



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGROINDUSTRIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA LIOFILIZACIÓN SOBRE
LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA INFUSIÓN DE UN
MIX DE FRUTAS DE LA SIERRA ECUATORIANA**

AUTOR

SELLAN TORRES JOSUE ISRAEL

TUTOR

ING. PALMAY PAREDES JULIO ANDRES, M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGROINDUSTRIA

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA LIOFILIZACIÓN SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA INFUSIÓN DE UN MIX DE FRUTAS DE LA SIERRA ECUATORIANA**, realizado por el **egresado SELLAN TORRES JOSUE ISRAEL**; con cédula de identidad N°**0954787636** de la carrera **AGROINDUSTRIA**, Unidad Académica Sede Matriz Dr. Jacobo Bucaram Ortiz - Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Julio Palmay Paredes, M.Sc.

Guayaquil, 10 de diciembre del 2024



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGROINDUSTRIA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA LIOFILIZACIÓN SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA INFUSIÓN DE UN MIX DE FRUTAS DE LA SIERRA ECUATORIANA”**, realizado por el egresado **SELLAN TORRES JOSUE ISRAEL**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Doris Guilcamaigua Anchatuña, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Ana Campuzano Vera, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Yoansy García Ortega, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Julio Palmay Paredes, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 03 de diciembre del 2024

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios y a mi querida familia, cuya presencia ha sido esencial en la finalización de mis estudios. La orientación y el esfuerzo que me han brindado representan un soporte invaluable a lo largo de mi trayectoria educativa, además de proporcionarme los recursos necesarios para alcanzar este logro. Espero contar siempre con su apoyo incondicional y valioso.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profunda gratitud hacia mi querida familia, cuyo respaldo constante, sacrificios y amor incondicional han sido pilares fundamentales han sido esenciales en cada etapa de mi camino hacia el éxito. Han sido mi fuente de motivación, y su firmeza y compromiso han guiado mi trayectoria. En cada desafío y logro, su presencia me ha dado fuerzas y apoyo. Desde lo más profundo de mi corazón, les agradezco. También deseo agradecer a Dios, mi guía y refugio en este recorrido. En los momentos de incertidumbre, desafíos y éxitos, he sentido su presencia y su amor eterno. Su sabiduría y compasión han iluminado mis días más oscuros, y su gracia me ha fortalecido frente a las adversidades. Le agradezco infinitamente por todas las bendiciones recibidas y dedico este triunfo a su nombre y gloria.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **SELLAN TORRES JOSUE ISRAEL**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “**ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DE LA LIOFILIZACIÓN SOBRE LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA INFUSIÓN DE UN MIX DE FRUTAS DE LA SIERRA ECUATORIANA**” para optar el título de **INGENIERO AGROINDUSTRIAL**, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 10 de diciembre del 2024

Atentamente,

SELLAN TORRES JOSUE ISRAEL

C.I. 0954787636

RESUMEN

La importancia de este estudio fue dar un valor agregado a cuatro frutas de la Sierra Ecuatoriana, preservando su composición de compuestos bioactivos a través de la liofilización y evaluando el impacto de este proceso. Se realizaron cuatro tratamientos de infusiones utilizando mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas, con el objetivo de aumentar el perfil de compuestos bioactivos. Al analizar tanto la fruta fresca como la liofilizada, el taxo mostró el mejor perfil en polifenoles (386,28 mg de AGEq/g de fruta), flavonoides (2,699 mg de QEq/g) y capacidad antioxidante (0,14 μ g de AAsEq/mL). Además, la mora, tanto fresca como liofilizada, presentó el mayor contenido de antocianinas (4,44 mg de AtEq/g). Los tratamientos fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar (DCA) y un análisis de varianza de Tukey con un 5% de significancia ($p > 0,05$). Los resultados indicaron que la infusión 3 tuvo las mejores medias en contenido de compuestos bioactivos: 358,51 mg de AGEq/g, 3,46 mg de QEq/g, 2,00 mg de AtEq/g y 0,12 μ g de AAsEq/mL. Se concluyó que la liofilización es un método de conservación eficiente, ya que no solo preserva, sino que también concentra los compuestos bioactivos en la fruta. El taxo liofilizado mostró el mejor perfil de estos compuestos, con altos niveles de polifenoles (386,28 mg de AGEq/g), flavonoides (2,70 mg de QEq/g) y capacidad antioxidante (0,14 μ g de AAsEq/mL). La mora liofilizada destacó por su contenido en antocianinas totales (4,44 mg de AtEq/g). En cuanto a las infusiones, la infusión 3, aunque no se diferenció estadísticamente de la infusión 4, obtuvo el mejor contenido en polifenoles totales (358,51 mg de AGEq/g), flavonoides totales (3,46 mg de QEq/g), antocianinas totales (2,00 mg de AtEq/g) y capacidad antioxidante (0,12 μ g de AAsEq/mL).

Palabras clave: *Compuestos bioactivos, Impacto, Infusión, Liofilización, Mix de frutas.*

ABSTRACT

The importance of this study was to add value to four fruits from the Ecuadorian Highlands by preserving their bioactive compound composition through freeze-drying and evaluating the impact of this process. Four infusion treatments were carried out using lyophilized blackberry, passion fruit, tree tomato, and goldenberry, aiming to enhance the profile of bioactive compounds. Upon analyzing both fresh and lyophilized fruits, passion fruit showed the best profile in polyphenols (386.28 mg of GAE/g of fruit), flavonoids (2.699 mg of QE/g), and antioxidant capacity (0.14 μ g of AAE/mL). Additionally, blackberry, both fresh and lyophilized, had the highest anthocyanin content (4.44 mg of C3GE/g). The treatments were evaluated using a completely randomized design (CRD) and a Tukey variance analysis with a 5% significance level ($p > 0.05$). The results indicated that infusion 3 had the best averages in bioactive compound content: 358.51 mg of GAE/g, 3.46 mg of QE/g, 2.00 mg of C3GE/g, and 0.12 μ g of AAE/mL. It was concluded that freeze-drying is an efficient preservation method, as it not only preserves but also concentrates the bioactive compounds in the fruit. Lyophilized passion fruit showed the best profile of these compounds, with high levels of polyphenols (386.28 mg of GAE/g), flavonoids (2.70 mg of QE/g), and antioxidant capacity (0.14 μ g of AAE/mL). Lyophilized blackberry stood out for its total anthocyanin content (4.44 mg of C3GE/g). Regarding the infusions, infusion 3, although not statistically different from infusion 4, had the best content in total polyphenols (358.51 mg of GAE/g), total flavonoids (3.46 mg of QE/g), total anthocyanins (2.00 mg of C3GE/g), and antioxidant capacity (0.12 μ g of AAE/mL).

Key words: *Bioactive compounds, Impact, Infusion, Freeze-drying, Fruit mix.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes del problema.....	1
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	3
1.3 Justificación de la investigación	4
1.4 Delimitación de la investigación	5
1.5 Objetivo general	5
1.6 Objetivos específicos	5
1.7 Hipótesis o Idea a defender.....	6
2. MARCO TEÓRICO Y CIENTÍFICO	7
2.1 Estado del arte	7
2.2 Bases científicas y teóricas de la temática	10
2.3 Marco legal.....	24
3. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	25
3.1 Enfoque de la investigación.....	25
3.2 Metodología.....	26
4. RESULTADOS	38
4.1 Identificación los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de la mora (<i>Rubus glaucus</i>), taxo (<i>Passiflora tripartite L.H. Bailey</i>), tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) y uvilla (<i>Physalis peruviana L.</i>) de la sierra ecuatoriana.....	38
4.2 Determinación los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en las frutas (mora (<i>Rubus glaucus</i>), taxo (<i>Passiflora tripartite L.H. Bailey</i>), tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) y uvilla (<i>Physalis peruviana L.</i>)) de la sierra ecuatoriana posterior al proceso de liofilización.	40
4.3 Evaluación los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales, y la capacidad antioxidante en una infusión a partir de la mora (<i>Rubus glaucus</i>), taxo (<i>Passiflora tripartite L.H. Bailey</i>), tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) y uvilla (<i>Physalis peruviana L.</i>) liofilizadas.....	42
5. DISCUSIÓN	44
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
6.1 Conclusiones.....	48

6.2 Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Compuestos bioactivos más presentes en la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla por cada 100 g de fruta	58
Anexo N° 2: Índice de Madurez de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla expresada en (Bx/%AT)	58
Anexo N° 3: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de polifenoles totales en fruta fresca	59
Anexo N° 4: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de polifenoles totales en fruta liofilizada	59
Anexo N° 5: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de polifenoles totales en las infusiones.....	60
Anexo N° 6: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de flavonoides totales en fruta fresca	60
Anexo N° 7: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de flavonoides totales en fruta liofilizada	61
Anexo N° 8: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de flavonoides totales en las infusiones.....	61
Anexo N° 9: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de antocianinas totales en fruta fresca.....	62
Anexo N° 10: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de antocianinas totales en fruta liofilizada	62
Anexo N° 11: Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de antocianinas totales en las infusiones	63
Anexo N° 12: Resultados ANOVA y Tukey 5% de la capacidad antioxidante en fruta fresca	63
Anexo N° 13: Resultados ANOVA y Tukey 5% de la capacidad antioxidante en fruta liofilizada.....	64
Anexo N° 14: Resultados ANOVA y Tukey 5% de la capacidad antioxidante en las infusiones	64
Anexo N° 15: Elaboración de las microplacas para la determinación de compuestos bioactivos	65
Anexo N° 16: Lectura de polifenoles totales en el espectrofotómetro de Elisa	65
Anexo N° 17: Lectura de flavonoides totales en el espectrofotómetro de Elisa ...	66

Anexo N° 18: Lectura de antocianinas totales en el espectrofotómetro de Elisa .	66
Anexo N° 19: Lectura de la capacidad antioxidante en el espectrofotómetro de Elisa	67
Anexo N° 20: Determinación de la acidez titulable en las frutas frescas	67
Anexo N° 21: Determinación de los sólidos solubles totales en las frutas frescas.....	68
Anexo N° 22: Liofilización de las frutas	68
Anexo N° 23: Tabla de rendimientos de las frutas posterior al proceso de liofilización	69
Anexo N° 24: Resultados de cenizas en las infusiones.....	69
Anexo N° 25: Resultados de índice de madurez en la recepción de las frutas	69

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

Ecuador posee una gran variedad de frutas tradicionales y no tradicionales que son muy apetecidas por el sabor y valor nutricional. La creciente demanda de las frutas tanto como consumo interno y externo han beneficiado a los productores de estas materias primas agrícolas, en su mayoría las frutas son cosechadas en una o varias épocas en el año, generando grandes cantidades en estas fechas, este gran volumen de frutas genera problemas como la sobre oferta, así como la escasez fuera de estas épocas. Además, una problemática actualmente es la accesibilidad a las frutas frescas, ya sea por el cambio climático o por diversos factores fitosanitarios que disminuyen el rendimiento de la producción agrícola.

La mora (*Rubus glaucus*) un fruto comestible, cuyas principales características son el tipo de agregado, su forma globosa y al final de la maduración, un sabor acidulado y una coloración negra. Originarias de Europa y América del Norte. No obstante, su crecimiento se observa en distintas zonas del mundo, incluyendo regiones de América Latina como Perú y Ecuador. Es una fruta que ha recibido atención por aportar una gran cantidad de compuestos bioactivos de interés, así mismo componentes poli fenólicos biológicamente activos, como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos condensados y antocianinas (Karaklajic-Stajic et al., 2023).

El taxo (*Passiflora tripartite* L.H. Bailey) es una fruta endémica de las regiones andinas de América del Sur comprendido entre Perú, Ecuador y Colombia. Recientemente, se han investigado las hojas, pulpa, semillas y partes comestibles del taxo en cuanto a su composición, especialmente por su contenido de fenólicos totales, carotenos y capacidad antioxidante total.

El tomate de árbol (*Solanum betaceum*) es un fruto carnosa, jugosa y agridulce de forma ovoide a elipse, pudiendo crecer sola o en racimos, originaria del Sur de América, se cultiva en zonas andinas de Colombia, Perú, Chile, Ecuador y Bolivia. Además, se pueden distinguir distintas variedades según el color de la fruta: rojo, naranja, amarillo y morado. El tamaño de sus frutos maduros puede oscilar entre 4 a 10 cm de longitud, con un peso entre 45 a 80 g. En su pulpa

contiene una gran cantidad de compuestos bioactivos y funcionales como, potasio, ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos (Diep et al., 2022).

El fruto de *S. betaceum* ha sido estudiado por amplia disponibilidad de compuestos bioactivos y actividad funcional. Esta fruta posee numerosos nutrientes como la fibra (2,1 – 4,2%) y un alto contenido de potasio (0,2 – 0,6%), ácido ascórbico (0,1 – 0,04%) y carotenoides (0,2 - 5,2%), además se han registrado la presencia de compuestos fenólicos (0,09 – 0,19%), como ácido rosmarínico, ácido 3-O-cafeoilquínico o ácido clorogénico se encuentran en *S. betaceum* a manera de ácidos hidroxicinámicos (Isla et al., 2022).

La uvilla (*Physalis peruviana* L.) es planta herbácea endémica de las regiones andinas, la misma posee en su estructura un arbusto herbáceo semiderruido o perenne que puede alcanzar los 0,9 m de altura, se puede adaptar a una amplia serie de altitudes, suelos condiciones edafoclimáticas (El-Beltagi et al., 2019). Además, posee unos frutos pequeños de color amarillo dorado, con un peso aproximado de 4 a 5 g, los mismo están protegidos y recubiertos por un cáliz de color amarillo brillante. Los frutos poseen varios compuestos bioactivos, incluyendo fisalinas, alcaloides, flavonoides, carotenoides, vitaminas y polisacáridos (Bazalar et al., 2019).

La liofilización es un método de deshidratación eficiente que se basa en el cambio de agua en tres estados, la misma cumple con un equilibrio de fase termodinámica, la cual tiene un punto triple donde el agua alcanza una temperatura de 0,0098 °C y una presión de 4,579 mm Hg. Este proceso de transición fase de agua, lleva esta de un estado sólido que puede sublimar directamente a vapor de agua gaseoso sin pasar por el estado líquido. En la industria alimentaria este método de deshidratación tiene ventajas significativas sobre otros métodos de deshidratación; la principal ventaja y de suma interés para la industria alimentaria es la protección, la composición bioactivos que son muy sensibles a procesos térmicos; y evita la pérdida de nutrientes (Lui et al., 2022).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

En Ecuador desde la antigüedad, varios tipos de plantas y sus frutos han sido de suma importancia para el desarrollo y alimentación de los ecuatorianos, incluido su uso como agentes terapéuticos. Ecuador está dividido en tres regiones, las cuales están bien definidas por sus condiciones climáticas, la Costa, la Sierra (la región andina) y la Amazonía. Esta diferencia climática es de interés debido a que permite extensa disponibilidad en el transcurso del año de frutas que poseen compuestos bioactivos con efectos notables en la salud y nutrición de los ecuatorianos (Patras et al., 2011).

Las frutas como producto comestible son una gran fuente de compuestos bioactivos, contienen una amplia gama de compuestos fenólicos, como los ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, taninos, entre otros, que poseen actividad antioxidante, además de contener vitaminas y minerales. En su mayoría las frutas son estacionarias, por este motivo no se puede disponer de ellas durante todo el año, para ello el desarrollo de métodos de conservación como la deshidratación, congelación o pasteurización son importantes para disponer de estas frutas fuera de su temporada de cosecha, pese a ello algunos de estos métodos de conservación degradan o disminuyen los compuestos bioactivos presentes en las frutas (Pérez et al., 2019).

En la actualidad la falta de integración de métodos de conservación que no degraden los compuestos bioactivos en las frutas, es un problema para los consumidores que no tienen acceso a las frutas frescas, por lo cual métodos como la liofilización es una alternativa para no degradar los compuestos bioactivos presentes en las frutas, dado que posee importantes ventajas sobre otros métodos de deshidratación como; la conservación de sabor, color, fragancia y un aspecto similar a los alimentos frescos, en algunos casos. Asimismo, en mayor medida protege la composición bromatológica y reduce la pérdida de compuestos bioactivos, especialmente para productos susceptibles al calor (Lui et al., 2022).

1.2.2 Formulación del problema

La pregunta planteada fue: “¿Cómo influirá la liofilización en el contenido de los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en una infusión a partir de la mora (*Rubus glaucus Benth*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*) tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*)?”

1.3 Justificación de la investigación

En la industria alimentaria una de las técnicas más comunes para la conservación de alimentos o la producción de estos, es la deshidratación, esta otorga una mayor vida útil debido a la reducción de la humedad, para ello se implementan equipos como los secadores de bandeja y estufas. No obstante, este proceso afecta considerablemente los compuestos bioactivos, que pueden contener los alimentos, por causa de la temperatura durante la deshidratación y el transcurso del tratamiento.

Se reconoce que las frutas son una buena fuente de compuestos bioactivos y nutrientes incluidas vitaminas (vitaminas A, C y E), minerales (calcio, fósforo, hierro, magnesio, potasio, sodio, manganeso y cobre) y antioxidantes. Estudios han demostrado que estos compuestos bioactivos tienen un efecto positivo en la dieta y la salud humana, que están atribuidos a la presencia a compuestos como los ácidos orgánicos y fenólicos. Además, cada vez es más importante para los consumidores, lo cual ha promovido múltiples investigaciones con la finalidad de incrementar el tiempo de vida útil conservando su valor nutricional (Cosme et al., 2022).

Según Santos et al., (2016), la liofilización es uno de los procesos de deshidratación más eficiente para la conservación de alimentos con compuestos termosensibles. Este proceso posee una mayor preservación del contenido nutricional, así como las propiedades organolépticas. La liofilización es un método de deshidratación que se basa en la congelación del producto y la eliminación del agua mediante sublimación directa, desorción y difusión. Este proceso se realiza a baja temperatura y en ambiente de vacío con el fin de evitar la degradación de los compuestos presentes y cambios químicos (Chumacero et al., 2022). Este método de deshidratación es el más utilizado para analizar, el contenido de compuestos fitoquímicos en las frutas debido a su particularidad de la conservación de todo su

contenido nutricional y químico, además de la preservación de los compuestos termosensibles.

Pese a que existen investigaciones previas sobre los compuestos bioactivos de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*), no han registrado investigaciones que hayan reportado la incidencia de la liofilización sobre un mix de frutas para el desarrollo posterior de una infusión con las mismas. Por este motivo, el objetivo de este estudio fue analizar la incidencia de la liofilización sobre los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en las frutas: mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) de la sierra ecuatoriana.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se desarrolló en la Universidad Agraria del Ecuador, Sede Matriz “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz” – Guayaquil.
- **Tiempo:** El período de tiempo en el cual se desarrolló la tesis fue de ocho meses.
- **Población:** El presente proyecto se centró en las personas de 18-40 años de edad.

1.5 Objetivo general

Analizar la incidencia de la liofilización sobre compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en una infusión a partir de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) así elevando su perfil de compuestos bioactivos.

1.6 Objetivos específicos

- Identificar los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) de la sierra ecuatoriana.

- Determinar los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en las frutas (mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*)) de la sierra ecuatoriana posterior al proceso de liofilización.
- Evaluar los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales, y la capacidad antioxidante en una infusión a partir de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*).

1.7 Hipótesis o Idea a defender

Se propuso desarrollar una infusión a base de 4 frutas liofilizadas de la Sierra Ecuatoriana con el fin de identificar como influirá la liofilización sobre el contenido de los compuestos bioactivos. Por ello la hipótesis planteada fue la siguiente: “Como influirá la liofilización en el contenido de compuestos bioactivos en una infusión a partir de un mix de frutas de la sierra ecuatoriana.”

2. MARCO TEÓRICO Y CIENTÍFICO

2.1 Estado del arte

Kabbas et al. (2023) en su investigación determinó la composición fenólica, la actividad antioxidante química y celular, la citotoxicidad en células humanas y la inhibición peroxidativa de la fracción desgrasada de semillas de uva (*Vitis labrusca*) y mora (*Rubus fruticosus*). Además, desarrolló un estudio de optimización estadística para maximizar la extracción de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de las semillas de uva y mora desgrasadas. De este modo, los resultados informaron un gran espectro de compuestos, incluidos ácidos fenólicos con un contenido de 923 mg AGEq/100 g, flavonoides se determinaron 46,2 mg QEq/100 g, en menores concentración los carotenoides y ácidos orgánicos. Los principales compuestos dentro de la mora son las antocianinas que se encuentran en las moras son las siguientes: cianidina 3-O-glucósido; cianidina 3-O-rutinósido; cianidina 3-O-(6"-malonil-glucósido); cianidina 3-O-(6"-dioxalil-glucósido).

Muñoz et al. (2021) realizó una caracterización de la uvilla, cuyos análisis mostraron un mayor contenido de Ca, Cu, Mn, P y Zn, además de compuestos bioactivos como flavonoides y taninos. También se analizó el contenido de fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu, identificando que el ácido más presente fue el gálico, con un contenido de 303,63 mg/100 g de fruta fresca. En cuanto el contenido de taninos totales los resultados obtenidos oscilaron en $1,74 \pm 0,33$ mg de ácido tánico/100 g. Los flavonoides totales reportaron un valor de 1,48 mg QE/100 g, y las antocianinas totales indicaron 0,88 μ g/100 g. Además, se demostraron una disponibilidad de minerales como K y Mg en 100 g de fruta.

En la investigación de Pérez et al. (2019) se estudiaron trece frutas, ocho legumbres y tres tubérculos consumidos en las regiones andinas del Ecuador para determinar sus compuestos bioactivos, ácidos orgánicos, contenido de azúcares, capacidad antioxidante total, con el fin de determinar cuál de los mismos posee mayor aporte en cuanto a actividad antioxidante y compuestos fitoquímicos. Entre los frutos, el taxo (*Passiflora mollissima* (Kunth) L.H. Bailey) presentó los valores más altos de fenólicos totales, contenido de carotenos y capacidad antioxidante total. El ají ratón (*Capsicum chinense* Jacq) presentó el mayor contenido de vitamina C. Asimismo el taxo mostró el mayor contenido de caroteno β . En términos

de capacidad antioxidante total, el taxo tienen la mayor contribución en términos de capacidad antioxidante total.

Isla et al. (2022) en su investigación determinó la caracterización de los residuos de frutas de *Solanum betaceum*, es decir, cáscaras, semillas y orujos, podrían considerarse potentes materiales de recursos biológicos para diversas aplicaciones en las industrias alimentarias y no alimentarias debido a su riqueza en compuestos valiosos. La composición fitoquímica de la semilla de frutos de *Solanum betaceum*, poseen un alto nivel de fenólicos (0,2-0,6%) y pigmentos como las antocianinas (0,06%). Estos compuestos bioactivos inherentes a los residuos se pueden utilizar como ingredientes naturales para alimentos, cosméticos, medicamentos y la producción de materiales de embalaje.

Wang et al. (2023) estudió los efectos de múltiples pretratamientos de congelación y descongelación sobre la distribución del agua, evaluando la microestructura, las características de secado y las propiedades fisicoquímicas en las bayas de Goji (*Lycium barbarum. L.*). La liofilización conservó eficientemente las propiedades fisicoquímicas, incluida la contracción y la dureza de las bayas de Goji después del tratamiento de liofilización. Además, el deterioro del color rojo a base de carotenoides se alivió después de 6 meses de almacenamiento de la baya de Goji liofilizada, durante en los cuales se inhibió significativamente la degradación de los carotenoides, así como los compuestos fenólicos.

Los resultados, obtenidos por Kittibunchakul et al. (2023) demostraron los efectos de la liofilización y el secado por aire caliente convectivo de frutos de Mao Berry (*Antidesma bunius L.*) sobre su contenido de ácido fenólico y ascórbico y sus actividades antioxidantes. Según los resultados obtenidos indicaron que las frutas secadas al contenido de humedad final deseado ($\leq 15\%$) utilizando el secado convectivo con aire caliente a 50-100 °C presentaron una menor retención de ácido ascórbico, fenólicos totales, flavonoides y antocianinas totales frente a las frutas secadas mediante el proceso de liofilización, observándose una mayor retención en las frutas expuestas a temperaturas más bajas. Las temperaturas de secado más bajas también dieron como resultado frutos secos con mayor actividad antioxidante, así también no observaron diferencias significativas en el potencial antioxidante en los frutos liofilizados y secos a 50 °C.

Zhao et al. (2023) determinó los efectos de tres métodos de secado, los cuales fueron, liofilización integrada, liofilización convencional y secado con aire caliente, sobre los cambios dinámicos en los compuestos de sabor volátiles y no volátiles en el flavedo de limón. En comparación con las muestras frescas. La liofilización convencional dio como resultado una mayor disminución de los compuestos volátiles, seguida de la liofilización integrada y el secado con aire caliente, no obstante, la liofilización integrada conservó tipos de sabor más volátiles que la liofilización convencional y el secado con aire caliente. Además, se encontró que la cantidad y los tipos de aminoácidos de las muestras secas finales eran más altos en la liofilización integrada frente a la liofilización convencional y secado con aire caliente.

Wang et al. (2023) en su investigación comparó los efectos de diferentes métodos de secado, los cuales fueron, el secado natural en interiores, la liofilización al vacío, el secado al vacío, el secado con aire caliente y el secado con bomba de calor sobre las cualidades de las hojas de *Zanthoxylum bungeanum*. Las hojas de *Z. bungeanum* tratadas con el secado al vacío conservaron su color original en mayor medida. Además, tanto la liofilización al vacío como el secado con aire caliente conservaron altos contenidos y relativamente similares de los diversos componentes, incluidos los fenoles totales, flavonoides, proteínas y azúcares.

Dasmedir et al. (2023) desarrolló una fortificación a un alimento con arándanos y té negro con el fin de solventar el déficit de hierro que sufren algunas personas, realizando un nuevo producto funcional con alta aceptación por parte de los consumidores. El té negro se mezcló con diferentes concentraciones de arándanos secados al sol o liofilizados y se infundió a diferentes temperaturas. Mediante ensayos de blanqueo de β -caroteno y 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo, se determinó que el arándano liofilizado al 50 % y el té negro al 50 % eran la muestra con mayor actividad antioxidante. Además, realizó un análisis de componentes principales para categorizar las muestras de té. Los resultados obtenidos indicaron que la muestra de FDFBT (la cual constaba con arándano liofilizado al 50 % y el té negro al 50 %) fue la mejor candidata entre las muestras, considerando tanto la aceptación del consumidor como los parámetros bioactivos que mostraron diferencias estadísticamente significativas.

En el estudio de Prakash et al. (2023) determinó el contenido bioquímico, las actividades antioxidantes y los atributos sensoriales de las infusiones de frutas *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ) en comparación con la infusión comercial de frutas del bosque. Los resultados evidenciaron el contenido total de fenólicos y antocianinas fue mayor en la infusión de frutos del bosque en comparación con las infusiones de frutas *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ). Además, determinaron una abundante cantidad de ácido gálico en las infusiones de frutas *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ). La quercetina, el kaempferol-3-O-rutinósido y la peonidina-3-sambubiosido se detectaron solo en las infusiones de frutas *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ). Sin embargo, se observó un alto nivel de ácido oxálico, minerales y azúcares solubles en las infusiones de frutos del bosque. Finalmente las capacidades antioxidantes y la puntuación general de semejanza de la infusión de *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ) fueron comparables con la infusión comercial de Frutos del bosque, demostrando que existen similitudes entre los mismos.

2.2 Bases científicas y teóricas de la temática

2.2.1. Mora

2.2.1.1. Descripción general.

La mora, también conocida como *Rubus glaucus*, es un árbol frutal originario de los Andes y tiene un gran valor agronómico. Se cultiva comercialmente en varios países del continente, incluyendo Estados Unidos, México, Guatemala, Panamá, Colombia, Ecuador, Perú y Chile. El árbol de mora es parte del género *Rubus*, que comprende aproximadamente 750 especies. Sin embargo, es probable que solo nueve de estas especies tengan valor comercial. El género *Rubus* se caracteriza por su vasta diversidad morfológica, abarcando una amplia gama de especies desde leñosas y herbáceas hasta semiherbáceas, así como especies rastreras y trepadoras (Martínez et al., 2019).

En Ecuador, se proyecta que se han cultivado 5,247 hectáreas en 14,546 unidades de producción. Actualmente, existe un crecimiento nacional del 19%, lo que indica que los productores a pequeña escala manejan principalmente estas unidades, con cada productor manejando alrededor de un tercio de hectárea. Como resultado, numerosas familias dependen de este cultivo para su sustento. El cultivo

de moras está en constante expansión debido al interés de los consumidores en su alto contenido de antioxidantes, que es beneficioso para la salud. Esta tendencia sugiere un futuro prometedor y presenta una excelente oportunidad para diversificar nuestras exportaciones (Ayala et al., 2013).

2.2.1.2. Taxonomía de la mora.

De acuerdo con Marulanda et al., (2007) la clasificación taxonómica de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) demostrada en la Tabla 1.

Tabla 1.
Clasificación taxonómica de la mora de castilla (*Rubus glaucus*)

Categoría	Nombre
Super reino	Eukaryota
Reino	Viridiplantae
Phylum	Streptophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	<i>Rosaceae</i>
Género	<i>Passiflora</i>
Especie	<i>Rubus</i>
Nombre Científico	<i>Rubus glaucus</i>
Nombre Común	Mora de castilla

Fuente: Marulanda et al., 2007 Elaborado por: El Autor, 2024

El cultivo de la mora de Castilla muestra un rendimiento óptimo en altitudes que oscilan entre 1.800 y 2.600 metros sobre el nivel del mar, áreas que se caracterizan por tener un clima moderadamente frío con temperaturas promedio de 12 a 18 °C. Esta planta es capaz de adaptarse a una variedad de tipos de suelo, siempre que tengan un buen drenaje. Es importante que el suelo tenga suficiente agua, así como un contenido adecuado de materia orgánica y arcilla. La mora de Castilla prefiere suelos ligeramente ácidos, con un pH que varía entre 5,2 y 6,7, siendo el más adecuado aquel cercano a 5,7 (Sora et al., 2006).

2.2.1.3. Composición fitoquímica de la mora.

La mora de Castilla (*Rubus glaucus*), se destaca por su abundancia de sustancias orgánicas y bioactivas. Aunque no se dispone de un desglose completo de su composición fitoquímica, se entiende generalmente que las moras están llenas de una variedad de fitoquímicos, como lo indica en el anexo 1.

Cabe destacar que la composición fitoquímica puede cambiar en función de diversos aspectos, como el grado de madurez de la fruta y las condiciones en las que se cultiva.

2.2.2 Taxo

2.2.2.1. Descripción general.

En Ecuador crece el taxo (*Passiflora tripartita var. Mollissima*), en las alturas de 2000 a 3000 metros. Originario de América del Sur, el taxo fue domesticado durante la era prehispánica. Su cultivo se extiende desde el norte de Argentina hasta México, siendo Ecuador, Bolivia, Colombia y Venezuela los principales países productores de esta fruta. Se ha descubierto que el taxo contiene una variedad de componentes esenciales como alcaloides, saponinas, flavonoides, triterpenoides y proteínas. Además, esta fruta es una fuente rica en compuestos bioactivos como los fenoles y carotenoides, reconocidos por sus beneficios para la salud y el bienestar de las personas (Primot et al., 2005).

2.2.2.2. Taxonomía del taxo.

De acuerdo con Marín et al., (2009), la clasificación taxonómica del taxo (*Passiflora tripartita var. Mollissima*) demostrada en la Tabla 2.

El género *Passiflora* L., también conocido como pasiflora, es el más destacado de la familia *Passifloraceae*. Se encuentra en regiones tropicales y subtropicales, desde el nivel del mar hasta altitudes que superan los 3000 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, la mayor diversidad de especies se halla en zonas de clima templado y moderadamente cálido, entre los 400 y 2000 metros de altitud. Según la última revisión taxonómica del género, el número de subgéneros se redujo de 22 a cuatro: *Astrophea* (con 57 especies), *Deidamioides* (con 13 especies), *Decaloba* (con 214 especies) y *Passiflora* (con 236 especies) (Checa et al., 2011).

Tabla 2.
Clasificación taxonómica del taxo (*Passiflora tripartita* var. *Mollissima*).

Categoría	Nombre
Super reino	Eukaryota
Reino	Viridiplantae
Phylum	Streptophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Malpighiales
Familia	<i>Passifloraceae</i>
Género	<i>Passiflora</i>
Especie	<i>Passiflora tripartita</i>
Nombre Científico	<i>Passiflora tripartita</i> var. <i>Mollissima</i>
Nombre Común	Taxo

Fuente: Marín et al., 2009 Elaborado por: El Autor, 2024

2.2.2.3. Composición fitoquímica del taxo.

El taxo (*Passiflora tripartita* var. *Mollissima*), es una fruta originaria en el norte de la cordillera de los Andes. Se puede encontrar en las regiones andinas de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Esta fruta es considerada una de las mejores pasifloras comestibles debido a sus atractivas características organolépticas y su alto valor nutricional (Ruiz et al., 2018).

En cuanto a su composición, el taxo tiene un alto contenido de agua, que constituye casi tres cuartas partes de su peso. Además, es rico en vitaminas y minerales. Contiene vitamina C, provitamina A o betacaroteno, niacina, proteínas y polifenoles. Entre los minerales que se encuentran en esta fruta destacan el potasio, el fósforo y el magnesio como lo indica en el anexo 1.

2.2.3 Tomate de árbol

2.2.3.1. Descripción general del tomate de árbol.

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.), es una fruta que se origina en las regiones tropicales y subtropicales que se extienden desde Colombia hasta Argentina, y es miembro de la familia *Solanaceae*. Se pueden encontrar variedades silvestres de esta especie en varios países de Sudamérica, incluyendo Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú. Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN), esta especie está clasificada

como Vulnerable (VU) y figura en la Lista Roja de especies con un alto riesgo de extinción en su hábitat natural (Wang y Zhu, 2020).

El tomate de árbol se cultiva en grandes áreas de Sudamérica, principalmente para el consumo local y a menudo en forma procesada. Hasta 2009, Ecuador produjo alrededor de 25,000 toneladas de esta fruta en un área de 3000 hectáreas, lo que equivale a un consumo aproximado de 1.5 kg por persona al año. En Colombia, en un área de 6500 hectáreas, se producen anualmente cerca de 120,000 toneladas de *S. betaceum*, la mayor parte de las cuales se consume dentro del país (Orqueda et al., 2021).

2.2.3.2. Taxonomía del tomate de árbol.

De acuerdo con Marulanda et al., (2007) la Clasificación taxonómica del tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) demostrada en la Tabla 3.

Tabla 3.

Clasificación taxonómica del tomate de árbol (Solanum betaceum Cav.)

Categoría	Nombre
Super reino	Eukaryota
Reino	Viridiplantae
Phylum	Streptophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum betaceum</i>
Nombre Científico	<i>Solanum betaceum Cav.</i>
Nombre Común	Tomate de árbol

Fuente: Jaramillo et al., 2011

Elaborado por: El Autor, 2024

El tomate de árbol, cuyo nombre científico es *Solanum betaceum Cav.*, es una fruta originaria de la región andina que se cultiva en su mayoría en Colombia y Ecuador, tanto para el consumo en fresco como para la industria alimentaria. En Colombia, el cultivo de tomate de árbol se lleva a cabo en 18 departamentos, cubriendo un área estimada de 7.646 hectáreas. Sin embargo, casi dos tercios de la producción nacional provienen de los departamentos de Antioquia (50%) y

Cundinamarca (14%). En Antioquia, los rendimientos alcanzan las 32 toneladas por hectárea, una cifra significativamente mayor al promedio nacional de 18 toneladas por hectárea. Por otro lado, el departamento de Nariño contribuye con el 5% del área total cultivada en el país, pero su producción solo representa el 1% del total nacional, ya que los rendimientos oscilan entre 7,2 y 10,9 toneladas por hectárea (Jaramillo et al., 2011).

2.2.3.3. Composición fitoquímica del tomate de árbol.

El tomate de árbol es altamente valorado por su riqueza nutricional y su contenido de compuestos antioxidantes. Este fruto es una fuente importante de calcio, fósforo, potasio, hierro, azúcares, ácidos orgánicos, pectinas y flavonoides, además de las vitaminas A, B y C. En su composición también se encuentran alcaloides esteroidales del tipo de los espirosolanos y del grupo atropina como lo indica en el anexo 1. En algunas formulaciones, se pueden añadir otros ingredientes como el ginseng y las vitaminas del complejo B para potenciar sus beneficios (Diep et al., 2022).

2.2.4 Uvilla

2.2.4.1. Descripción general de la uvilla.

La uvilla, también conocida como *Physalis peruviana L.*, es una fruta de la familia Solanaceae. Esta baya de color amarillo brillante, del tamaño de una cereza. Esta fruta es endémica de América del Sur, con una distribución original que se cree que se extendía desde Venezuela hasta Bolivia, pasando por Colombia, Ecuador, Chile y Perú. Sin embargo, ahora se puede encontrar en muchos países del mundo y a veces se considera una planta invasora. En su hábitat nativo, la *P. peruviana* crece a altitudes de entre 800 y 3000 metros, y suele encontrarse en los bordes de los bosques, a lo largo de las carreteras y en campos abandonados.

La uvilla es una baya que, cuando está completamente madura, mide entre 1,25 y 2 cm de ancho, puede pesar hasta 11 g (generalmente entre 3,5 y 8,5 g) y adquiere un color amarillo/naranja. Esta fruta es altamente nutritiva, ya que contiene una gran cantidad de minerales, antioxidantes y vitaminas (Cueva et al., 2017).

2.2.4.2. Taxonomía de la uvilla.

De acuerdo con Herrera et al., (2012) la Clasificación taxonómica de la uvilla (*Physalis peruviana L.*) demostrada en la Tabla 4.

Tabla 4.
Clasificación taxonómica Clasificación taxonómica de la uvilla (*Physalis peruviana L.*)

Categoría	Nombre
Super reino	Eukaryota
Reino	Viridiplantae
Phylum	Streptophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Physalis</i>
Especie	<i>Physalis peruviana</i>
Nombre Científico	<i>Physalis peruviana L.</i>
Nombre Común	Uvilla

Fuente: Herrera et al., 2012

Elaborado por: El Autor, 2024

La uvilla (*Physalis peruviana L.*), pertenece a la familia *Solanaceae* y tiene su origen y diversificación en la región andina, especialmente en Colombia, Perú y Ecuador. Desde allí, se ha introducido en diversas regiones con climas tropicales, subtropicales y templados. Aunque el género *Physalis* tiene algunos representantes en el Viejo Mundo, la mayoría de las especies son de origen americano, con México como el principal centro de diversidad y sólo una docena de especies en América del Sur. Se han identificado alrededor de 85 especies dentro del género *Physalis*, de las cuales casi la mitad (aproximadamente 46 especies) son endémicas de México. (Aluja et al., 2019).

2.2.4.3. Composición fitoquímica de la uvilla.

La uvilla, conocida científicamente como *Physalis peruviana L.*, es una fruta que ha despertado gran interés para la creación de alimentos funcionales innovadores debido a su perfil nutricional y sus componentes biológicamente activos. Específicamente, la pulpa de la uvilla es una fuente valiosa de provitamina A, vitamina C, vitaminas del complejo B, compuestos fenólicos y varios minerales

de relevancia nutricional, como se muestra en el anexo 1. El análisis químico del extracto de la fruta de *P. peruviana* ha determinado la existencia de diversos compuestos químicos, entre ellos saponinas, withanólidos, peruviosas, irinianos, kaempferol, triglicósidos de quercetina, algunos de los cuales han demostrado tener propiedades antioxidantes, hipoglucemiantes y anticancerígenas (Muñoz et al., 2021).

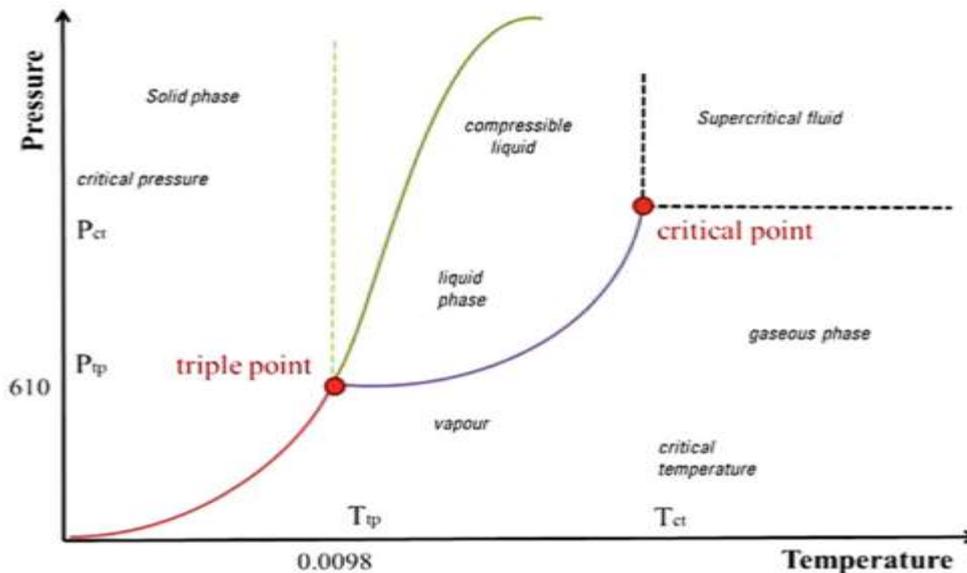
2.2.5 Liofilización

La liofilización un proceso de secado mediante la congelación de la materia prima y posteriormente la eliminación del agua a través de la sublimación. La liofilización es uno de los procesos de deshidratación más eficiente si se habla de la conservación de alimentos con compuestos termosensibles. El proceso de liofilización se fundamenta principalmente en dos pasos; La congelación del producto y el secado del producto por sublimación directa del hielo bajo presión reducida (Assegehegn et al., 2019).

2.2.5.1. Punto triple.

De acuerdo con lo mencionado por Bruguezzi et al., (2019), el punto triple del agua es un estado único de temperatura y presión en las que los tres estados físicos dependen de la temperatura, por lo que a $< 0^{\circ}\text{C}$ el agua se convierte en hielo y a $> 100^{\circ}\text{C}$, como vapor; sin embargo, a una presión de 4,579 mm de mercurio y a $0,0098^{\circ}\text{C}$ (en el llamado punto triple) como lo indica la figura 1, además, se considera que los tres estados del agua pueden coexistir en equilibrio termodinámico.

Figura 1.
Diagrama de fases del agua



Fuente: Badui, 2006.

2.2.5.2. Etapas de la liofilización.

La liofilización consta de tres etapas a continuación se describirán las etapas en la liofilización de alimentos además de detallarse en la figura 2.

2.2.5.2.1. Congelación.

La congelación de alimentos es una técnica de conservación utilizada, tanto a nivel doméstico como industrial. Dicha técnica consiste en disminuir la temperatura del alimento cerca de los $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual provoca un cambio de estado en el agua formando cristales en el mismo y una disminución de la actividad del agua (A_w). La finalidad de esta operación es inhibir tanto las reacciones de deterioro como el crecimiento microbiológico. Así mismo consta como una operación previa a la liofilización donde es un factor determinantemente en características tales como el color y la densidad del producto final, de igual manera en la velocidad de sublimación (Falconí et al., 2021).

2.2.5.2.2. Secado primario.

Durante la etapa inicial, el hielo se elimina de la muestra a través de la sublimación, pasando directamente de la fase sólida a la gaseosa. Siempre que exista un sistema que retire continuamente este vapor, el secado por sublimación

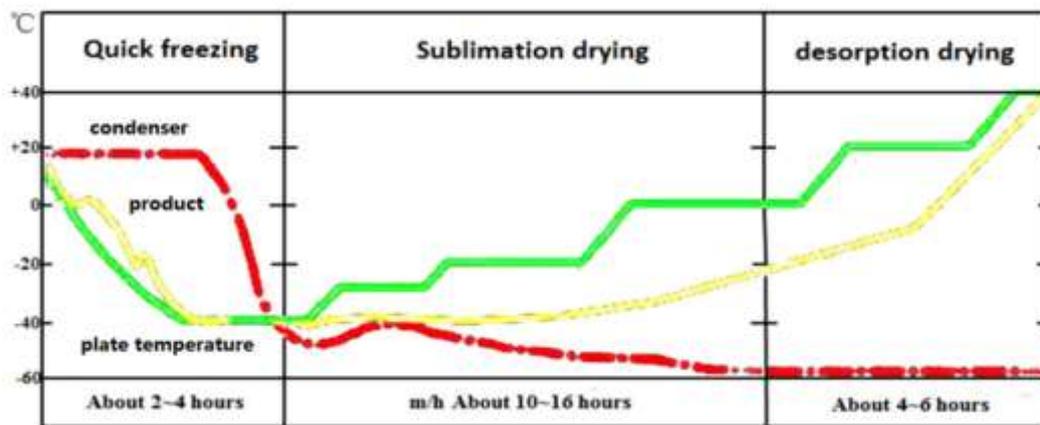
seguirá en curso hasta que no quede hielo. En un liofilizador, esta función la realiza el condensador (o desublimador), una parte del equipo que proporciona una superficie lo suficientemente fría para que el vapor de agua se solidifique nuevamente (Assegehegn et al., 2019).

2.2.5.2.3 Secado secundario.

En cuanto al secado secundario, Assegehegn et al., (2019) menciona En esta fase, las partes restantes de agua que no se congelaron y no sublimaron en la primera etapa del secado, ahora se evaporan en la segunda etapa debido al aumento de la temperatura en la matriz alimenticia. Es crucial tener en cuenta que las áreas secas de la muestra liofilizada pueden iniciar su secado secundario, incluso si todavía hay hielo presente en el alimento que está sublimando en la fase primaria. Mientras estas dos fases coexisten, y dado que el hielo en sublimación enfría la estructura, la temperatura del alimento se mantiene controlada. Cuando la última parte de hielo desaparece, se produce un aumento de la temperatura.

Figura 2.

Diagrama de las etapas de la liofilización en alimentos



Fuente: Lui et al., 2022

2.2.6 Compuestos bioactivos

Otero et al., (2020) indica que las frutas exóticas tropicales, que crecen en climas tropicales o subtropicales dentro de la zona geográfica que se extiende desde 30° latitud sur hasta 30° latitud norte, son de gran importancia para los países en desarrollo debido a su valor nutricional y a su contenido de compuestos bioactivos. Las temperaturas en esta región varían entre 16 y 36°C a lo largo del año. Un componente esencial de estas frutas son las vitaminas, en particular la vitamina C, que es un término que engloba a los ácidos dehidroascórbico, isoascórbico y L-ascórbico, siendo este último la forma biológicamente activa. Los carotenoides, presentes en estas frutas, son poderosos inhibidores del oxígeno singlete y eliminadores del anión superóxido y del radical hidroxilo, y pueden detener las reacciones en cadena de peróxido, protegiendo así a los ácidos grasos.

Los compuestos fenólicos, por su parte, se han asociado con la reducción del riesgo de enfermedades como la diabetes, la obesidad y varios tipos de cáncer, entre otras. Se cree que estos efectos se deben a su capacidad para inhibir la oxidación del ADN, las proteínas y los lípidos. No obstante, la demanda de estas frutas está en aumento no solo por su sabor distintivo, sino también por su alto contenido y diversidad de compuestos bioactivos, así como por sus beneficios para la salud, que han sido documentados en numerosos estudios científicos (Lourdes et al., 2019).

2.2.6.1. Polifenoles.

Los polifenoles son metabolitos derivados de las plantas que contienen al menos un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilo adjuntos. Estos compuestos se dividen en ácidos fenólicos, flavonoides y taninos. Se han identificado aproximadamente 8.000 polifenoles, la mayoría de los cuales tienen una estructura de tres anillos, dos de los cuales son aromáticos (anillos A y B) y uno es un heterociclo oxigenado (anillo C). Los polifenoles más básicos tienen solo un anillo aromático y a medida que aumenta el número de sustituyentes, también lo hace la complejidad de la estructura (Rios y Gil, 2021).

2.2.6.2. Antocianinas.

Las antocianinas, que son pigmentos naturales que se disuelven en agua, pertenecen a la familia de los flavonoides. Se encuentran en abundancia en la

naturaleza, no solo en los pétalos de las flores, sino también en las raíces, tallos, tubérculos, hojas, frutas y semillas. Este pigmento tiene una alta absorción en la región UV-visible del espectro electromagnético y es el principal contribuyente a los colores rojo-azul y sus variantes en las plantas. Químicamente, la antocianina es una molécula polihidroxilada glicosilada o polimetoxi que se deriva de 2-fenilbenzopirilio, y generalmente tiene un peso molecular entre 400 y 1200 KDa. Las antocianinas, que son glucósidos de antocianidinas, forman parte de la familia de los flavonoides. Están compuestas por dos anillos aromáticos, A y B, conectados por una cadena de tres carbonos. Existen variaciones estructurales en el anillo B. La estructura básica incluye un núcleo de flavona que consta de dos anillos aromáticos: un benzopirilio (A) y un grupo fenólico (B), ambos unidos por una unidad de tres carbonos (Enaru et al., 2021).

2.2.6.3 Flavonoides.

Los flavonoides, que son metabolitos secundarios, se caracterizan principalmente por un anillo de benzopirona que lleva un grupo fenólico o polifenólico en diversas posiciones. Se encuentran comúnmente en frutas, hierbas, tallos, cereales, nueces, verduras, flores y semillas. La existencia de componentes fitoquímicos bioactivos en estas partes variadas de las plantas les otorga su valor medicinal y sus propiedades biológicas. Hasta la fecha, se han aislado e identificado más de 10.000 compuestos flavonoides. La mayoría de los flavonoides son reconocidos como agentes terapéuticos. Estos se producen de forma natural a través de la ruta de los fenilpropanoides, y su bioactividad depende de su mecanismo de absorción y biodisponibilidad (Ullah et al., 2020).

2.2.6.4. Capacidad antioxidante.

La Capacidad Antioxidante se refiere al potencial de un compuesto o sustancia para prevenir o impedir la oxidación de un sustrato, incluso en cantidades extremadamente pequeñas (menos del 1%, generalmente de 1 a 1000 mg/L). La medición de la Capacidad Antioxidante es valiosa para determinar la calidad de un alimento, la concentración de antioxidantes en un sistema, o la biodisponibilidad de compuestos antioxidantes en el organismo humano (Ilyasov et al., 2020).

2.2.6.5. Determinación de polifenoles totales.

La cuantificación de polifenoles totales se realiza a través del método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, que se basa en la formación de un complejo azul de fosfotúngstico-fosfomolibdico. Este enfoque es comúnmente empleado para evaluar el contenido total de fenoles en una variedad de muestras, incluyendo frutas, bebidas, hierbas y otros extractos vegetales. Además, existe otro procedimiento que implica la determinación de compuestos fenólicos específicos, como el ácido cafeico, el ácido clorogénico, la miricetina, la quercetina y el kaempferol, utilizando la técnica de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) (Camacho et al., 2022).

2.2.6.6. Determinación de flavonoides totales.

La cuantificación de flavonoides totales puede llevarse a cabo mediante diversos procedimientos, siendo el método colorimétrico uno de los más utilizados. Este método se fundamenta en la reacción de los flavonoides con tricloruro de aluminio (AlCl_3), dando lugar a un compuesto de color que puede ser detectado a 510 nm. En este procedimiento, se toma una porción de la muestra y se combina con agua desionizada. Posteriormente, se añade NaNO_2 y se permite reaccionar durante 5 minutos. Los flavonoides se oxidan con AlCl_3 , formando un compuesto de color que puede ser detectado a 510 nm, utilizando rutina como patrón de referencia (Pérez et al., 2014).

2.2.6.7. Determinación de antocianinas totales.

La cuantificación de antocianinas totales se puede realizar utilizando varios métodos, entre los que destaca el método de pH diferencial. Este método se basa en la transformación estructural reversible que experimentan las antocianinas cuando se produce un cambio en el pH, lo cual se evidencia a través de diferentes espectros de absorbancia. A un pH de 1,0, las antocianinas adoptan la forma roja de oxonio, mientras que, a un pH de 4,5, predominan en su forma incolora de hemiketal. Este cambio de coloración en función del pH permite la cuantificación de las antocianinas al medir sus absorbancias a longitudes de onda específicas, como 520 y 700 nm, utilizando agua destilada como blanco (Zapata et al., 2014).

2.2.6.8. Determinación de capacidad antioxidante.

El método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), que se basa en radicales libres, mide la habilidad de los antioxidantes para neutralizar un radical libre y es comúnmente empleado en varios estudios para evaluar la capacidad antioxidante de las plantas. Cuando un antioxidante, que puede donar un átomo de hidrógeno, se mezcla con una solución de DPPH, resulta en una forma reducida que pierde su color violeta. Este método DPPH es una técnica frecuentemente utilizada para determinar la capacidad antioxidante de alimentos y compuestos sintéticos. Se basa en la disminución de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH, que se reduce en presencia de antioxidantes, lo que se manifiesta como un cambio de color. En este método, se emplea el radical libre DPPH en concentraciones que varían entre 0,037 y 0,200 mM (Guija et al., 2015).

2.2.7 Infusión

Una infusión es una bebida que se obtiene al sumergir ciertas sustancias vegetales, como hojas, flores, frutos, semillas o raíces, en agua caliente. Durante este proceso, los sabores, aromas y compuestos bioactivos de las sustancias vegetales se disuelven en el agua (Fuentes et al., 2023). En el proceso de elaboración de infusiones, el tamaño de las partículas de los ingredientes juega un papel crucial. La granulometría de estos componentes puede influir en la calidad de la extracción, permitiendo la liberación de un mayor número de propiedades beneficiosas en comparación con el uso de la pulpa en su estado original.

2.2.8 Parámetros de calidad en frutas

La evaluación de la calidad de la fruta al momento de la cosecha se basa en una combinación de varios factores, entre los que se incluyen el tamaño, el color, la acidez y el dulzor. Una fruta se considera de alta calidad si presenta un color uniforme e intenso, con un contenido de azúcares que no supera los 17 °brix, una cierta cantidad de acidez, con un pH de 3,8, un pedicelo de color verde y una firmeza que supera las 70 unidades Durofel. Además, es fundamental tener en cuenta la condición de la fruta, que es el resultado de las prácticas agronómicas y de las condiciones climáticas y del suelo de la región. Esto incluye la observación de la presencia de magulladuras, heridas abiertas, deformidades y la presencia de hongos, entre otros factores (Anaya et al., 2020).

2.2.9 Determinación de humedad

El grado de humedad es un indicador crucial y ampliamente empleado en el procesamiento y análisis de alimentos. Este término, junto con contenido de agua y contenido de humedad, se utiliza en la literatura para señalar la cantidad de agua existente en los alimentos, así como en otras sustancias. Dado que el contenido de sustancias secas en los alimentos tiene una relación inversa con su grado de humedad, este último reviste una significativa relevancia económica tanto para el procesador de alimentos como para el consumidor (Flores et al., 2021). Hay múltiples técnicas para medir el contenido de humedad en una variedad de materiales biológicos. No obstante, el análisis gravimétrico se ha establecido como el método estándar en varias industrias, incluyendo la alimentaria, textil, agrícola y química. Los instrumentos más comúnmente utilizados para medir la humedad son el analizador de humedad y el horno de secado, que se utiliza en conjunto con una balanza (Vera et al., 2019).

2.3 Marco legal

2.3.1 Norma INEN 2392:2007

2.3.2 Requisitos fisicoquímicos para infusiones

La norma INEN 2392:2007 para infusiones de hierbas aromáticas, frutas, ya sean molidas, enteras, solas o mezcladas fue empleada como norma alimentaria para la evaluación de los requisitos fisicoquímicos de una infusión a partir de la mora, taxo, tomate de árbol y uvillas liofilizadas, ver tabla 5.

Tabla 5.
Requisitos fisicoquímicos para infusiones

Requisitos	Unidad	Valores		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Humedad	Fracción en masa (%)	---	12	NTE INEN 1114

Fuente: INEN, 2007

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación.

El desarrollo del presente trabajo fue basado en la metodología de tipo experimental debido a que se manipularon diversas variables de interés durante toda la fase experimental, además en la cual se formularon las infusiones con distintas concentraciones a partir de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) liofilizadas. A su vez se evaluó el contenido de polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante en cada una de las infusiones para seleccionar el mejor tratamiento.

El nivel de conocimiento de la presente investigación fue experimental, debido a que se evaluó si la liofilización tendrá un impacto sobre los compuestos bioactivos (polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante) en una infusión a partir de las frutas mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) de la sierra ecuatoriana, principalmente implementando la liofilización como un método de conservación con el fin de evitar la degradación de los compuestos bioactivos, lo que llegaría a un segmento de consumidores interesados los cuales no tienen acceso a las frutas frescas.

3.1.2 Diseño de investigación.

La investigación consistió en un diseño experimental, el cual se basó de manera cuantitativa, además se fundamentó en el estudio previo realizado por Lui, et al., (2022), el cual se enfocó en la aplicación de la liofilización en la industria alimentaria, a su vez se valoró su impacto en las características organolépticas, rehidratación, fenoles totales y capacidad antioxidante. Se evaluaron cuatro tratamientos, cada una conformadas con diferentes concentraciones de las frutas liofilizadas para elaborar una infusión. Se realizaron los análisis del contenido de polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante respectivamente para identificar cuál de los tratamientos presentaron un mejor perfil en cuanto a los compuestos bioactivos.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente.

- Frutas frescas (Mora, Taxo, Tomate de árbol y Uvilla)
- Frutas liofilizadas (Mora, Taxo, Tomate de árbol y Uvilla)
- Frutas liofilizadas en diferentes proporciones (Mora, Taxo, Tomate de árbol y Uvilla)

3.2.1.2. Variable dependiente.

- Polifenoles totales
- Flavonoides totales
- Antocianinas totales
- Capacidad antioxidante

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables.

A continuación, se detalla la matriz de operacionalización de variables dependientes como se presenta en la tabla 6.

Tabla 6.

Matriz de operacionalización de las variables dependientes (Análisis de compuestos bioactivos)

Variable dependiente			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Capacidad antioxidante	Cuantitativo	Continuo	µg de AAsEq/mL
Polifenoles totales	Cuantitativo	Continuo	mg AGEq/g
Flavonoides totales	Cuantitativo	Continuo	mg QEq/g
Antocianinas totales	Cuantitativo	Continuo	mg AtEq/g
Índice de madurez	Cuantitativo	Continuo	°Bx/%AT

Elaborado por: El Autor, 2024

A continuación, se detalla la matriz de operacionalización de variables dependientes, las cuales se presentan en la tabla 7.

Tabla 7.
Matriz de operacionalización de las variables independientes

Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Frutas frescas	Cualitativo	Ordinal	Mayor contenido de polifenoles, antocianinas, flavonoides y capacidad antioxidante
Frutas liofilizadas	Cualitativo	Ordinal	Mayor contenido de polifenoles, antocianinas, flavonoides y capacidad antioxidante
Infusiones	Cualitativo	Ordinal	Mayor contenido de polifenoles, antocianinas, flavonoides y capacidad antioxidante

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.3 Tratamientos

A partir de diferentes investigaciones se procedió a formular cuatro tratamientos con distintas concentraciones de mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas, por lo tanto, se realizó cuatro tratamientos y por triplicado a partir de las frutas liofilizadas obteniendo 16 unidades experimentales.

Además, en la formulación de los tratamientos se priorizó el contenido de compuestos bioactivos de cada fruta indicada en el estudio de Pérez, et al., (2019), una vez elaboradas las infusiones se realizó un análisis al contenido de polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante con el fin de identificar cuál de los tratamientos presenta un mejor perfil en cuanto al contenido de dichos compuestos. Las formulaciones detalladas de los tratamientos planteadas se indican en la Tabla 8.

Tabla 8.
Tratamientos experimentales aplicados al proyecto

Frutas	Formulaciones								
	T1		T2		T3		T4		
	%	g	%	g	%	g	%	g	
liofilizadas									
Mora	25	1,25	35	1,75	40	2,00	45	2,25	
Taxo	25	1,25	35	1,75	40	2,00	45	2,25	
Tomate de árbol	25	1,25	15	0,75	10	0,50	5	0,25	
Uvilla	25	1,25	15	0,75	10	0,50	5	0,25	

Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.4 Diseño experimental

La investigación se basó en las variables del estudio, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA) para evaluar si existían diferencias significativas entre los cuatro tratamientos definidos. Estos tratamientos variaban en concentraciones de frutas liofilizadas (mora, taxo, tomate de árbol y uvilla), en los cuales se comparó el contenido de polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales y capacidad antioxidante en las formulaciones. Así, se estableció cuál tratamiento presentaba el mejor perfil en cuanto a compuestos bioactivos.

3.2.5 Recolección de datos

3.2.5.1. Recursos.

3.2.5.1.1. Bibliográficos.

- Revistas científicas
- Artículos científicos
- Tesis de pregrado y posgrado.
- Recursos institucionales
- Laboratorio de Suelos

3.2.5.1.2. Materia prima.

- Mora (*Rubus glaucus*)
- Taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*)
- Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)
- Uvilla (*Physalis peruviana L.*)

3.2.5.1.3. Equipos para la determinación de humedad.

- Balanza analítica capacidad máxima de 220 g, resolución de 0.01 mg
- Desecador con deshidratante EW-25000-27
- Horno de aire caliente WGL-30B con resolución de 0,1°C

3.2.5.1.4. Equipos para la determinación polifenoles totales.

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Centrífuga

- Agita tubos (vortex)

3.2.5.1.5. Equipos para la determinación flavonoides totales.

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Centrífuga
- Agita tubos (vortex)

3.2.5.1.6. Equipos para la determinación antocianinas totales.

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Centrífuga
- Agita tubos (vortex)

3.2.5.1.7. Equipos para la determinación de la capacidad antioxidante.

- Espectrofotómetro UV-Visible
- Balanza analítica
- Centrífuga
- Agita tubos (vortex)

3.2.5.1.8. Equipos para la elaboración de fruta liofilizadas.

- Liofilizador de laboratorio
- Balanza analítica
- Ultra-congelador
- Congelador

3.2.5.1.9. Materiales y reactivos.

- Bureta
- Pipetas
- Matraz Erlenmeyer
- Soporte universal
- Gotero
- Vidrio reloj
- Capsula de porcelana

- Electrodo de pH
- Vaso de precipitación
- Matraces aforados de 25 mL y 10 mL
- Vasos de precipitados de 50 mL
- Pipetas de 1, 5 y 10 mL
- Balón de aforo de 100 mL
- Balones de aforo de 10 mL
- Frascos ámbar de 5 mL
- Micropipetas 1 – 1000 μ L
- Puntas de micropipeta
- Tubos de ensayo con tapón
- Tubos de centrífuga
- Cubetas de plástico de 3 mL para espectrofotometría visible
- Ácido Gálico 97,5-102,5%
- Metanol
- Agua destilada
- Reactivo de Folin-Ciocalteu 2N
- Carbonato sódico 7,5%
- Fluoruro de sodio
- Cloruro de aluminio 99,0%
- Nitrito de sodio 98,0%
- Hidróxido de sodio 99,0%
- Carbonato de sodio 99,5%
- Quercetina hidratada 95,0%
- Alcohol etílico absoluto 99,85%
- Papel aluminio
- Cloruro de potasio 0,025 M
- Ácido clorhídrico 0,5 M
- Acetato de sodio 0,4 M
- Catequina
- Radical DPPH
- Ácido ascórbico

- Bolsas de papel de aluminio sellables
- Bolsas de filtro para té

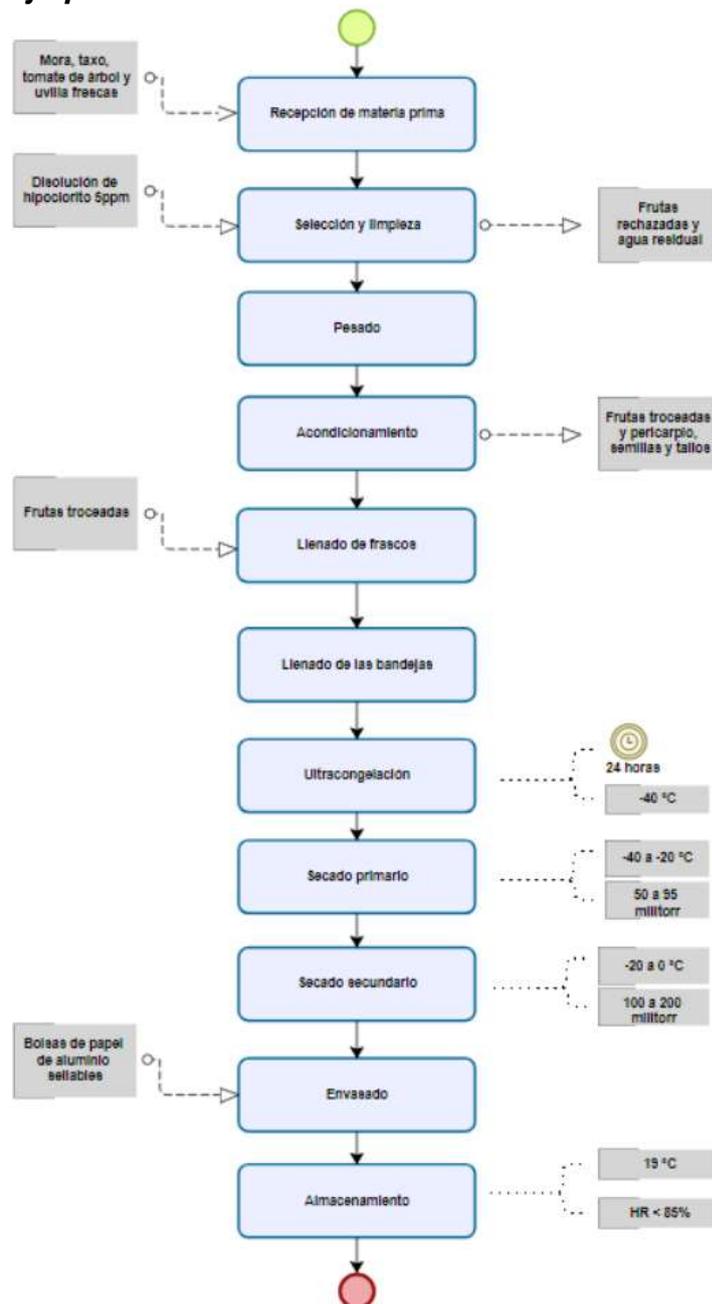
3.2.5.2. Métodos y técnicas.

3.2.5.2.1. Proceso de elaboración de frutas liofilizadas.

Diagrama de flujo del proceso de obtención de las frutas liofilizadas se detalla en la Figura 3.

Figura 3.

Diagrama de flujo para la obtención de frutas liofilizadas



Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.5.2.2. Descripción del diagrama de flujo para la obtención de frutas liofilizadas.

Recepción de la materia prima: Se receptaron las materias primas (mora, taxo, tomate de árbol y uvilla).

Selección: Se descartó la materia prima que no cumplió con los requisitos necesarios de índice de madurez ($^{\circ}\text{Bx}/\% \text{AT}$), en el caso del taxo, tomate de árbol y la mora se seleccionaron con un índice de madurez de 5 y el taxo se seleccionó con un índice de madurez de 3 descrita en la tabla 9.

Limpieza: Se eliminaron todas las impurezas (ramas y hojas) mediante un enjuagado con una disolución de hipoclorito a una concentración de 5 ppm.

Pesado: Las frutas previamente limpiadas se pesaron para establecer la disposición de materia prima.

Acondicionamiento: Posteriormente se retiraron las cáscaras, tallos y semillas.

Llenado de bandejas: La colocación de frutas en las bandejas fue de forma homogénea con el objetivo de obtener un correcto proceso de liofilización, optimizando el espacio.

Colocación de termocuplas: En cada nivel de la cámara de secado contó con termocuplas en una fruta, de características de mayor grosor y madurez.

Ultracongelación: Durante esta fase del proceso, las frutas fueron expuestas a temperaturas de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un período de 24 horas.

Secado Primario: En esta etapa del proceso la muestra fue sometida a un proceso de deshidratación en el cual se disminuyó la presión de la cámara (50 a 95 mili torr) y se incrementó la temperatura (-40 a -20°C). Este procedimiento tuvo como finalidad la eliminación del hielo presente en la muestra mediante sublimación.

Secado Secundario: Se eliminó por desorción el agua que no se congeló en la muestra.

Envasado: En este proceso se envasaron las frutas liofilizadas en bolsas de papel de aluminio sellables

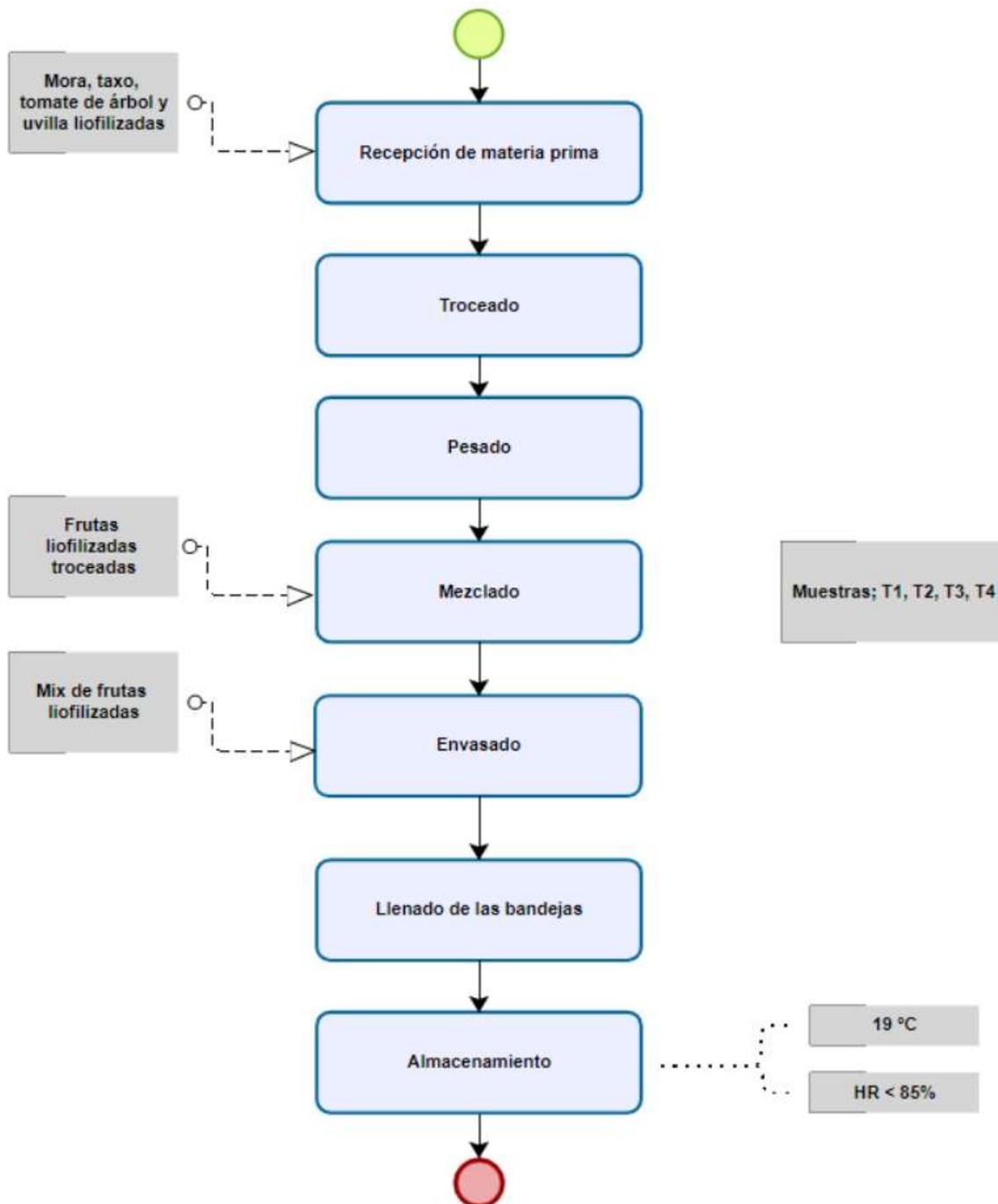
Almacenamiento: Una vez envasadas las frutas liofilizadas, se mantuvieron a una temperatura de 19°C a una humedad relativa de 85% o menos.

3.2.5.2.3. Proceso de elaboración de un mix de frutas para una infusión.

Diagrama de flujo para la obtención del mix para una infusión se detalla en la Figura 4.

Figura 4.

Diagrama de flujo para la elaboración de un mix para una infusión



Elaborado por: El Autor, 2024

3.2.5.2.4. Descripción del proceso de elaboración de la infusión a partir de las frutas liofilizadas.

Recepción de la materia prima: Las frutas previamente liofilizadas se receptaron para iniciar el proceso de elaboración de la infusión.

Troceado: Se colocaron las frutas liofilizadas en un mortero con el fin de reducir el tamaño de partícula.

Pesado: Las frutas previamente troceadas, se pesaron para indicar la cantidad total de materia prima.

Mezclado: Se mezclaron las frutas liofilizadas troceadas en diferentes proporciones para la elaboración de la infusión.

Envasado: En este proceso se envasaron 3 g de la mezcla de frutas troceadas en bolsas de filtro para té a partir de papel de pulpa de madera.

Pesado: Luego del proceso de envasado se pesaron las bolsas de la infusión con el fin de que cumplan con el peso establecido.

Almacenamiento: Las bolas de las infusiones, se almacenaron a una temperatura de 19°C con una humedad relativa a 85%.

3.2.5.2.5. Determinación de Humedad por el método AOAC 930.15

Para la determinación de humedad, consistió en evaporar el contenido de agua presente en la muestra, mediante un secado por la estufa, bajo condiciones normalizadas. Se definió la humedad con la utilización de una muestra de 3 g la cual será sometida a una temperatura de 110°C por 3 horas, una vez transcurrido el tiempo se dejó enfriar la muestra en el desecador por 30 minutos y posteriormente se pesó. Este proceso se realizó por triplicado.

Cálculos:

El porcentaje de agua en la muestra se calculó mediante la ecuación 1.

$$\% \text{Humedad o } \% \text{agua} \left(\frac{\text{g agua}}{100\text{g}} \right) = \frac{(P1-P2)}{m} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$P1$ = Peso de la placa de la muestra húmeda (g)

$P2$ = Peso de la placa de la muestra seca (g)

m = Peso de la muestra húmeda (g)

3.2.5.2.6. Determinación de polifenoles totales por el método Folin-Ciocalteu

En la determinación de polifenoles se necesitaron tomar 250 μL de disolución patrón de ácido gálico, luego se colocó en una fiola de 25 mL, posteriormente se añadieron 15 mL de agua destilada y 1,25 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, luego de homogenizar el contenido de la fiola y reposar 8 minutos en oscuridad, se adicionó a la fiola 3,75 mL de la disolución de carbonato sódico al 7,5%, seguidamente se llevó a un volumen de 25 mL con agua destilada y se homogenizó la fiola, se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente durante 2 horas. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm.

3.2.5.2.7. Determinación de flavonoides totales mediante el método de cloruro de aluminio

Se utilizó 500 μL de muestra de los cuales se agregaron 1500 μL de etanol, 100 μL de cloruro de aluminio al 10%, 100 μL de acetado de potasio 1M y 2800 μL de agua destilada, luego se los dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos, con el fin de que se lleve a cabo la reacción de los flavonoides con las sales metalizas de cloruro de aluminio ya que actuó como un perfecto catalizador para la coloración amarilla pálida de la muestra y finalmente se leyó en el espectrofotómetro con una absorción de 415 nm.

Cálculos:

El porcentaje de quercetina en la muestra se calculó mediante la ecuación 2.

$$\%Quer = \frac{Am \cdot P_R \cdot 5}{A_R} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

%Quer: Contenido de flavonoides totales expresados como quercetina (%)

Am: Absorbancia de la solución muestra

P_R: Peso de la sustancia de referencia

A_R: Absorbancia de la solución de referencia

3.2.5.2.8. Determinación de antocianinas por método de pH diferencial

En la preparación de muestras se realizaron diluciones con un máximo de 1:4 en proporción muestra: buffer. Se emplearon 2 muestras con diferentes buffers a un pH 1 y pH 4,5. Para la medición de antocianinas se estableció la línea base y corrigieron los errores en la medición de la celda, además se analizó un blanco con

agua destilada en un rango de 400 a 700 nm. Luego, se tomaron las muestras preparadas en el punto anterior tanto a pH 1 como a pH 4,5 y por último se leyeron las muestras en las longitudes de onda de 520 y 700 nm.

Cálculos:

El contenido de antocianinas totales en la muestra se calculó mediante las ecuaciones 3 y 4.

$$\Delta A = (A_{520} - A_{700})_{pH=1} - (A_{520} - A_{700})_{pH=4,5} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$AT \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\Delta A \cdot PM \cdot FD \cdot 1000}{\epsilon \cdot L} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

AT: Antocianinas totales

ΔA : Cambio de absorbancia

PM: Masa molecular para cianidina-3-glucósido (449,2 g/mol)

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

L: Longitud de paso de la celda (1 cm)

3.2.5.2.9. Determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH

Para determinar la capacidad antioxidante utilizando el método DPPH, se preparó una solución de DPPH disolviendo 0,01 g de este en 100 ml de metanol al 96%. Esta solución se agitó durante 2 minutos para asegurar su homogeneización. Posteriormente, se empleó la solución resultante para llevar a cabo la reacción con cada una de las muestras situadas en las distintas celdas. La reacción va a consistir en colocar 30 μ L de extracto en cada una de las diferentes concentraciones de la muestra con 270 μ L de DPPH, posteriormente se dejó reposar la muestra durante 30 minutos, luego se midió cada muestra patrón de DPPH en el espectrofotómetro con una absorción de 517 nm.

Se calculará el porcentaje de radicales DPPH capturados, con la ecuación 5.

$$\% \text{Inhibición} = \frac{\text{Absorbancia control de la muestra} - \text{Absorbancia de la muestra}}{50}$$

3.2.5 Análisis estadístico.

En la presente investigación, se empleó el análisis de varianza ANOVA para cuatro tratamientos evaluados para obtener una infusión a partir de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas. La ejecución del análisis estadístico fue en función de la tabla ANOVA donde se aplicó la prueba Tukey que permitió evidenciar

la diferencia entre los tratamientos. Los análisis se realizaron con 5% de significancia. La tabla ANOVA previamente mencionada se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9.

Análisis de varianza para las pruebas de laboratorio

Fuente de varianza	Grados de Libertad
Error experimental (N-T)	$(12-4) = 8$
Tratamientos (T-1)	$(4-1) = 3$
Total (N-1)	$(12-1) = 11$

N: número de muestras

T: número de tratamientos

Elaborado por: El Autor, 2024

H_0 = Ninguno de los tratamientos de las infusiones a partir de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas presentó una mayor cantidad de compuestos bioactivos en su composición.

H_1 = Al menos uno de los tratamientos de las infusiones a partir de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas presentó una mayor cantidad de compuestos bioactivos en su composición.

4. RESULTADOS

4.1 Identificación de los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) de la sierra ecuatoriana.

A continuación, se presentan los resultados de la identificación del contenido de compuestos polifenólicos totales flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante evaluados en la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla por gramo de fruta fresca.

Como se puede observar, en la tabla 10 se detallan los resultados obtenidos de los análisis de polifenoles, flavonoides, antocianinas totales y la capacidad antioxidante por gramo de fruta fresca.

Tabla 10.

Valores medios y E.E. los de compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla frescas.

Tratamientos	Polifenoles		Flavonoides		Antocianinas		Capacidad	
	Totales		Totales		Totales		Antioxidante	
	(mg AGEq/g)		(mg QEq/g)		(mg ATEq/g)		(µg AAsEq/mL)	
Taxo	11,37	a	0,08	a	0,03	c	0,16	a
Mora	7,68	b	0,01	b	3,08	a	0,20	b
Uvilla	6,56	c	0,0003	d	0,03	c	0,20	b
Tomate de árbol	1,90	d	0,004	c	0,37	b	0,28	c
E.E.*	0,02		0,0005		0,01		0,002	

mg AGEq/g: miligramos de ácido gálico equivalente por gramo de muestra.

mg QEq/g: miligramos de quercetina equivalente por gramo de muestra. mg

ATEq/g: miligramos de antocianinas totales equivalente por gramo de

muestra. µg AAE/mL: microgramos de Ácido Ascórbico Equivalente por mililitro.

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

E.E*: Error estándar

Elaborado por: El Autor, 2024

Los resultados obtenidos sobre el contenido de compuestos bioactivos indican que, al observar los valores de polifenoles, flavonoides totales y capacidad

antioxidante, el taxo es la fruta con las medias más altas con 11,37 mg de AGEq/g de fruta fresca en polifenoles totales, 0,08 mg de QEq/g de fruta fresca en flavonoides totales y 0,16 μ g AASeq/mL de fruta fresca en capacidad antioxidante. En cuanto a las antocianinas totales, la mora presentó el mayor contenido por gramo de fruta fresca, con un total de 3,08 mg de ATEq. Existieron diferencias significativas entre las frutas frescas, siendo la fruta con mayor contenido en compuestos bioactivos identificada con la letra "a". Esto indicó que todas las medias son estadísticamente diferentes entre sí ($p > 0,05$), a excepción de la uvilla y el taxo en su contenido de antocianinas totales, cuyas medias no mostraron diferencias estadísticas significativas. Al comparar las medias de los compuestos bioactivos por fruta, se observó que los polifenoles totales fueron el compuesto con mayor contenido por gramo, siendo el taxo la fruta con mayor contenido.

4.2 Determinación los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en las frutas (mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite* L.H. Bailey), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana* L.)) de la sierra ecuatoriana posterior al proceso de liofilización.

A continuación, se detalla la determinación del contenido de compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla mediante una prueba de Tukey dio los resultados que se describen y son representados en la tabla 11.

Tabla 11.

Valores medios y E.E. de los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas.

Tratamientos	Polifenoles Totales (mg AGEq/g)	Flavonoides Totales (mg QEq/g)	Antocianinas Totales (mg ATEq/g)	Capacidad Antioxidante (μ g AAEq/mL)
Taxo Liofilizado	386,28 ^a	2,70 ^a	0,50 ^b	0,14 ^a
Mora Liofilizada	349,54 ^b	0,71 ^b	4,44 ^a	0,20 ^b
Uvilla Liofilizada	299,93 ^c	0,10 ^d	0,14 ^c	0,24 ^c
Tomate de árbol Liofilizado	35,12 ^d	0,54 ^c	0,09 ^d	0,27 ^d
E.E.*	1,26	0,01	0,01	0,002

mg AGEq/g: miligramos de ácido gálico equivalente por gramo de muestra.

mg QEq/g: miligramos de quercetina equivalente por gramo de muestra. mg

ATEq/g: miligramos de antocianinas totales equivalente por gramo de

muestra. μ g AAE/mL: microgramos de Ácido Ascórbico Equivalente por mililitro.

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

E.E*: Error estándar

Elaborado por: El Autor, 2024

La tabla 11 mostró que la liofilización no solo no afectó negativamente el contenido de compuestos bioactivos, sino que también los aumentó por gramo de

fruta liofilizada en comparación con la fruta fresca. La fruta liofilizada que más destacó en su perfil de polifenoles, flavonoides totales y capacidad antioxidante fue el taxo, con 386,28 mg de AGEq/g en polifenoles, 2,70 mg de QEq/g en flavonoides totales y 0,14 μg AAsEq/mL en capacidad antioxidante. En cuanto a las antocianinas totales, la mora presentó el mayor contenido por gramo de fruta liofilizada, con un total de 4,44 mg de ATEq. Al evaluar el contenido de compuestos bioactivos de cada fruta, los polifenoles totales continuaron siendo los más abundantes, destacando el taxo con el perfil más elevado por gramo de fruta liofilizada. En general, todas las frutas mostraron un aumento en sus perfiles de compuestos bioactivos tras la liofilización. Además, se identificó que todas las medias son estadísticamente diferentes entre sí ($p > 0,05$), confirmando que el contenido de compuestos bioactivos aumenta por cada gramo de fruta liofilizada analizada.

4.3 Evaluación los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales, y la capacidad antioxidante en una infusión a partir de la mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L*) liofilizadas.

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales, y la capacidad antioxidante en las infusiones obtenidos en la prueba de Tukey, los cuales se presentan en la tabla 12.

Tabla 12.

Valores medios y E.E. de los compuestos polifenólicos totales, flavonoides totales, antocianinas totales y la capacidad antioxidante en las infusiones a partir de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla liofilizadas.

Tratamientos	Polifenoles Totales (mg AGEq/g)	Flavonoides Totales (mg QEq/g)	Antocianinas Totales (mg ATEq/g)	Capacidad Antioxidante (µg AAEq/mL)
Infusión 1	157,59 ^c	1,62 ^c	1,93 ^b	0,17 ^b
Infusión 2	258,35 ^b	1,65 ^c	1,69 ^c	0,18 ^b
Infusión 3	358,51 ^a	3,46 ^b	2,00 ^a	0,12 ^a
Infusión 4	362,14 ^a	3,62 ^a	1,54 ^d	0,12 ^a
E.E.*	1,40	0,01	0,01	0,001

mg AGEq/g: miligramos de ácido gálico equivalente por gramo de muestra.

mg QEq/g: miligramos de quercetina equivalente por gramo de muestra. mg

ATEq/g: miligramos de antocianinas totales equivalente por gramo de

muestra. µg AAE/mL: microgramos de Ácido Ascórbico Equivalente por mililitro.

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

E.E*: Error estándar

Elaborado por: El Autor, 2024

Los resultados indicaron que, en cuanto a los polifenoles totales, las infusiones 3 y 4 presentaron las medias más altas sin diferencias significativas, al igual que en la capacidad antioxidante. Esto se debe a que ambas infusiones contienen un mayor porcentaje de mora y taxo en su formulación. Los valores reportados para la infusión 3 fueron: 358,51 mg de AGEq/g de infusión en polifenoles y 0,12 µg de AAEq/mL de infusión en capacidad antioxidante. La infusión 4 mostró 368,14 mg

de AGEq/g de infusión en polifenoles y 0,12 µg de AAsEq/mL de infusión en capacidad antioxidante. En cuanto al contenido de flavonoides totales, la infusión 4 tuvo una media más elevada con 3,62 mg de QEq/g de infusión. Sin embargo, la infusión 3 presentó el mayor contenido de antocianinas totales con 2,00 mg de AtEq/g de infusión. Ambas infusiones, al poseer mayor contenido de taxo liofilizado, aumentan el contenido de flavonoides y disminuyen el contenido de antocianinas.

5. DISCUSIÓN

El objetivo de este trabajo experimental fue determinar el impacto de la liofilización en los compuestos bioactivos de cuatro frutas de la Sierra Ecuatoriana. Se realizaron cuatro tratamientos de infusiones utilizando mora (*Rubus glaucus*), taxo (*Passiflora tripartite L.H. Bailey*), tomate de árbol (*Solanum betaceum*) y uvilla (*Physalis peruviana L.*) liofilizadas con el propósito de aumentar el perfil de compuestos bioactivos por gramo de infusión. Para lograr esto, las frutas fueron sometidas a un proceso de liofilización a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, reduciendo su contenido de agua. Es crucial analizar las frutas frescas para determinar su contenido y comparar cómo varían los compuestos bioactivos por gramo después de la liofilización en comparación con las frutas frescas.

La mora en fresco presenta los siguientes resultados: 7,68 mg de AGEq /g fruta fresca, 0,01 mg de QEq/g fruta fresca, 3,08 mg AtEq/g fruta fresca y 0,20 μg de AAsEq/mL fruta fresca. El taxo por gramo de fruta fresca refleja los siguientes resultados: 11,37 mg de AGEq /g fruta fresca, 0,08 mg de QEq/g fruta fresca, 0,03 mg AtEq/g fruta fresca y 0,16 μg de AAsEq/mL fruta fresca. El tomate de árbol en fresco presenta los siguientes resultados: 1,90 mg de AGEq /g fruta fresca, 0,004 mg de QEq/g fruta fresca, 0,37 mg AtEq/g fruta fresca y 0,28 μg de AAsEq/mL fruta fresca. La uvilla por gramo de fruta fresca refleja los siguientes resultados: 6,56 mg de AGEq /g fruta fresca, 0,0003 mg de QEq/g fruta fresca, 0,03 mg AtEq/g fruta fresca y 0,20 μg de AAsEq/mL fruta fresca.

En referencia al estudio realizado por Pérez et al. (2019), se determinó el contenido de compuestos bioactivos presentes en varias frutas y tubérculos de la Sierra Ecuatoriana, incluyendo la mora. Los resultados indicaron que la mora posee: 1,27 mg de AGEq/g de fruta fresca, 8,6 mg de QEq/g de fruta fresca, 2,4 mg de AtEq/g de fruta fresca y 0,06 $\mu\text{mol TE/g}$ de fruta fresca. El contenido de compuestos bioactivos del taxo fue: 68,39 mg de AGEq/g de fruta fresca, 65,32 mg de QEq/g de fruta fresca, 0,62 mg de AtEq/g de fruta fresca y 3,36 $\mu\text{mol TE/g}$ de fruta fresca. El tomate de árbol presentó: 6,82 mg de AGEq/g de fruta fresca, 4,66 mg de QEq/g de fruta fresca, 0,35 mg de AtEq/g de fruta fresca y 0,198 $\mu\text{mol TE/g}$ de fruta fresca. La uvilla mostró: 2,56 mg de AGEq/g de fruta fresca, 1,56 mg de QEq/g de fruta fresca, 0,34 mg de AtEq/g de fruta fresca y 0,079 $\mu\text{mol TE/g}$ de fruta fresca.

En la determinación de los compuestos bioactivos en la fruta liofilizada, se identificó una tendencia de aumento en el contenido de polifenoles, flavonoides, antocianinas totales y capacidad antioxidante. Los resultados de la mora liofilizada fueron: 349,54 mg de AGEq/g de fruta liofilizada, 0,71 mg de QEq/g de fruta liofilizada, 4,44 mg de AtEq/g de fruta liofilizada y 0,20 µg de AAsEq/mL de fruta liofilizada. El taxo liofilizado presentó: 386,28 mg de AGEq/g de fruta liofilizada, 2,70 mg de QEq/g de fruta liofilizada, 0,50 mg de AtEq/g de fruta liofilizada y 0,14 µg de AAsEq/mL de fruta liofilizada. El tomate de árbol liofilizado mostró: 35,12 mg de AGEq/g de fruta liofilizada, 0,54 mg de QEq/g de fruta liofilizada, 0,09 mg de AtEq/g de fruta liofilizada y 0,27 µg de AAsEq/mL de fruta liofilizada. La uvilla liofilizada presentó: 299,93 mg de AGEq/g de fruta liofilizada, 0,10 mg de QEq/g de fruta liofilizada, 0,14 mg de AtEq/g de fruta liofilizada y 0,24 µg de AAsEq/mL de fruta liofilizada.

En comparación con el estudio de Wang et al. (2023), que determinó el efecto de múltiples métodos de conservación, se demostró que la liofilización al vacío conservó mejor los compuestos polifenólicos y flavonoides totales por gramo de Baya Goji (*Lycium barbarum* L.) liofilizada, presentando los siguientes resultados: 6,01 mg de AGEq/g de fruta liofilizada y 2,89 mg de QEq/g de fruta liofilizada. Asimismo, el estudio de Kittibunchakul et al. (2023) demostró los efectos de la liofilización y el secado por aire caliente conductivo en frutos de Mao Berry (*Antidesma bunius* L.) sobre el contenido de ácido fenólico, ascórbico y sus actividades antioxidantes. Los resultados obtenidos al analizar la mao berry liofilizada fueron: 2,07 mg de AGEq/g de fruta liofilizada, 0,99 mg de QEq/g de fruta liofilizada y 0,63 mg de AtEq/g de fruta liofilizada.

A partir de los resultados obtenidos al evaluar el contenido de compuestos polifenólicos, flavonoides, antocianinas totales y capacidad antioxidante en las diferentes infusiones a partir de las frutas liofilizadas, se determinó que el tratamiento 3 es el que posee las mejores medias con: 358,51 mg de AGEq/g de infusión, 3,46 mg de QEq/g de infusión, 2,00 mg de AtEq/g de infusión y 0,12 µg de AAsEq/mL de infusión.

En el estudio de Dasmedir et al. (2023), se desarrolló una infusión de arándanos liofilizados y té negro con el objetivo de solventar el déficit de hierro en algunas personas. Se evaluó la capacidad antioxidante en muestras de infusiones a partir de arándanos liofilizados y té negro, siendo la mejor infusión la que contenía 50-50%, con los siguientes contenidos de antioxidantes: 240,23 mg de AGEq/g y 0,27 µg de AAsEq/mL. Por otro lado, el estudio de Prakash et al. (2021) determinó las actividades antioxidantes en infusiones a partir de las frutas *Davidsonia pruriens* y *Davidsonia jerseyana*, comparándolas con infusiones comerciales de frutos del bosque. Los resultados evidenciaron que las infusiones de frutos del bosque (FB) obtuvieron perfiles similares a las de *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ), con los siguientes contenidos de polifenoles y antocianinas totales: 10,4 mg de AGEq/g DP, 0,8 mg de AtEq/g DP, 11,3 mg de AGEq/g DJ, 1,5 mg de AtEq/g DJ, 12,2 mg de AGEq/g FB y 1,8 mg de AtEq/g FB. A partir de los resultados obtenidos al evaluar el contenido de compuestos polifenólicos, flavonoides, antocianinas totales y capacidad antioxidante en las diferentes infusiones a partir de las frutas liofilizadas, se determinó que el tratamiento 3 es el que posee mejores medias con: 358,51 mg de AGEq /g infusión, 3,46 mg de QEq/g infusión, 2,00 mg AtEq/g infusión y 0,12 µg de AAsEq/mL infusión.

En el estudio de Dasmedir et al., (2023) en el cual desarrolló una infusión de arándanos liofilizados y té negro con el objetivo de solventar el déficit de hierro que sufren algunas personas, en el mismo se evaluó la capacidad antioxidante en muestras de las infusiones a partir de arándanos liofilizados y té negro siendo la mejor infusión la que contenía 50-50%, el contenido de antioxidantes fueron los siguientes: 240,23 mg de AGEq /g y 0,27 µg de AAsEq/mL. Por otro lado, en el estudio Prakash et al., (2021) determinó las actividades antioxidantes en infusiones a partir de las frutas *Davidsonia pruriens* y *Davidsonia jerseyana* estas fueron comparadas con infusiones comercial de frutos del bosque, dichos resultados evidenciaron que las infusiones de frutos el bosque (FB) obtuvo perfiles similares a las *Davidsonia pruriens* (DP) y *Davidsonia jerseyana* (DJ), los contenidos de polifenoles y antocianinas totales fueron los siguientes: 10,4 mg de AGEq /g DP, 0,8 mg AtEq/g DP, 11,3 mg de AGEq /g DJ, 1,5 mg AtEq/g DP, 12,2 mg de AGEq /g FB y 1,8 mg AtEq/g FB. Por lo tanto, se pude concluir que al implementar frutas

con alto contenido de compuestos bioactivos existirá un aumento en el perfil de estos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al caracterizar las frutas frescas, se identificó que el taxo es la fruta con el mejor contenido de polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante. Específicamente, el taxo presentó 11,37 mg de AGEq/g de fruta fresca en polifenoles, 0,08 mg de QEq/g de fruta fresca en flavonoides y 0,16 µg de AAsEq/mL de fruta fresca en capacidad antioxidante. Por otro lado, en cuanto a las antocianinas totales, la mora mostró el mayor contenido por gramo analizado, con 3,08 mg de AtEq. Estos resultados destacan al taxo y la mora como una fuente rica en compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes significativas.

Se determinó que la liofilización es un método de conservación eficiente, de la misma forma no solo preserva el perfil de los compuestos bioactivos sino concentra su contenido por cada gramo de fruta liofilizada. Además, la fruta que presentó mejor perfil en estos compuestos fue el taxo liofilizado, siendo esta última la que posee mayor contenido de polifenoles con 386,28 mg de AGEq /g fruta liofilizada, flavonoides con 2,70 mg de QEq/g fruta liofilizada y la capacidad antioxidante con 0,14 µg de AAsEq/mL fruta liofilizada. Se concluyó que la fruta que posee el mayor perfil en antocianinas totales es la mora, con un contenido de 4,44 mg AtEq/g fruta liofilizada.

La cantidad de polifenoles totales influye directamente en los niveles de flavonoides y antocianinas, ya que estos son metabolitos secundarios de los polifenoles. Por lo tanto, un mayor contenido de polifenoles se traduce en una mayor cantidad de flavonoides y antocianinas. Sin embargo, no todos los polifenoles se convierten en estos compuestos. La infusión 3 pese a que no se diferencie estadísticamente de la infusión 4, obtuvo el mejor contenido en polifenoles totales con 358,51 mg de AGEq /g, infusión, flavonoides totales con 3,46 mg de QEq/g infusión, antocianinas totales con 2,00 mg AtEq/g infusión y capacidad antioxidante con 0,12 µg de AAsEq/mL infusión.

El objetivo de la investigación fue evaluar el impacto de la liofilización y desarrollar infusiones a partir de frutas liofilizadas para mejorar su perfil de compuestos bioactivos. Se determinó que las frutas liofilizadas, específicamente la mora y el taxo, poseen un mayor contenido de polifenoles, flavonoides, antocianinas totales y capacidad antioxidante por gramo en comparación con las

infusiones. Por lo tanto, se puede afirmar que es más beneficioso consumir estas frutas en su forma liofilizada.

6.2 Recomendaciones

Durante la preparación de las muestras es fundamental trocear la fruta de manera homogénea para una correcta eliminación del agua. Además, se sugiere realizar monitoreos a todo el proceso de liofilización con el fin de evitar fugas de presión, de la misma forma controlar la temperatura y presión sean las adecuadas en cada etapa de la liofilización, rectificando cada uno de los inconvenientes con el fin de evitar la pérdida del lote liofilizado.

Para obtener resultados precisos y confiables en el análisis de polifenoles, flavonoides, antocianinas totales y capacidad antioxidante, es esencial identificar correctamente la curva patrón. Esto requiere una adecuada determinación de los factores de disolución, que incluyen la concentración de las soluciones estándar, el solvente utilizado y las condiciones de preparación de las muestras. Una correcta identificación de la curva patrón permite establecer una relación lineal entre la concentración de los compuestos bioactivos y la absorbancia medida. Esto es crucial para cuantificar con precisión los niveles de polifenoles, flavonoides, antocianinas y capacidad antioxidante en las muestras analizadas.

Acorde a las frutas liofilizadas, al ser un producto higroscópico su manipulación debe ser cuidadosa evitando lugares con humedad relativa alta debido a su tendencia de absorber agua lo que puede cambiar su lectura por cada gramo, además, la exposición directa a la luz puede degradar el contenido de compuestos bioactivos presentes por la razón que la mayoría son fotosensibles. Es fundamental destacar que la correcta aplicación de buenas prácticas de manufactura asegurará la inocuidad del producto.

Para complementar los resultados obtenidos en este estudio, sería beneficioso integrar otros métodos de análisis de capacidad antioxidante, como ABTS, FRAP y ORAC. Estos métodos adicionales proporcionarían una evaluación más completa y robusta de la capacidad antioxidante de las frutas frescas, liofilizadas e infusiones. La integración de estos métodos permitiría una caracterización más detallada y precisa de la capacidad antioxidante, ofreciendo una visión más completa de los beneficios potenciales para la salud de estos productos.

Al analizar el contenido de antioxidantes, polifenoles, flavonoides, antocianinas totales en la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla, disueltos en agua,

para luego comparar los resultados con estudios previos que hayan utilizado estas mismas matrices alimentarias. Además, se sugiere evaluar la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los nutrientes de interés en esta investigación (antioxidantes, polifenoles, flavonoides, antocianinas totales) mediante estudios de digestión *in vitro*. Esto permitirá complementar los datos y determinar la capacidad real del organismo para aprovechar estos compuestos bioactivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aluja, Castro, Cárdenas, Hurtado y Arévalo. (2019). *Physalis peruviana* L. (Solana-
ceae) no es huésped de *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae): evidencia
de estudios de campo y laboratorio de varios años en Colombia. *Insects*,
10(12), 434.
- Anaya, Pérez, Ruvalcaba, Sánchez, Romero y Montalvo. (2020). Funcionalización
de los recubrimientos a base de quitosano para la conservación postcosecha
de frutas y hortalizas. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*,
23.
- Assegehegn, Brito de la Fuente, Franco y Gallegos. (2019). The Importance of Un-
derstanding the Freezing Step and Its Impact on Freeze-Drying Process Per-
formance. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 108(4), 1378-1395. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.11.039>
- Ayala, Valenzuela y Bohórquez. (2013). Caracterización fisicoquímica de mora de
castilla (*Rubus glaucus Benth.*) en seis estados de madurez. *Biotecnología
en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 10-18.
- Badui. (2006). *Química de los alimentos*. Naucalpan de Juárez, Edo. de México:
Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Bazalar, Nazareno y Viturro. (2019). Propiedades Nutricionales y Antioxidantes de
Physalis peruviana L. Frutos de la Región Andina del Norte Argentino. *Plant
Foods for Human Nutrition*, 74, 68–75. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0702-1>
- Bruguezi, Chababo, Mujica, Osoreo y Ballerini. (2019). Alimentos de preparación
instantánea a partir de la liofilización de arroz. Obtención de parámetros de
proceso mediante ajuste de datos a modelo matemático. *AJEA*, 1, 2-5.
doi:<https://doi.org/10.33414/ajea.1.594.2019>
- Camacho, Ramírez y Villanueva. (2022). Determinación de Anthocianinas, Fenoles
totales y capacidad antioxidante de *Rubus Robustus* C. Presl. *Revista de la
Sociedad Química del Perú*, 88(2), 129-138.
- Checa, Rosero y Eraso. (2011). Colección y caracterización morfoagronómica del
subgénero Tacsonia en la zona Andina del departamento de Nariño, Colom-
bia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5893-5907.

- Chumacero, Lazo, Navarro, Quinteros. (2022). Conservación de camu camu (*Myrciaria dubia* [Kunth] McVaugh) por liofilización. *Información Tecnológica*, 33(5), 11-18. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000500011>
- Cosme, Pinto, Aires, Morais, Bacelar, Anjos, Ferreira, Vilela y Gonçalves. (2022). Composición de los frutos rojos y sus beneficios para la salud: una revisión. *Foods*, 11(5), 644. doi: <https://doi.org/10.3390/foods11050644>
- Cueva, León, López, Yanchaliquín, Morejón y Salguero. (2017). Antibacterial effects of uvilla (*Physalis peruviana* L.) extracts against *Listeria spp.* isolated from meat in Ecuador. *Int J Curr Microbiol Appl Sci*, 6(4), 1146-1153.
- Dasdemir, Findik, Yildiz y Birisci. (2023). Té negro con arándanos añadidos: efectos de la temperatura de infusión, el método de secado, la concentración de frutos en la formación del complejo hierro-polifenoles, el perfil de polifenoles, la actividad antioxidante y las propiedades sensoriales. *Food Chemistry*, 410, 135-163. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135463>
- Diep, Rush y Yoo. (2022). Tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.): Una revisión de propiedades fisicoquímicas y bioactivas y aplicaciones potenciales. *Food reviews international*, 38(7), 1343-1367. doi:<https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1804931>
- Enaru, Dretcanu, Pop, Stanila y Diaconeasa. (2021). Antocianinas: factores que afectan a su estabilidad y degradación. *Antioxidants*, 10(12). doi:<https://doi.org/10.3390/antiox10121967>
- Espada, Ferreira, Carrera, Palma, Álvarez, Barbero y Ayuso. (2019). Extracción de antioxidantes de mora (*Rubus ulmifolius* L.): comparación entre técnicas de extracción asistida por ultrasonido y microondas. *Agronomy*, 9(11), 745. doi:10.3390/agronomy9110745
- Falconí, Valdiviezo y Ramírez. (2021). Predicción del tiempo de liofilización del arazá (*Eugenia Stipitata*) mediante modelos matemáticos. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 89-92. doi:<https://doi.org/10.46480/esj.5.4.172>
- Flores, Ruiz y Oscanoa. (2021). Protocolo para determinación de humedad en micro algas liofilizadas. *Inst Mar Peru*, 48(1), 5-7.
- Fuentes, Alemán, Antonio, Chavarría, Alvarado y Montero. (2023). Desarrollo de una bebida tipo infusión a partir de pulpa de café (*Coffea arabica*) variedad

- Lempira de Honduras. *Journal of Agricultural Science*, 12(1), 209.
doi:<https://doi.org/10.5539/jas.v12n1p209>
- Guija, Inocente, Ponce y Zarzosa. (2015). Evaluación de la técnica 2, 2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte medico (lima)*, 15(1), 57-60.
- Herrera, Fischer y Chacón. (2012). Evaluación agronómica de materiales de uchuva (*Physalis peruviana L.*), provenientes del centro y nor-oriente colombiano. *Agronomía Colombiana*, 30(1), 15-24.
- Ilyasov, Beloborodov, Selivanova y Terekhov. (2020). Ensayo de decoloración ABTS/PP de las vías de reacción de la capacidad antioxidante. *Molecular Sciences*, 21(3), 2-12. doi:<https://doi.org/10.3390/ijms21031131>
- INEN. (2007). *Servicio Ecuatoriano de Normalización*. Hierbas aromáticas, infusiones, requisitos.
- Isla, Orqueda, Moreno, Torres y Zampini . (2022). Residuos de frutas de *Solanum betaceum*: una valiosa fuente de compuestos bioactivos para su uso en aplicaciones alimentarias y no alimentarias. *Foods MDPI*, 11(21), 3363. doi:<https://doi.org/10.3390/foods11213363>
- Jaramillo, Gutiérrez, Cotes, Gonzáles y Marín. (2011). Detección de los virus AMV, CMV y PLRV en cultivos de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) en Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(1), 5831-5844.
- Kabbas Junior, Cristiane de Moura, Mendanha Cruz, Boscacci Marques, Araújo Vieira do Carmo, Turnes Pasini Deolindo, Daguer, Azevedo y Granato. (2023). Optimización de la extracción similar a la química verde de compuestos fenólicos de semillas de uva (*Vitis labrusca L.*) y mora (*Rubus fruticosus L.*) con evaluaciones concomitantes de actividad biológica y antioxidante. *Journal plants MDPI*, 12, 2-19. doi:<https://doi.org/10.3390/plants12142618>
- Karaklajic-Stajic, Tomic, Pesakovic, Paunovic, Stampar, Mikulic-Petkovsek, C. Grohar, Hudina y Jakopic. (2023). Reinas Negras de las Frutas: Composición Química de la Mora (*Rubus subg. rubus Watson*) y Grosellero Negro (*Ribes nigrum L.*) Cultivares seleccionados en Serbia. *Foods MDPI*, 12, 2-6. doi:<https://doi.org/10.3390/foods12142775>

- Kittibunchakul, Temviriyankul, Chaikham y Kemsawasd. (2023). Efectos de la liofilización y el secado por aire caliente convectivo sobre los compuestos bioactivos predominantes, el potencial antioxidante y el consumo seguro de frutos de maoberry. *LWT-Food science and technology*, 184. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114992>
- Liu, Y., Zhang, Z., y Hu, L. (2022). Tecnología de liofilización de alta eficiencia en la industria alimentaria. *Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(12), 3370-3388. doi:<https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1865261>
- Lourdes, Brito, Cortez, López y Huchin. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA ergo-sum*, 26(2), 6.
- Marín, Caetano y Posada. (2009). Caracterización morfológica de especies del género Passiflora de Colombia. *Acta agronómica*, 58(3), 117-125.
- Martínez, Villacís, Viera, Jacome, Espín, León y Santana. (2019). Evaluación de nuevas tecnologías de producción limpia de la mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*), en la zona Andina de Ecuador, para un buen vivir de los fruticultores. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(1), 63-70.
- Marulanda, Isaza y Ramirez. (2007). Identificación de la especie de Colletotrichum responsable de la antracnosis en la mora de castilla en la región cafetera. *Scientia et technica*, 13(37), 585-590.
- Muñoz, Parra, J. Simirgiotis, F. Sepúlveda y C. Parra. (2021). Caracterización Química, Propiedades Nutricionales y Bioactivas del Fruto de *Physalis peruviana* de Zonas Altas del Desierto de Atacama. *Foods MDPI*, 2-5. doi:<https://doi.org/10.3390/foods10112699>
- Orqueda, Torres, Verón, Pérez, Rodríguez, Zampini, Isla. (2021). Propiedades físico-químicas, microbiológicas, funcionales y sensoriales de pulpa congelada de frutos de naranja y chilito rojo anaranjado (*Solanum betaceum Cav.*). *Scientia Horticulturae*, 276, 109-118.
- Otero, Antunes, Bohmer, Jansen, Crizel, Lorini y Zambiasi. (2020). Compuestos bioactivos en frutas de diferentes regiones del Brasil. *Revista chilena de nutrición*, 47(1), 31-40.

- Patras, Brunton, Tiwari y Butler. (2011). Cinética de estabilidad y degradación de compuestos bioactivos y color en mermelada de fresa durante el almacenamiento. *Food Bioprocess Techno*, 4, 1245-1252. doi:DOI 10.1007/s11947-009-0226-7
- Pérez, Castañeda, Granda, Tejera, Iturralde, Granda A., Jaramillo, Giampieri, Battino y Alvarez. (2019). Composición química y actividad antioxidante de las principales frutas, tubérculos y legumbres de consumo tradicional en las regiones andinas del Ecuador como fuente de compuestos promotores de la salud. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74, 350-357. doi:https://doi.org/10.1007/s11130-019-00744-8
- Pérez, Ettiene, Marín, Casassa, Silva, Raga y Medina. (2014). Determinación de fenoles y flavonoides totales en hojas de guayabo (*Psidium guajava* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 31(1), 60-77.
- Prakash, Mereddy, Webber y Sultanbawa. (2021). Evaluación bioquímica, antioxidante y sensorial de la infusión de frutos de *Davidsonia pruriens* y *Davidsoina jerseyana*. *Food Chemistry*, 342. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128349.
- Primot, Eeckenbrugge, Rioux, Pérez, y Garcin. (2005). Variación morfológica de tres especies de curubas (*Passiflora tripartita* var. *mollissima*, *P. tarminiana* y *P. mixta*) y sus híbridos en el Valle del Cauca (Colombia). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27, 467-471.
- Rios y Gil. (2021). Microencapsulación por secado por aspersion de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51). doi:https://dx.doi.org/10.22430/issn.2256-5337
- Ruiz, Venegas, Valdiviezo y Plasencia. (2018). Contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante in vitro del zumo de "pur pur" *Passiflora tripartita* var. *mollissima* (*Passifloraceae*). *Arnaldoa*, 25(3), 1003-1014.
- S. El-Beltagi, Mohamed, Safwat, Gamal, M. H. Megahed. (2019). Composición química y actividad biológica de *Physalis peruviana* L. *Gesunde Pflanzen*, 71, 113–122. doi:https://doi.org/10.1007/s10343-019-00456-8
- Sora, Fischer y Flórez. (2006). Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada. *Agronomía colombiana*, 24(2), 306-316.

- Ullah, Munir, Badshah, Khan, Ghani, Poulson, Emwas y Jaremko. (2020). Flavonoides importantes y su papel como agente terapéutico. *Molecules*, 25(22). doi:<https://doi.org/10.3390/molecules25225243>
- Vera, Dutta, Mercer, MacLean y Touchie. (2019). Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 484-496. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.006>.
- Wang, Gao, Hu, Wang, Si, Zhu, Fan y Zhang. (2023). El pretratamiento de liofilización y descongelación mejora la eficiencia de la liofilización al vacío y la estabilidad de almacenamiento de la baya de goji (*Lycium barbarum*. L.). *Food science and technology*, 189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115439>
- Wang y Zhu. (2020). Tamarillo (*Solanum betaceum*): Chemical composition, biological properties, and product innovation. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 45-58.
- Wang, Y. Wang, Kan, Hao, Hu, Lu y Liu. (2023). Comparación de diferentes técnicas de secado de hojas de *Zanthoxylum bungeanum*: cambios en el color, la microestructura, las capacidades antioxidantes y los componentes volátiles. *Food science and technology*, 188, 3-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115469>.
- Zapata, Heredia, Quinteros, Malleret, Clemente y Cárcel. (2014). Optimización de la extracción de antocianinas de arándanos. *Ciencia, docencia y tecnología*, 49, 166-192.
- Zhao, Xiao, Liu, Wang, Wu, Ben y Y. Wang. (2023). Cambios dinámicos en compuestos de sabor volátiles y no volátiles en el flavedo de limón durante la liofilización y el secado con aire caliente. *Food science and technology*, 175, 2-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114510>

Anexos

Anexo N° 1:

Compuestos bioactivos más presentes en la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla por cada 100 g de fruta

	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol TE/g}$)		Compuestos bioactivos			
	FRAP	DPPH	Fenoles totales (mg GAEq/100 g)	Flavonoides totales (mg CatEq/g)	Antocianinas totales (mg Pg Eq/g)	Vitamina C (mg Vit C/100 g)
Mora de Castilla	131,29	55,55	126,66	8,6	2,4	52,26
Taxo	791,2	3361,77	6839,64	65,32	0,62	217,05
Tomate de árbol	39,63	198,05	682,2	4,66	0,35	164,43
Uvilla	19,41	78,62	255,98	1,56	0,34	121,51

Fuente: Pérez et al., 2019

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 2:

Índice de Madurez de la mora, taxo, tomate de árbol y uvilla expresada en (Bx/%AT)

Fruta	Índice de Madurez	Grado de Madurez					
		1	2	3	4	5	6
Mora de Castilla	(°Bx/%AT)	1,41±0,01	1,30±0,04	1,57±0,03	2,15±0,03	2,80±0,07	3,57±0,25
Taxo	(°Bx/%AT)	11,81±0,17	12,16±0,06	12,53±0,47	12,86±0,36	12,94±0,22	12,68±0,17
Tomate de árbol	(°Bx/%AT)	4,86±0,21	7,33±0,16	9,20±0,10	9,73±0,57	10,90±0,1	9,06±0,11
Uvilla	(°Bx/%AT)	3,55±0,05	4,20±0,50	5,20±0,12	6,00±0,01	7,10±0,16	8,00±0,15

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 3:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de polifenoles totales en fruta fresca

Resumen Estadístico para Polifenoles Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	7,67603	0,0396062
Taxo	3	11,3683	0,0343
Tomate de árbol	3	1,899	0,022659
Uvilla	3	6,55577	0,0198031
Total	12	6,87477	3,53025

Tabla ANOVA para Polifenoles Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	137,082	3	45,6939	50065,39	0,0000
Intra grupos	0,00730147	8	0,000912684		
Total (Corr.)	137,089	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Polifenoles Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Mora	3	7,67603	0,0174421	7,64759	7,70447
Taxo	3	11,3683	0,0174421	11,3399	11,3967
Tomate de árbol	3	1,899	0,0174421	1,87056	1,92744
Uvilla	3	6,55577	0,0174421	6,52733	6,58421

Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tomate de árbol	3	1,899	X
Uvilla	3	6,55577	X
Mora	3	7,67603	X
Taxo	3	11,3683	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 4:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de polifenoles totales en fruta liofilizada

Resumen Estadístico para Polifenoles Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	349,537	2,91656
Taxo	3	386,28	2,29456
Tomate de árbol	3	35,1172	0,693525
Uvilla	3	299,934	2,2045
Total	12	267,717	143,88

Tabla ANOVA para Polifenoles Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	227677,	3	75892,3	15883,58	0,0000
Intra grupos	38,2243	8	4,77803		
Total (Corr.)	227715,	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Polifenoles Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Mora	3	349,537	1,26201	347,479	351,595
Taxo	3	386,28	1,26201	384,222	388,338
Tomate de árbol	3	35,1172	1,26201	33,0594	37,1751
Uvilla	3	299,934	1,26201	297,876	301,991

Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tomate de árbol	3	35,1172	X
Uvilla	3	299,934	X
Mora	3	349,537	X
Taxo	3	386,28	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 5:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de polifenoles totales en las infusiones

Resumen Estadístico para Polifenoles Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
Infusión 1	3	157,589	1,816	1,15236%
Infusión 2	3	258,352	3,27329	1,26699%
Infusión 3	3	358,509	2,91788	0,813893%
Infusión 4	3	362,14	1,04789	0,289361%
Total	12	284,147	87,8697	30,924%

Tabla ANOVA para Polifenoles Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	84884,7	3	28294,9	4790,80	0,0000
Intra grupos	47,2487	8	5,90609		
Total (Corr.)	84931,9	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Polifenoles Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Infusión 1	3	157,589	1,4031	155,301	159,877
Infusión 2	3	258,352	1,4031	256,064	260,64
Infusión 3	3	358,509	1,4031	356,221	360,797
Infusión 4	3	362,14	1,4031	359,852	364,428

Pruebas de Múltiple Rangos para Polifenoles Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Infusión 1	3	157,589	X
Infusión 2	3	258,352	X
Infusión 3	3	358,509	X
Infusión 4	3	362,14	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 6:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de flavonoides totales en fruta fresca

Resumen Estadístico para Flavonoides Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	0,0121	0,0001
Taxo	3	0,0808	0,00155885
Tomate de árbol	3	0,00443333	0,00011547
Uvilla	3	0,000266667	0,00011547
Total	12	0,0244	0,0343047

Tabla ANOVA para Flavonoides Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,01294	3	0,00431334	6994,60	0,0000
Intra grupos	0,00000493333	8	6,16667E-7		
Total (Corr.)	0,0129449	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Flavonoides Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Mora	3	0,0121	0,000453382	0,0113607	0,0128393
Taxo	3	0,0808	0,000453382	0,0800607	0,0815393
Tomate de árbol	3	0,00443333	0,000453382	0,00369405	0,00517262
Uvilla	3	0,000266667	0,000453382	-0,000472516	0,00100995

Pruebas de Múltiple Rangos para Flavonoides Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Uvilla	3	0,000266667	X
Tomate de árbol	3	0,00443333	X
Mora	3	0,0121	X
Taxo	3	0,0808	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 7:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de flavonoides totales en fruta liofilizada

Resumen Estadístico para Flavonoides Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	0,711533	0,0101195
Taxo	3	2,6985	0,016
Tomate de árbol	3	0,540167	0,00442982
Uvilla	3	0,1002	0,0059808
Total	12	1,0126	1,04301

Tabla ANOVA para Flavonoides Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11,9657	3	3,98857	38555,82	0,0000
Intra grupos	0,000827593	8	0,000103449		
Total (Corr.)	11,9665	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Flavonoides Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est	Limite Inferior	Limite Superior
Mora	3	0,711533	0,00587223	0,701958	0,721109
Taxo	3	2,6985	0,00587223	2,68892	2,70808
Tomate de árbol	3	0,540167	0,00587223	0,530591	0,549742
Uvilla	3	0,1002	0,00587223	0,0905248	0,109775

Pruebas de Múltiple Rangos para Flavonoides Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Uvilla	3	0,1002	X
Tomate de árbol	3	0,540167	X
Mora	3	0,711533	X
Taxo	3	2,6985	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 8:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de flavonoides totales en las infusiones

Resumen Estadístico para Flavonoides Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
Infusión 1	3	1,6217	0,00981478	0,605216%
Infusión 2	3	1,649	0,00595735	0,36127%
Infusión 3	3	3,4566	0,02702	0,781693%
Infusión 4	3	3,6231	0,0238294	0,657707%
Total	12	2,5876	0,996673	38,5173%

Tabla ANOVA para Flavonoides Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10,9241	3	3,64135	10167,46	0,0000
Intra grupos	0,00285948	8	0,000357435		
Total (Corr.)	10,9269	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Flavonoides Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est	Limite Inferior	Limite Superior
Infusión 1	3	1,6217	0,0109154	1,6039	1,6395
Infusión 2	3	1,649	0,0109154	1,6312	1,6668
Infusión 3	3	3,4566	0,0109154	3,4388	3,4744
Infusión 4	3	3,6231	0,0109154	3,6053	3,6409

Pruebas de Múltiple Rangos para Flavonoides Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Infusión 1	3	1,6217	X
Infusión 2	3	1,649	X
Infusión 3	3	3,4566	X
Infusión 4	3	3,6231	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 9:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de antocianinas totales en fruta fresca

Resumen Estadístico para Antocianinas Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	3,08443	0,00523195
Taxo	3	0,0313	0,0125
Tomate de árbol	3	0,365267	0,0397217
Uvilla	3	0,0313	0,0042
Total	12	0,878075	1,3382

Tabla ANOVA para Antocianinas Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gf	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	19,6951	3	6,56505	14760,57	0,0000
Intra grupos	0,00355815	8	0,000444769		
Total (Corr.)	19,6987	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Antocianinas Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite inferior	Límite Superior
Mora	3	3,08443	0,0121761	3,06458	3,10429
Taxo	3	0,0313	0,0121761	0,0114458	0,0511542
Tomate de árbol	3	0,365267	0,0121761	0,345412	0,385121
Uvilla	3	0,0313	0,0121761	0,0114458	0,0511542

Pruebas de Múltiple Rangos para Antocianinas Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Taxo	3	0,0313	X
Uvilla	3	0,0313	X
Tomate de árbol	3	0,365267	X
Mora	3	3,08443	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 10:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de antocianinas totales en fruta liofilizada

Resumen Estadístico para Antocianinas Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	4,44467	0,0278123
Taxo	3	0,501	0,0178429
Tomate de árbol	3	0,0946333	0,00671441
Uvilla	3	0,144733	0,00600444
Total	12	1,29626	1,90566

Tabla ANOVA para Antocianinas Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gf	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	39,9445	3	13,3148	45403,18	0,0000
Intra grupos	0,00234606	8	0,000293257		
Total (Corr.)	39,9468	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Antocianinas Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite inferior	Límite Superior
Mora	3	4,44467	0,00988699	4,42854	4,46079
Taxo	3	0,501	0,00988699	0,484878	0,517122
Tomate de árbol	3	0,0946333	0,00988699	0,0785117	0,110755
Uvilla	3	0,144733	0,00988699	0,128612	0,160855

Pruebas de Múltiple Rangos para Antocianinas Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Tomate de árbol	3	0,0946333	X
Uvilla	3	0,144733	X
Taxo	3	0,501	X
Mora	3	4,44467	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 11:

Resultados ANOVA y Tukey 5% en el contenido de antocianinas totales en las infusiones

Resumen Estadístico para Antocianinas Totales

Tratamientos	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
Infusión 1	3	1,9322	0,0146503	0,758216%
Infusión 2	3	1,69423	0,0169889	1,00275%
Infusión 3	3	2,0011	0,016744	0,836738%
Infusión 4	3	1,53977	0,0223081	1,4488%
Total	12	1,79183	0,193588	10,8039%

Tabla ANOVA para Antocianinas Totales por Tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,409676	3	0,136559	426,32	0,0000
Intra grupos	0,00256253	8	0,000320317		
Total (Corr.)	0,412239	11			

El StatAdvisor

Tabla de Medias para Antocianinas Totales por Tratamientos con intervalos de confianza del 95,0%

Tratamientos	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Infusión 1	3	1,9322	0,0103331	1,91535	1,94905
Infusión 2	3	1,69423	0,0103331	1,67738	1,71108
Infusión 3	3	2,0011	0,0103331	1,98425	2,01795
Infusión 4	3	1,53977	0,0103331	1,52292	1,55662

Pruebas de Múltiple Rangos para Antocianinas Totales por Tratamientos

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tratamientos	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Infusión 4	3	1,53977	X
Infusión 2	3	1,69423	X
Infusión 1	3	1,9322	X
Infusión 3	3	2,0011	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 12:

Resultados ANOVA y Tukey 5% de la capacidad antioxidante en fruta fresca

Resumen Estadístico para Capacidad antioxidante

Frutas	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	0,198467	0,00442982
Taxo	3	0,1612	0,00523737
Tomate de árbol	3	0,277767	0,00441626
Uvilla	3	0,202	0,00242487

Tabla ANOVA para Capacidad antioxidante por Frutas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0215121	3	0,0071707	395,97	0,0000
Intra grupos	0,000144873	8	0,0000181092		
Total (Corr.)	0,021657	11			

Tabla de Medias para Capacidad antioxidante por Frutas con intervalos de confianza del 95,0%

Frutas	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Mora	3	0,198467	0,00245691	0,19446	0,202473
Taxo	3	0,1612	0,00245691	0,157194	0,165206
Tomate de árbol	3	0,277767	0,00245691	0,27376	0,281773
Uvilla	3	0,202	0,00245691	0,197994	0,206006

Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad antioxidante por Frutas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Frutas	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Taxo	3	0,1612	X
Mora	3	0,198467	X
Uvilla	3	0,202	X
Tomate de árbol	3	0,277767	X

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 13:**Resultados ANOVA y Tukey 5% de la capacidad antioxidante en fruta liofilizada****Resumen Estadístico para Capacidad antioxidante**

Frutas Liofilizadas	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Mora	3	0,203567	0,00412593
Taxo	3	0,1417	0,0055
Tomate de árbol	3	0,273067	0,0037581
Uvilla	3	0,2443	0,0018

Tabla ANOVA para Capacidad antioxidante por Frutas Liofilizadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0291963	3	0,00973211	602,27	0,0000
Intra grupos	0,000129273	8	0,0000161592		
Total (Corr.)	0,0293256	11			

Tabla de Medias para Capacidad antioxidante por Frutas Liofilizadas con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Mora	3	0,203567	0,00232086	0,199782	0,207351
Taxo	3	0,1417	0,00232086	0,137916	0,145484
Tomate de árbol	3	0,273067	0,00232086	0,269282	0,276851
Uvilla	3	0,2443	0,00232086	0,240516	0,248084

Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad antioxidante por Frutas Liofilizadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Taxo	3	0,1417	x
Mora	3	0,203567	x
Uvilla	3	0,2443	x
Tomate de árbol	3	0,273067	x

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 14:**Resultados ANOVA y Tukey 5% de la capacidad antioxidante en las infusiones****Resumen Estadístico para Capacidad antioxidante**

Frutas Liofilizadas	Recuento	Promedio	Desviación Estándar
Infusión 1	3	0,1738	0,00193132
Infusión 2	3	0,1768	0,00121244
Infusión 3	3	0,116833	0,00362261
Infusión 4	3	0,118633	0,00244199

Tabla ANOVA para Capacidad antioxidante por Frutas Liofilizadas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,00996012	3	0,00332004	546,81	0,0000
Intra grupos	0,0000485733	8	0,00000607167		
Total (Corr.)	0,0100087	11			

Tabla de Medias para Capacidad antioxidante por Frutas Liofilizadas con intervalos de confianza del 95,0%

Nivel	Casos	Media	Error Est. (s agrupada)	Límite Inferior	Límite Superior
Infusión 1	3	0,1738	0,00142263	0,17148	0,17612
Infusión 2	3	0,1768	0,00142263	0,17448	0,17912
Infusión 3	3	0,116833	0,00142263	0,114514	0,119153
Infusión 4	3	0,118633	0,00142263	0,116314	0,120953

Pruebas de Múltiple Rangos para Capacidad antioxidante por Frutas Liofilizadas

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Infusión 3	3	0,116833	x
Infusión 4	3	0,118633	x
Infusión 1	3	0,1738	x
Infusión 2	3	0,1768	x

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 15:

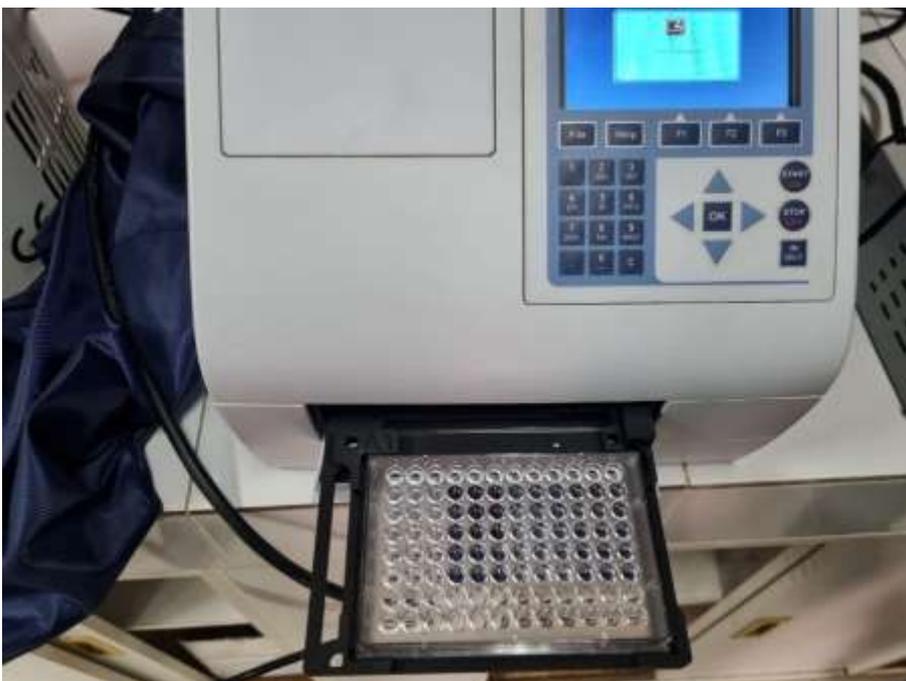
Elaboración de las microplacas para la determinación de compuestos bioactivos



Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 16:

Lectura de polifenoles totales en el espectrofotómetro de Elisa



Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 17:***Lectura de flavonoides totales en el espectrofotómetro de Elisa***

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 18:***Lectura de antocianinas totales en el espectrofotómetro de Elisa***

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 19:***Lectura de la capacidad antioxidante en el espectrofotómetro de Elisa***

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 20:***Determinación de la acidez titulable en las frutas frescas***

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 21:***Determinación de los sólidos solubles totales en las frutas frescas***

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 22:***Liofilización de las frutas***

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 23:***Tabla de rendimientos de las frutas posterior al proceso de liofilización***

Fruta	Peso bruto en kg	Merma	Peso en kg	Gramaje resultante	% obtenido
Mora	3,32	0,34	2,98	0,28	9,39
Taxo	3,14	0	3,14	0,6	19,11
Tomate de árbol	2,16	0,57	1,59	0,18	11,29
Uvilla	2,06	0	2,06	0,3	14,56

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 24:***Resultados de cenizas en las infusiones***

Cenizas	Infusión 1	Infusión 2	Infusión 3	Infusión 4
Cenizas g/ 2g de infusión	0,0682	0,0693	0,0701	0,0686

Elaborado por: El Autor, 2024

Anexo N° 25:***Resultados de índice de madurez en la recepción de las frutas***

Fruta	Índice de Madurez	Grado de madurez
Mora de Castilla	(°Bx/%AT)	2,74±0,09
Taxo	(°Bx/%AT)	11,98±0,11
Tomate de árbol	(°Bx/%AT)	9,78±0,07
Uvilla	(°Bx/%AT)	6,84±0,12

Elaborado por: El Autor, 2024