liofilización. Las etapas de congelación y secado primario se realizan de manera automática dentro del liofilizador a escala de laboratorio.

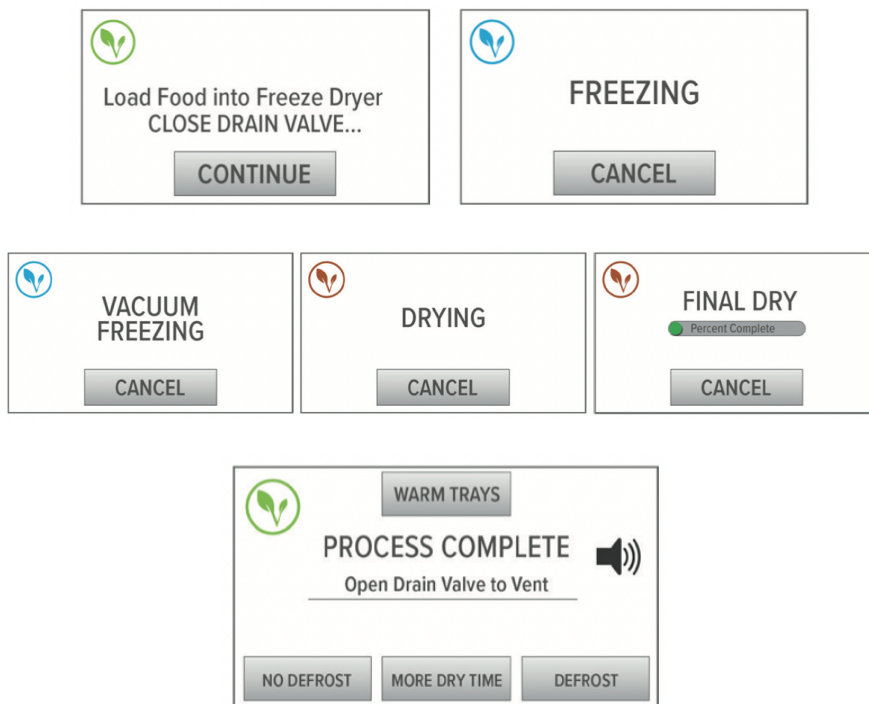
Figura 38. Balance de masa y energía del tratamiento de secado en bandejas



En la Figura 38 se puede observar el balance de masa y energía del tratamiento de secado en bandejas. En este se presenta los flujos de entrada y salida tanto del sólido seco como del aire seco, el cual está calentando el agua para evaporarla. Se tomaron en cuenta las condiciones de la resistencia para determinar las condiciones en las cuales el gas está entrando al sistema. Se determinó la energía que se obtuvo del tratamiento durante las 7 horas de secado. Se presenta una pequeña descripción del contenido del sólido seco antes y después del tratamiento de liofilización.

E. FOTOGRAFÍAS DEL ESTUDIO

Ilustración 1. Pantallas que aparecen en el equipo liofilizador durante el ciclo de liofilización para alimentos no congelados.



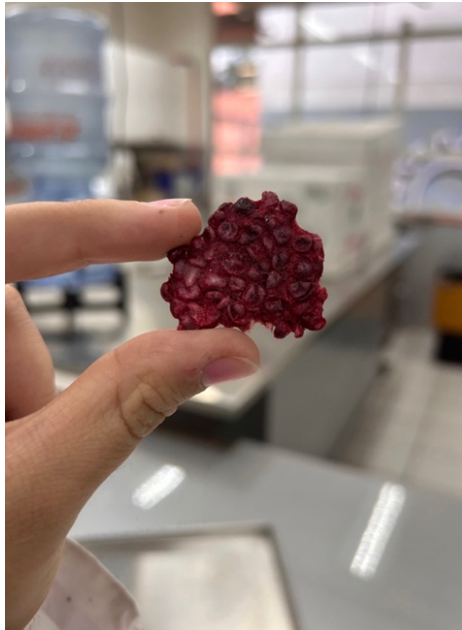
Estas pantallas aparecen durante el tratamiento de liofilización, indicando las etapas del tratamiento en el equipo para avisar de que se terminó de eliminar el agua en la muestra

Ilustración 2. Moras del lote FCEM



Estas son las moras que se utilizaron durante todo el estudio provenientes del lote FCEM de la empresa “Planesa Fresh”

Ilustración 3. Moras del lote FCEM después del tratamiento de liofilización



Se puede observar las moras después del tratamiento de liofilización, tomaron un color fuerte fucsia y son completamente sólidas.

Ilustración 4. Moras del lote FCEM después del tratamiento de secado



Se puede observar las moras después del tratamiento de secado, tomaron un color fuerte violeta oscuro y su textura es viscosa debido a que los azúcares que estaban presentes en la mora.

Ilustración 5. Moras presadas para el tratamiento de secado.



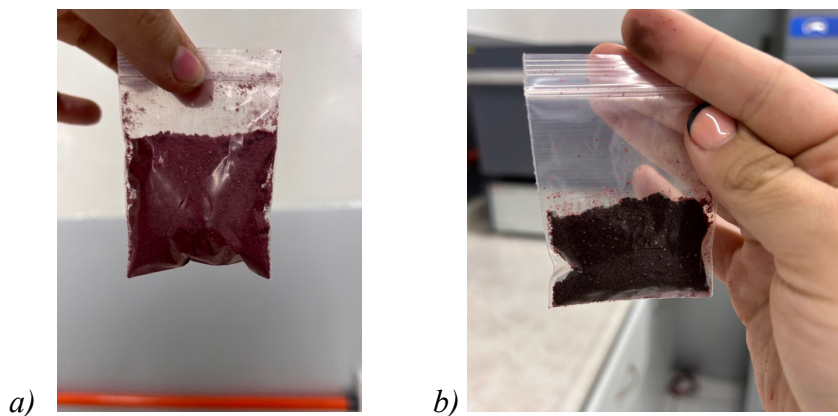
Se observa la manera en la que se colocaron las moras presadas durante el tratamiento de secado para identificar correctamente el peso y humedad de cada una de ellas al finalizar el tratamiento

Ilustración 6. Moras presadas para el tratamiento de liofilización.



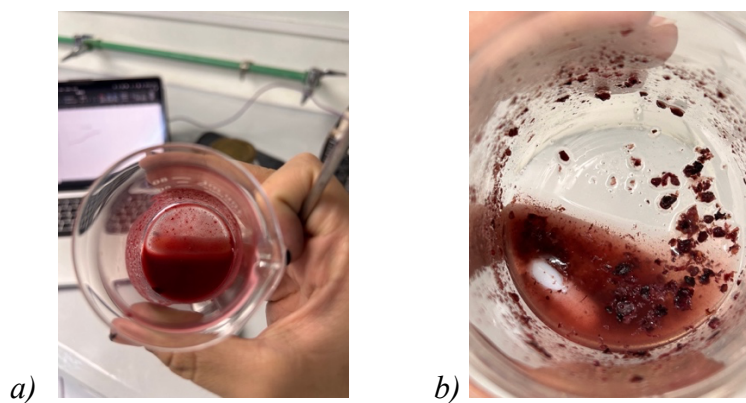
Se observa la manera en la que se colocaron las moras presadas durante el tratamiento de liofilización para identificar correctamente el peso y humedad de cada una de ellas al finalizar el tratamiento

Ilustración 7. Comparación del polvo de mora obtenido del tratamiento de liofilización y secado.



En la Figura a), se observa el polvo de mora obtenido después del tratamiento de liofilización, el cual posee un color fucsia bastante fuerte. Por otro lado, la Figura b) es el polvo de mora después del tratamiento de secado el cual posee un color violeta oscuro.

Ilustración 8. Comparación del polvo de mora reconstituido de agua



Ambos polvos se reconstituyeron con la cantidad de agua inicial que presentaba las muestras antes de los tratamientos. En la Figura a), se observa el polvo de mora liofilizado el cual se reconstituyó adecuadamente sin residuos. Por otro lado, la Figura b) es el polvo de mora después del tratamiento de secado formó residuos al reconstituirse con agua.

XIII. GLOSARIO

Contenido de humedad en base húmeda	Es el contenido de humedad de un sólido o solución que se describen función del porcentaje en peso de humedad, por lo que se expresa de la siguiente manera: $(\text{kg humedad/ kg sólido húmedo}) * 100 = [\text{kg humedad/ (kg sólido seco + kg humedad)}] * 100 = 100X/(1+X)$
Contenido de humedad en base seca:	Es el contenido de humedad en relación con el peso del sólido o sustancia que no contiene agua. Se expresa como: $(\text{kg humedad/kg sólido seco}) = X$. Porcentaje de humedad, base seca $100*X$
Humedad en el equilibrio X*:	Es el contenido de humedad de una sustancia que se encuentra en equilibrio con una presión parcial proporcionada por el vapor de agua.
Humedad ligada	Se refiere a la humedad que contiene una sustancia que genera una presión de vapor en el equilibrio menor al del líquido puro a la misma temperatura
Humedad no ligada:	A diferencia de la humedad ligada, esta se refiere a la humedad contenida en una sustancia que genera una presión de vapor en el equilibrio igual al del líquido puro a la misma temperatura
Humedad libre	Es la humedad que se encuentra en una sustancia con exceso de la humedad de equilibrio. Es la única que se puede evaporar, ya que depende de la concentración del

	vapor en gas. Se expresa como: $X-X^*$
Humedad crítica	Es la humedad que se obtiene cuando la velocidad constante de secado termina y comienza decreciendo.
pH	
Densidad relativa	
Humedad	Cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire.
Temperatura de bulbo húmedo	Es la temperatura de equilibrio termodinámico entre la velocidad de transferencia de calor por convección y la velocidad de transferencia de material que sale de la superficie.
Temperatura de bulbo seco	Se mide con un termómetro convencional ya que esta temperatura no considera los factores ambientales.
Rapidez de secado	
Vacío	Se refiere a cualquier gas o aire con presión menor que la de presión atmosférica.
Eficiencia evaporativa	Es la relación que existe entre la capacidad de evaporación real experimental, con la capacidad que se obtendría teóricamente.

Eficiencia térmica	Relación entre el calor usado en la evaporación con el calor suministrado.
Presión de vapor	Es la presión parcial que producen las moléculas de vapor en el aire húmedo.
Punto de rocío	Es la temperatura que se obtiene de una mezcla cuando el vapor de agua y el aire se satura.
Ingrediente funcional	Un ingrediente funcional es un componente activo presente en cualquier materia prima para otorgarles propiedades benéficas sobre la salud de las personas.

XIV. ABREVIATURAS

Calor	Q
Densidad	ρ
Humedad	H_{bh}
Velocidad de secado	N
Área superficial de secado	A
Tiempo	θ
Kilogramo	kg
Masa final	Mf
Masa inicial	Mo
Antocianinas totales	AT