



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación del potencial antioxidante del extracto microencapsulado obtenido de la mora (*Rubus niveus*) mediante secado por aspersión y su uso en la formulación de vino de mora (*Rubus glaucus benth*)

Informe final, modalidad Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autora: Myriam Alexandra Yuccha Labre

Tutor: Dr. José Homero Vargas López

Ambato – Ecuador

Julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. José Homero Vargas López

CERTIFICA:

Que el presente Informe final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 19 de junio de 2025



Dr. José Homero Vargas López

1801978048

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Myriam Alexandra Yuccha Labre, manifiesto que los resultados obtenidos en el Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Myriam Alexandra Yuccha Labre

1751298751

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Informe Final del Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Informe Final del Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Myriam Alexandra Yuccha Labre

1751298751

AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



.....
Presidente del Tribunal



.....
Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864



.....
Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

1804285342

Ambato, 07 de julio de 2025

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, por permitirme culminar con éxito mi carrera, darme buena salud y ser mi fortaleza durante esta etapa de mi vida, a mis padres José Yuccha y Marina Labre por ser el pilar fundamental, por su amor, sacrificio y por siempre motivarme a seguir luchando por mis sueños y creer en mí. A mis hermanos, por enseñarme que los sueños se logran cuando tu corazón es feliz. A mi hermana Jessica Yuccha por ser mi apoyo y siempre decirme: “¡ponte las pilas hermana! que el tren de la vida pasa una sola vez y tu naciste para llegar lejos”. A mi esposo Joelito Ruiz quien fue mi refugio en los días difíciles, por estar en cada uno de mi desvelo, en cada noche de estudio y en cada lagrima derramada cuando sentía que no podía más. A mi hijo Daniel Ruiz que llegó a mi vida cuando menos me lo imaginaba, se volvió mi felicidad, mi luz mis ganas de seguir, mi mundo entero. A mis suegros por ser parte de este logro con su afecto y respaldo. A mis amigos Karla Llerena y David Pilatuña, con quienes, entre risas, sustos y lágrimas, logramos alcanzar juntos la meta de culminar esta etapa.

Myriam Alexandra Yuccha Labre

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Dr. Homero Vargas por el tiempo y por su guía en cada una de las etapas fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes de la investigación	1
1.1.1. Descripción de la especie <i>Rubus niveus</i>	3
1.1.2. Composición nutricional.....	4
1.1.3. Compuestos bioactivos	6
1.2. Objetivos	11
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA	12
2.1. Materiales, equipos y reactivos.....	12

2.1.1. Materiales.....	12
2.1.2. Equipos	13
2.1.3. Reactivos.....	13
2.2. Métodos.....	13
2.2.1. Recolección de los frutos	13
2.2.2. Adecuación del fruto.....	14
2.2.3. Análisis de la materia prima	14
2.2.4. Extracción de compuestos bioactivos	15
CAPÍTULO III.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
3.1. Análisis y discusión de los resultados.....	20
3.1.1. Caracterización fisicoquímica del fruto de mora (<i>Rubus niveus</i>)	20
3.2. Tratamiento aplicado para la extracción de antocianinas	21
3.2.1. Diseño experimental	22
3.3. Determinación de las condiciones óptimas para la cuantificación de polifenoles.....	26
3.3.1. Diseño experimental 2 ²	28
3.4. Microencapsulación de polifenoles mediante secado por aspersión.....	30
3.4.1. Eficiencia del microencapsulado	30
3.5. Evaluación del potencial antioxidante del extracto y microencapsulado	34
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de <i>Rubus niveus</i>	4
Tabla 2. Composición macronutrientes de <i>Rubus niveus</i>	5
Tabla 3. Composición nutricional de micronutrientes de <i>Rubus niveus</i>	5
Tabla 4. Componentes presentes en <i>Rubus niveus</i>	7
Tabla 5. Diseño Factorial 2 ²	16
Tabla 6. Composición del diseño experimental 2 ²	16
Tabla 7. Características fisicoquímicas de los frutos de mora (<i>Rubus niveus</i>).....	20
Tabla 8. Tratamientos aplicados para la extracción de antocianinas	21
Tabla 9. Análisis de Varianza para Concentración de antocianinas vs Base seca	22
Tabla 10. Concentración de polifenoles mg GAE/ g de base seca	27
Tabla 11. Análisis de Varianza para Concentración de polifenoles vs Base seca	28
Tabla 12. Eficiencia de microencapsulación de <i>Rubus niveus</i>	31
Tabla 13. Potencial antioxidante del extracto y microencapsulado de compuestos bioactivos de mora (<i>Rubus niveus</i>).....	35
Tabla 14. Formulación del vino de mora de (<i>Rubus glaucus benth</i>) con la adición del microencapsulado de mora (<i>Rubus niveus</i>).....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reacción del reactivo de Folin-Ciocalteu en presencia de fenoles.	8
Figura 2. Reacción de la actividad antioxidante del DPPH.	10
Figura 3. Principio de funcionamiento de Mini Spray Dryer B-290.	11
Figura 4. Diagrama de Pareto para la concentración de antocianinas.	24
Figura 5. Diagrama de superficie de respuesta de los efectos principales en la extracción de antocianinas.	25
Figura 6 . Diagrama de interacción para concentración de antocianinas en base seca.	26
Figura 7 Diagrama de Pareto para la concentración de polifenoles.	28
Figura 8. Grafica de interacción para la concentración de polifenoles.	29
Figura 9. Espectroscopia infrarroja de maltodextrina. (% de Transmitancia) y (cm^{-1} Número de onda).....	32
Figura 10 Espectroscopia infrarroja del extracto de <i>Rubus niveus</i>	32
Figura 11. Espectroscopia infrarroja de maltodextrina, extracto y microencapsulado.	34
Figura 12. Curva de calibración ácido gálico.	36

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de Acidez Titulable.....	15
Ecuación 2. Cálculo de solidos totales.....	16
Ecuación 3. Cálculo de la eficiencia de microencapsulación	17
Ecuación 4. Cálculo de la concentración polifenoles expresado en (ug/mL)	18
Ecuación 5. Porcentaje de inhibición del radical DPPH.....	19
Ecuación 6. Ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos	23

RESUMEN EJECUTIVO

Hoy en día, la nutrición humana se caracteriza por una creciente dependencia de los productos industriales, lo que ha reducido la diversidad dietética y desplazado el consumo de especies silvestres. A pesar de su valor nutricional y funcional, estas especies se consumen sólo localmente y carecen de respaldo científico y tecnológico. *Rubus niveus* es una especie silvestre con frutos comestibles de alto potencial nutricional, pero que actualmente están subutilizados y tienen una pequeña participación en el mercado. La presente investigación permitió evaluar el extracto de *Rubus niveus* microencapsulado mediante secado por aspersión y su incorporación en la formulación de un vino de mora (*Rubus glaucus benth*). La recolección de la mora (*Rubus niveus*.) se llevó a cabo en el Cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua (Ecuador). Para la obtención del extracto se utilizó etanol al 96 por ciento, el cual fue seleccionado luego de pruebas comparativas con diferentes concentraciones. Los compuestos bioactivos fueron microencapsulados con maltodextrina en una proporción de 20:80 (extracto:maltodextrina). El contenido total de polifenoles se determinó mediante el reactivo de Folin-Ciocalteu y la capacidad antioxidante se determinó mediante el método in vitro utilizando el radical DPPH. El extracto microencapsulado de *Rubus niveus*. mostró una eficiencia de encapsulación del 94,30 por ciento y alcanzó un contenido de 214,43 mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) y una capacidad antioxidante de 401,19 μ mol equivalentes de Trolox por 100 g de polvo, correspondiente a una inhibición del radical DPPH del 71,42 por ciento.

Palabras clave: *Rubus niveus*, microencapsulación, extractos vegetales, polifenoles, maltodextrina, secado por aspersión, vino de mora.

ABSTRACT

Today, human nutrition is characterized by a growing dependence on industrial products, which has reduced dietary diversity and displaced the consumption of wild species. Despite their nutritional and functional value, these species are consumed only locally and lack scientific and technological support. *Rubus niveus* is a wild species with edible fruits of high nutritional potential, but they are currently underutilized and have a small market share. The following research evaluated the extract of *Rubus niveus* microencapsulated by spray drying, and its incorporation into the formulation of a blackberry wine (*Rubus glaucus benth*). The blackberries (*Rubus niveus*) were harvested in the Tisaleo canton, province of Tungurahua (Ecuador). To obtain the extract, 96 percent ethanol was used, which was selected after comparative tests with different concentrations. The bioactive compounds were then microencapsulated with maltodextrin in a ratio of 20:80 (extract:maltodextrin). The total polyphenol content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent, and the antioxidant capacity was determined using the in vitro method with the DPPH radical. The microencapsulated extract of *Rubus niveus* showed an encapsulation efficiency of 94.30 percent and reached a content of 214.43 mg gallic acid equivalents (GAE) and an antioxidant capacity of 401.19 μ mol Trolox equivalents per 100 g of powder, corresponding to a DPPH radical inhibition of 71.42 percent.

Keywords: *Rubus niveus*, microencapsulation, plant extracts, polyphenols, maltodextrin, spray drying, blackberry wine.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

El continuo aumento de la población a nivel mundial y la evolución de las tendencias alimentarias, han generado un interés por encontrar formas innovadoras de aumentar la producción y el acceso a alimentos nutritivos para personas de todas las edades. Sin embargo, para sustentar esta demanda creciente, se ha impulsado prácticas agrícolas que en muchos casos han resultado perjudiciales, incluyendo el uso insostenible de la tierra y del agua. Estas prácticas han provocado una notable reducción de la biodiversidad en diversas regiones (**FAO et al., 2024**). Según datos recientes de la FAO, los niveles de inseguridad alimentaria siguen siendo alarmantes. Millones de personas en todo el mundo enfrentan dificultades para acceder de manera regular a alimentos seguros, nutritivos y suficientes.

Esto ha contribuido al empeoramiento de la calidad de las dietas y al aumento de las formas de malnutrición, como la desnutrición, el sobrepeso y la obesidad. Estas condiciones, a su vez, están asociadas con un aumento en la prevalencia de enfermedades no transmisibles (ENT), como las diabetes y las enfermedades cardiovasculares, que representa una creciente carga para los sistemas y afectan negativamente el bienestar de la población. En el caso de Ecuador, más de la mitad de la población adulta enfrenta al menos un factor de riesgo asociado a enfermedades no transmisibles (ENT), como la diabetes y la hipertensión arterial. Estas afecciones han tenido un impacto significativo en la economía, representando un costo, directo e indirecto, que equivale al 4,3% del Producto Interno Bruto (PIB) de la región (**García, 2023**).

Esto evidencia la importancia de promover investigaciones que potencien el uso de alimentos funcionales como parte de estrategias para mejorar la salud pública. En este sentido, la mora (*Rubus niveus*) se presenta como una alternativa prometedora debido a su perfil nutricional y los componentes bioactivos que contiene, los cuales pueden integrarse en productos alimenticios innovadores y accesibles.

El trabajo realizado por **Figuerola et al. (2016)** tuvo como objetivo analizar la microencapsulación del aceite de mora (*Rubus glaucus benth*), que fue extraído usando CO₂ de manera supercrítica y secado a través de aspersión. Se utilizaron tres tipos de materiales para la encapsulación: masterdry, goma arábica y maltodextrina. Se examinaron variables como la temperatura de entrada y el flujo de alimentación, además del tamaño y la forma de las microcápsulas que se obtuvieron.

Los resultados mostraron que la temperatura de entrada era la única variable que tenía relevancia estadística en relación con el rendimiento y la eficacia del proceso cuando se emplearon masterdry y

goma arábica. La goma arábica demostró ser el mejor material para encapsular, ya que produjo microcápsulas con dimensiones de 8,2 a 14 μm , que presentaban superficies lisas y sin poros. Se llegó a la conclusión de que la microencapsulación con estos materiales logró proteger el aceite y mantener su perfil de ácidos grasos.

En el estudio realizado por **Llerena (2024)** empleó un proceso estándar para microencapsular antocianinas de mora de castilla (*Rubus glaucus Benth*) utilizando secado por aspersión. Se aplicó una metodología de tres fases: la primera consistió en ajustar las proporciones de fruta, encapsulante y agua; la segunda fue un diseño factorial para probar diferentes tipos de agentes encapsulantes, tamaños de boquillas y temperaturas iniciales; y la tercera se centró en la caracterización minuciosa de los microencapsulados obtenidos. Se consideró que la mezcla ideal tenía una proporción de (fruta:encapsulante:agua) con una tasa de procesamiento de 485 ml/h. Los resultados facilitan la creación de productos que conservan el sabor y aroma distintivos de la mora, con una posible aplicación en la industria alimentaria o en producción a gran escala.

Vicuña (2022) en su investigación logró identificar las mejores condiciones para la microencapsulación del extracto de antocianinas provenientes de los frutos de *Sambucus nigra*, utilizando el método de secado por aspersión. Para la extracción, se empleó una solución acuosa acidificada con ácido fosfórico, y se utilizó maltodextrina como material para la encapsulación. Se llevaron a cabo tres pruebas, modificando la temperatura de entrada y la cantidad de maltodextrina, con el fin de analizar el contenido de fenoles totales, antocianinas y la capacidad antioxidante.

Los resultados indicaron que las mejores condiciones para optimizar estos elementos eran una concentración de maltodextrina del 0,58% combinada con una temperatura de entrada de 165,8°C. Se llegó a la conclusión de que la microencapsulación en estas condiciones es efectiva para proteger los compuestos bioactivos del extracto.

Kamiloglu et al. (2020) realizó una investigación sobre el uso de la microencapsulación por medio del secado por aspersión, así como el análisis de la estabilidad de compuestos fenólicos obtenidos de los frutos de *Morus nigra*. Se estudiaron tres tipos de extractos utilizando HPLC-DAD-MS, y se midieron sus propiedades fisicoquímicas y su capacidad antioxidante. Para la microencapsulación se emplearon maltodextrina y goma arábica como materiales recubridores. Los resultados mostraron que la microencapsulación preservó eficazmente los compuestos fenólicos y su actividad antioxidante durante el almacenamiento. Se llegó a la conclusión de que esta técnica es adecuada para mantener los beneficios funcionales de los extractos de *Morus nigra*.

En el trabajo realizado por **Pacheco & Toapanta (2022)**, se planteó crear un microencapsulado del extracto de eneldo (*Anethum graveolens*) usando la técnica de secado por aspersión. El objetivo era proteger los compuestos bioactivos del extracto de condiciones ambientales desfavorables. Para ello, se emplearon maltodextrina y goma arábica como agentes de encapsulación. Se realizaron 13 experimentos, modificando la temperatura del aire de entrada entre 130 °C y 150 °C, así como la velocidad de alimentación de 500 mL/h a 700 mL/h. Los resultados mostraron que la microencapsulación resultó efectiva para proteger los principios activos del eneldo, preservando sus propiedades fisicoquímicas y su estabilidad ante condiciones ambientales. Se llegó a la conclusión de que la técnica de secado por aspersión, con los materiales de encapsulación elegidos, es apta para mantener los beneficios del extracto de eneldo.

Por consiguiente, **Molina et al. (2022)** crearon un microencapsulado del extracto de cedrón (*Aloysia citrodora*) utilizando el método de secado por aspersión, con el fin de resguardar los compuestos bioactivos del extracto de la oxidación y otros elementos del entorno. Para esto, se utilizaron maltodextrina y goma arábica como materiales para la encapsulación. Se llevó a cabo un diseño experimental de superficie de respuesta mediante el software Design Expert 8.0.6, realizando nueve ensayos experimentales con diferentes variaciones en la temperatura del aire de entrada (130 °C, 140 °C y 150 °C) y en la tasa de flujo de alimentación (500 mL/h, 600 mL/h y 700 mL/h).

Los resultados indicaron que las condiciones ideales para la microencapsulación se dieron a una temperatura de entrada de 150 °C y una tasa de flujo de 500 mL/h, logrando un rendimiento del 94,70%, una humedad del 3,845% y una eficiencia en la microencapsulación del 93,9%. Se llegó a la conclusión de que el secado por aspersión es una técnica eficaz para proteger los compuestos bioactivos del extracto de cedrón, asegurando la conservación de sus propiedades fisicoquímicas y su estabilidad en condiciones ambientales.

1.1.1. Descripción de la especie *Rubus niveus*.

1.1.1.1. Morfología

Rubus niveus, comúnmente conocida como mora, es una planta arbustiva originaria de Asia que se ha extendido a varios continentes debido a su capacidad de adaptación y múltiples usos. En Ecuador, fue introducida en la isla San Cristóbal en 1983, con el pasar de los años se extendió a diferentes provincias como Pichincha, Tungurahua y Chimborazo (**Quinton St. et al., 2013**).

1.1.1.2. Taxonomía

A continuación, se presenta la clasificación taxonómica de la especie *Rubus niveus*.

Tabla 1.

Clasificación taxonómica de *Rubus niveus*.

Categoría Taxonómica	Clasificación
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Género	<i>Rubus</i>
Especie	<i>Rubus niveus</i>

Nota: Información obtenida de (Pancholi & Rana, 2020)

1.1.1.3. Distribución

Rubus niveus conocida como frambuesa Mysore, es una planta originaria de Asia, sobre todo del Himalaya, India y China. Actualmente está muy extendida en las regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica, como lo es en Ecuador, Colombia y Bolivia, donde se ha adaptado bien a las regiones andinas situadas entre 1.200 y 3.000 metros sobre el nivel del mar. No obstante, se cultiva por sus frutos, ricos en componentes bioactivos (Pancholi & Rana, 2020).

1.1.1.4. Usos

Su uso en la medicina es muy popular por su amplias propiedades terapéuticas y valor nutricional. Diversas partes de la planta son empleadas en infusiones para el tratamiento de afecciones como resfriados, dolor de cabeza, vértigo y enfermedades reumáticas. Se le atribuye propiedades medicinales, como: antiinflamatorias, analgésicas y desintoxicantes. Además, Pancholi & Rana (2020) menciona en su investigación que, esta posee fuentes de fitoquímicos bioactivos los cuales regulan las rutas inflamatorias y en la inhibición de la proliferación celular anormal.

1.1.2. Composición nutricional

La composición de nutrientes está formada por sustancias que están presentes tanto en los alimentos como en nuestro organismo, y cuya ausencia o niveles insuficientes pueden dar lugar a enfermedades carenciales. En el caso del fruto del *Rubus niveus*, aporta no sólo macronutrientes sino también

micronutrientes importantes como vitaminas y minerales. Entre ellos se encuentra el ácido ascórbico (vitamina C) contenido en la fruta fresca, que desempeña un papel importante en el sistema inmunológico (Schulz & Chim, 2019).

1.1.2.1. Macronutrientes

Los componentes principales de *Rubus niveus* son carbohidratos y humedad, así como fibra, grasas, proteínas y minerales. Estos macronutrientes están presentes en una proporción que, si se consumen en cantidades suficientes, pueden contribuir significativamente a cubrir las necesidades nutricionales diarias.

Tabla 2.

Composición macronutrientes de *Rubus niveus*.

Composición Nutricional	Valores para <i>R. niveus</i>
Humedad (%)	78.56 ± 0.87 (g/100 peso seco)
Ceniza	4.37 ± 0.09 (g/100 peso seco)
Proteína (%)	3.28 ± 0.87 (g/100 peso seco)
Lípidos (%)	1.10 ± 0.07 (g/100 peso seco)
Fibra (%)	5.90 ± 0.25 (g/100 peso seco)
Carbohidratos (%)	85.35 ± 0.25 (g/100 peso seco)
Energía (kcal/100g)	364.42 ± 0.56 (g/100 peso seco)

Nota: Información obtenida de (Pancholi & Rana, 2020)

1.1.2.2. Micronutrientes

En cuanto a micronutrientes, los frutos de *Rubus niveus* se caracterizan por un alto contenido en minerales, así como la presencia de diversas vitaminas. Entre ellos destaca el ácido ascórbico (vitamina C), cuya concentración se evaluó principalmente en frutas frescas. La composición de estos micronutrientes, al igual que la de los macronutrientes, puede verse influenciada por diversos factores como condiciones agroecológicas, la madurez del fruto, la variedad genética y el tratamiento postcosecha (Pancholi & Rana, 2020).

Tabla 3.

Composición nutricional de micronutrientes de *Rubus niveus*.

Composición nutricional	Cantidad en <i>R. niveus</i>
Hierro	3.26 ± 0.52 (mg/100 gm)
Zinc	8.13 ± 0.05 (mg/100 gm)

Cobre	1.070 ± 0.01(mg/100 gm)
Manganeso	2.43 ± 0.04(mg/100 gm)
Cromo	0.09 ± 0.01(mg/100 gm)

Nota: Información obtenida de (Pancholi & Rana, 2020)

1.1.3. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son sustancias naturales que se encuentran en pequeñas cantidades en alimentos como frutas, verduras y frutos secos. Aunque no son nutrientes esenciales, juegan un papel importante en el desarrollo de la salud, ayudando a reducir el riesgo de enfermedades y aumentar el bienestar del ser humano (Gámez, 2020).

1.1.3.1. Polifenoles

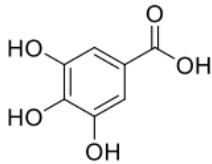
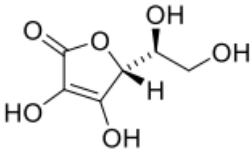
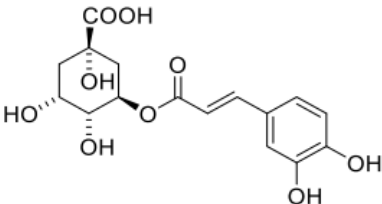
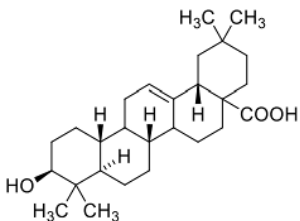
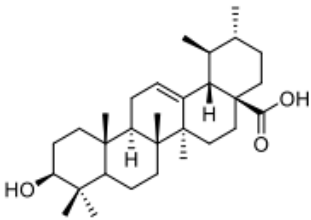
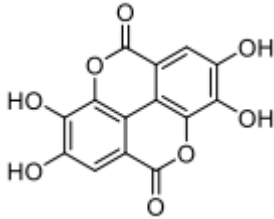
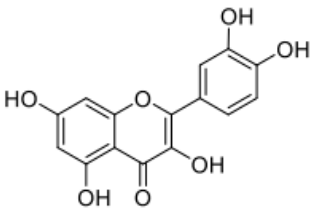
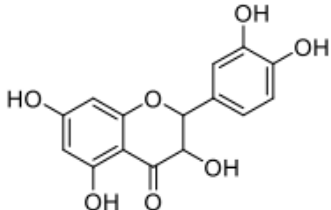
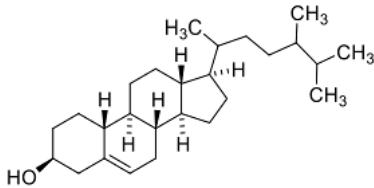
Generalidades

Los polifenoles son un importante grupo de compuestos naturales que se encuentran en alimentos vegetales como frutas y verduras. Son conocidos por sus efectos beneficiosos para la salud, particularmente su capacidad antioxidante, que ayuda a proteger las células del daño de los radicales libres. Según Schulz & Chim (2019) menciona que se ha estudiado en la prevención de enfermedades crónicas como cardiovasculares, la diabetes y ciertos tipos de cáncer, gracias a su alto contenido de polifenoles con actividad antioxidante y propiedades quimiopreventivas.

Estructura

Los polifenoles son compuestos naturales caracterizados por una estructura con uno o más anillos bencénicos y varios grupos hidroxilo (-OH), lo que les confiere la capacidad de actuar como antioxidantes. Estas estructuras pueden vincularse de diferentes maneras y dar lugar a múltiples familias Pancholi & Rana (2020). Los más importantes incluyen flavonoides, ácidos fenólicos, estilbenos y lignano. En la **Tabla 4** se observa algunas estructuras presentes en la *Rubus niveus*.

Tabla 4.*Componentes presentes en Rubus niveus.*

		
Ácido gálico	Ácido ascórbico	Ácido clorogénico
		
Ácido olenólico	Ácido ursólico	Ácido elágico
		
Quercetina	Catequina	β -sitosterol

Nota: Información obtenida de (Pancholi & Rana, 2020).

1.1.4. Fundamentación del Método de Folin- Ciocalteu

El método de Folin-Ciocalteu es una técnica colorimétrica ampliamente utilizada para la cuantificación del contenido fenólico total (CTP) en matrices de origen vegetal. Su aplicación es importante en diversos campos como la industria alimentaria, la farmacología, la medicina, la agricultura y las ciencias medioambientales, ya que los compuestos fenólicos están estrechamente relacionados con importantes propiedades biológicas, especialmente su capacidad antioxidante (Margraf et al., 2015).

El reactivo de Folin-Ciocalteu, que consta de dos sales en medio ácido, tiene un color amarillo. Al reaccionar con los grupos fenólicos presentes en la muestra, éstos actúan como agentes reductores y transforman el reactivo en un complejo azul intenso como se observa en la **Figura 1**.

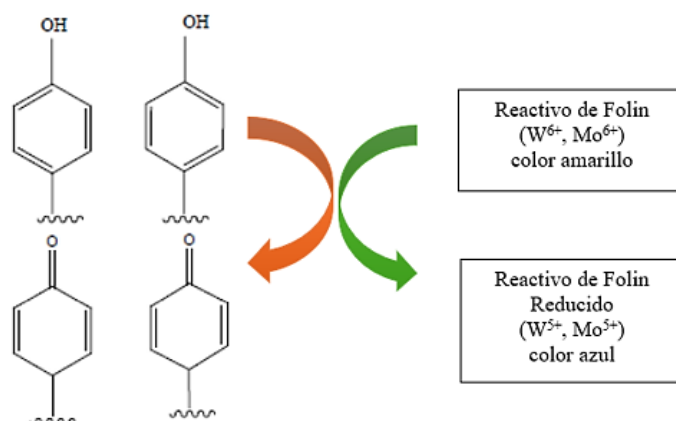


Figura 1. Reacción del reactivo de Folin-Ciocalteu en presencia de fenoles.

Nota: Información obtenida de (García et al., 2015).

La reacción se caracteriza por la presencia de un color azul intenso, producto de la reacción del reactivo de Folin- Ciocalteu por la presencia de los grupos fenólicos en la muestra. Esta reducción genera un complejo conocido como ácido fosfomolibdotúngstico, derivado de las sales sódicas de molibdato y wolframato una vez formado este complejo coloreado, su intensidad puede ser cuantificado espectrofotométricamente en una longitud de onda de 765 nm permitiendo cuantificar el contenido total de polifenoles (García et al., 2015).

1.1.5. Actividad antioxidante

Generalidades

Los antioxidantes son compuestos que neutralizan los radicales libres donando electrones, impidiendo así la formación de reacciones en cadena que son responsables del estrés oxidativo y el consiguiente daño celular en el cuerpo. Estas sustancias pueden producirse de forma natural en el organismo como parte del sistema antioxidante endógeno o ingerirse a través de la dieta; en este caso se consideran antioxidantes exógenos (Santos et al., 2019). Los antioxidantes exógenos se encuentran principalmente en alimentos vegetales como frutas y verduras, que son ricos en compuestos bioactivos como vitaminas, polifenoles y carotenoides (Castañeda et al., 2024).

Actualmente existen varios métodos analíticos para evaluar la actividad antioxidante total en una muestra. Entre los más utilizados se encuentran los métodos FRAP, ABTS y DPPH, que permiten estimar la capacidad de los compuestos presentes para neutralizar radicales libres o reducir especies oxidantes (Santos et al., 2019). Además de los métodos generales para evaluar la actividad antioxidante total, también existen métodos específicos para cuantificar sustancias vegetales secundarias con propiedades

antioxidantes, como: Polifenoles. Estos se pueden determinar utilizando el método de Folin-Ciocalteu (Margraf et al., 2015). El interés en medir esta capacidad antioxidante surge del hecho de que se ha demostrado que muchos compuestos bioactivos en alimentos y plantas tienen efectos beneficiosos para la salud al contrarrestar la acción de los oxidantes y prevenir el daño celular asociado con el estrés oxidativo (Santos et al., 2019).

Fundamento del método DPPH

El método de DPPH o (2,2 difenil-1-picrilhidrazilo) es un radical libre estable, que al momento de interactuar con algún compuesto antioxidante este reduce y cambia su coloración, permitiendo cuantificar la actividad antioxidante por este cambio y con la ayuda de instrumentos como es el espectrofotómetro.

Galvez & Zaldaña (2020) llevaron a cabo una evaluación de ciertos compuestos o extractos utilizando el radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) en una solución de metanol. Este radical tiene un color púrpura y mide una absorbancia de 520 nm. Las sustancias que atrapan radicales libres, que actúan como donadoras de hidrógeno, reaccionan con este radical, lo que provoca la pérdida de color (Vázquez et al., 2022).

Por lo tanto, la reducción del DPPH sirve como un indicador para medir la capacidad del compuesto en estudio para atrapar radicales. La actividad de un compuesto como antirradical se ilustra con la siguiente ecuación:



AH es un antioxidante que funciona como un antirradical al ceder átomos de hidrógeno. Esto genera radicales que tienen estructuras moleculares estables, lo que detiene la reacción en cadena, como ocurre con los fenoles. El nuevo radical generado (A) tiene la capacidad de interactuar con otro radical, formando moléculas estables (DPPH-A, AA).

Los resultados pueden presentarse en forma de IC50, porcentaje de inhibición, porcentaje de actividad antirradicalaria o equivalentes a trolox o vitamina C (Vázquez et al., 2022).

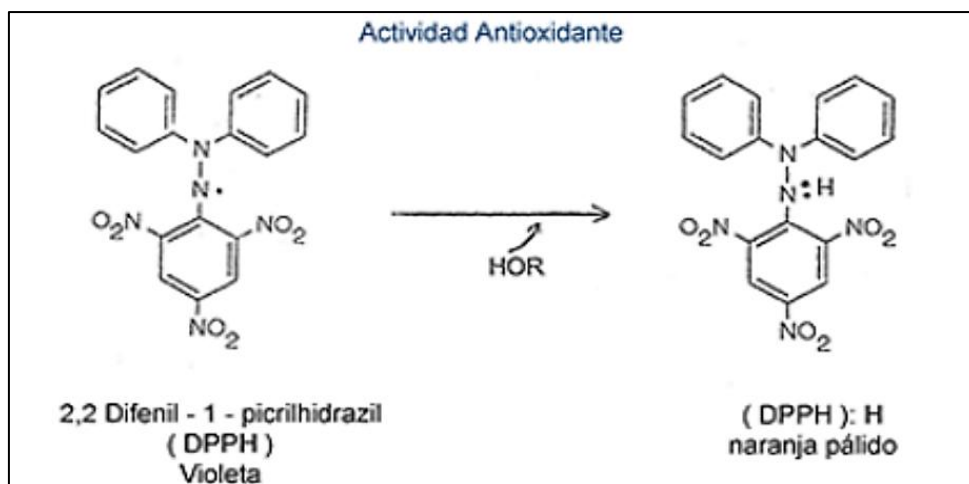


Figura 2. Reacción de la actividad antioxidante del DPPH.

Nota: Información obtenida de (Vázquez et al., 2022).

1.1.6. Microencapsulación mediante secado por aspersión

El microencapsulado mediante aspersión ha sido investigado y se ha vuelto popular en diferentes sectores, como la cosmética, la farmacéutica, la industria textil y la alimentaria, entre otros. Estas industrias han adoptado este método para encapsular y resguardar material de interés de manera económica, en comparación con otras técnicas (Torres et al., 2024). En el campo alimentario, es una de las técnicas más antiguas de encapsulación, con el objetivo principal de conservar sabores y algunas características de los alimentos. Hoy en día, se aplica en varias tecnologías dentro de la alimentación, permitiendo la encapsulación de probióticos, vitaminas, fitoquímicos y colorantes, lo que mejora la estabilidad y eficacia funcional de muchos compuestos sensibles al calor (Cardona et al., 2021). Esto hace más fácil la incorporación y disponibilidad de compuestos valiosos en los alimentos, además de permitir la liberación controlada y dirigida de los ingredientes bioactivos (Rios-Aguirre et al., 2021).

El microencapsulado es un método que crea una capa protectora que alberga el material de interés en su interior. Esta capa está hecha de un polímero fuerte y semipermeable, diseñada para prevenir reacciones no deseadas con el compuesto central (Cardona et al., 2021). Para lograr esto, se forma una emulsión entre el polímero y el material que se va a encapsular, agregando un agente que ayude a estabilizar la interfaz de la emulsión y la creación de cápsulas. Esta mejora la eficiencia y evita problemas como la separación de fases o la coalescencia (Pacheco & Toapanta, 2022).

En cuanto al secado por aspersión, este es un proceso que convierte un líquido en un sólido. Esto se hace al atomizar la solución, emulsión o pasta, generando gotas de diferentes tamaños que se pueden ajustar según las necesidades del usuario (Santos et al., 2019). Este método es especialmente ventajoso para

sustancias sensibles al calor, ya que su tecnología permite manipular materiales delicados sin afectar la calidad ni el funcionamiento del compuesto (Molina et al., 2022).

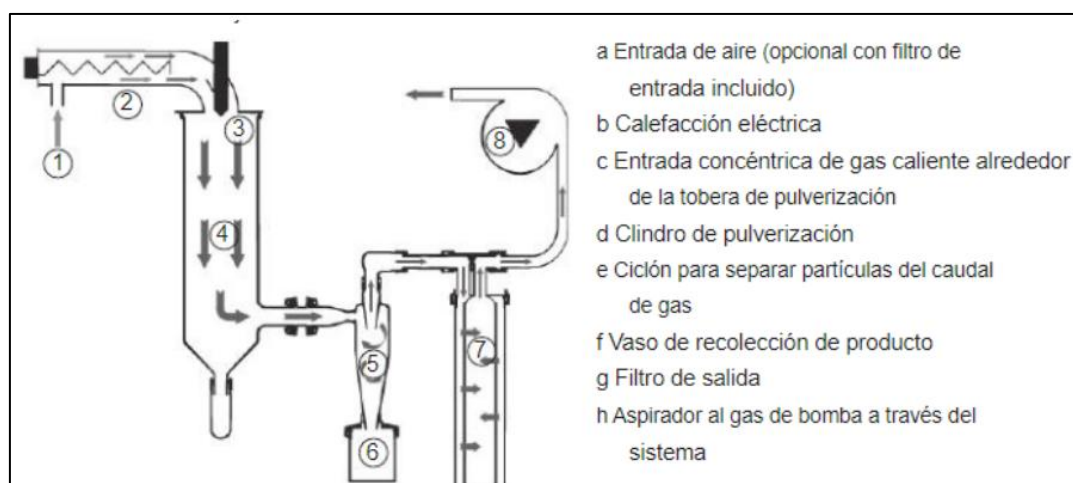


Figura 3. Principio de funcionamiento de Mini Spray Dryer B-290.

Nota: Información obtenida de (García et al., 2015).

El secado ocurre mediante la exposición a aire caliente de la máquina por lapsos cortos, lo que causa la evaporación de líquidos durante la aspersión. Este método ayuda a conservar el producto a una temperatura baja, incluso en presencia de gases calientes. El aire caliente circula hacia los aspersores que se encuentran en paralelo, en sentido opuesto al flujo de las gotas que se están secando. Esto permite que la humedad sea evaporada por el gas caliente, dando lugar al material sólido que luego se transporta a los separadores de ciclón.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Evaluar el potencial antioxidante del extracto microencapsulado obtenido de la mora (*Rubus niveus*) microencapsulado mediante secado por aspersión y su uso en la formulación de vino de mora (*Rubus glaucus benth*).

1.2.2. Objetivos Específicos

- Obtener un extracto microencapsulado rico en compuestos bioactivos de la mora (*Rubus niveus*) mediante secado por aspersión
- Evaluar la capacidad antioxidante del extracto microencapsulado por método in vitro (DPPH).
- Establecer una formulación para vino de mora con el microencapsulado de mora (*Rubus niveus*) que mejore sus propiedades sensoriales

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación fue de tipo experimental y fueron llevados a cabo en los laboratorios de la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE) y los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología (FCIAB), ubicados en el Campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato (UTA), a continuación, se enlista los materiales fungibles, equipos y reactivos utilizados durante la investigación.

2.1. Materiales, equipos y reactivos

2.1.1. Materiales

Material vegetal

- Frutos de *Rubus niveus*
- Frutos de *Rubus glaucus benth.*

Material Fungible

- Balón de aforo (100 ml)
- Vaso de precipitación (100 ml)
- Probeta plástica (100 ml)
- Micropipeta de 2-20 μ L
- Micropipeta de 100-1000 μ L
- Caja de puntas de 2-20 μ L
- Tubos Eppendorf de 2 mL
- Varilla de vidrio
- Mortero
- Botella ámbar 500mL
- Placa (96 pocillos)
- Discos de Papel filtro
- Toallas de papel
- Platos de aluminio
- Matraz Erlen Meyer 250mL
- Bureta de 25mL

2.1.2. Equipos

- Desecador
- Balanza analítica
- Nevera
- Potenciómetro portátil
- Refractómetro digital
- Termobalanza
- Condensador de reflujo
- Rotavapor
- Mini Spray Dryer
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Centrifuga
- Plancha de calentamiento
- Espectrofotómetro Infrarrojo
- Sonicador

2.1.3. Reactivos

Para la determinación de Acidez titulable se utilizó:

- Fenolftaleína 1%
- Hidróxido de sodio (0,1 N)
- Agua destilada

Para la extracción de compuestos bioactivos se utilizó

- Etanol (30%)
- Etanol (50%)
- Etanol (70%)

2.2. Métodos

2.2.1. Recolección de los frutos

La recolección de la mora (*Rubus niveus*) en su etapa de madurez se llevó a cabo en el Cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua, en las siguientes coordenadas 1°21'02.1"S 78°39'40.6"W, la materia vegetal recolectada serán almacenados en frascos de vidrio estériles a temperatura ambiente.

2.2.2. Adecuación del fruto

Limpieza

Los frutos recolectados fueron limpiados en seco, pasados en un tamiz que permitió eliminar impurezas, posteriormente, el material vegetal se sometió a un proceso de deshidratación aproximadamente por 24 horas a una temperatura de 140 F ó 60°C, lo cual permitió la reducción de la humedad (**Gallardo, 2021**). Como paso final la materia vegetal deshidratada obtenida pasó a un proceso de trituración con el uso de una licuadora se transformó en polvo fino que fue la base para la extracción (**Salgado et al., 2020**).

2.2.3. Análisis de la materia prima

Se analizó los frutos de *Rubus niveus* con el fin de tener una referencia sobre el contenido de los macronutrientes en los frutos recolectados.

2.2.3.1. Determinación de pH

La determinación del pH se realizó mediante un potenciómetro, conforme a lo señalado en la norma **INEN-ISO 1842 (2013)** la cual especifica que la medición debe llevarse a cabo directamente sobre una solución obtenida al disolverse 5 gramos de la muestra en 45mL de agua destilada.

2.2.3.2. Determinación de sólidos solubles

Se procedió acorde a las indicaciones establecidas en la norma **INEN- ISO 2173 (2020)** donde se utilizó un refractómetro digital, el cual permitió establecer una cuantificación numérica del contenido de sólidos solubles °Brix.

2.2.3.3. Determinación de acidez titulable

En primer lugar, se calibró el electrodo del potenciómetro portátil con tampón de pH 4 y pH 7 y agua destilada. El electrodo se enjuagó con agua destilada y se midieron los valores de pH individuales. Se lavó el electrodo con agua destilada y se midieron los valores de cada buffer, repitiendo el lavado entre cada lectura para evadir errores (**Jurado & Ceron, 2024**).

Tras la calibración del potenciómetro, se procedió a medir el pH de las muestras previamente preparadas. Estas muestras fueron realizadas en base a la norma **INEN- ISO 2173 (2020)**, añadiendo 5 gramos de

muestra en un matraz aforado de 250ml, a los cuales se agregaron 45ml de agua destilada. Seguidamente, la mezcla se homogenizo y se agrego 2 gotas de fenoltaleína como indicador visual durante la titulacion.

Posteriormente, se añadió a la muestra una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N con agitación continua hasta observar el primer ligero cambio de color, indicando la proximidad del punto de equivalencia. La fenolftaleína, utilizada como indicador, permitió la detección visual de este cambio (Rios-Aguirre et al., 2021). Una vez visible el cambio, se registró el volumen de NaOH consumido y posteriormente se utilizó para los cálculos correspondientes según la **Ecuación 1**, la cual fue adoptada de la normativa para el análisis de muestras vegetales.

$$A = \left(\frac{250}{M} * v_1 * N * \frac{100}{v_2} \right) * 0,064$$

Ecuación 1. Cálculo de Acidez Titulable

Nota: Información obtenida en INEN- ISO 750 (2013)

Donde:

A: g de ácido en 100g o mL de muestra

V₁: volumen de NaOH usados (mL)

N: Normalidad de la solución de NaOH

M: masa de la muestra (g)

V₂: volumen de la alícuota tomada para el análisis (mL)

Factor de conversión del ácido cítrico: 0,064

2.2.4. Extracción de compuestos bioactivos

Para la concentración de los polifenoles se utilizó el método descrito que consistió en realizar una solución compuesta por 96% de etanol y 2,5% de ácido cítrico (C₆H₈O₇) en una proporción de 85:15. La temperatura de extracción será de 60°C, en un tiempo de 30 y 45 minutos y la proporción de fruta/disolvente de 1:20 y 1:25. Al finalizar, se realizó un filtrado y se concentró los sólidos mediante una centrifuga a 4000rpm durante un periodo de 15 minutos (Llerena, 2024). El extracto obtenido se almaceno en frascos de vidrio ámbar y se conservó en refrigeración a 4 °C para mantener su estabilidad. La variable de respuesta será la concentración de antocianinas en base seca.

Tabla 5.Diseño Factorial 2².

Factor A (Relación)	Factor B	
	30 min (t1)	45 min(t2)
1:20 (RMD)	RMDt1	RMDt2
1:25 (RMD)	RMDt1	RMD2

Nota: RMD describe la relación de la muestra vegetal y el volumen disolvente, t es el tiempo.

Elaborado por: Myriam Yuccha, (2025)

Tabla 6.Composición del diseño experimental 2².

Tratamientos	Factor A (Relación)	Factor B (Tiempo)
1	1:20	30 min
2	1:20	45 min
3	1:25	30 min
4	1:25	45 min

Nota: Condiciones utilizadas para cada tratamiento de extracción

Fuente: Myriam Yuccha, (2025)

Según Szliszka et al. (2009) se descubrió que el etanol era el solvente más eficiente para la extracción de compuestos bioactivos, especialmente polifenoles, debido a su alta solubilidad y compatibilidad con matrices vegetales. Con base en estos hallazgos, se investigaron diferentes concentraciones de etanol, así como variaciones en la relación fruta/solvente y el tiempo de extracción para optimizar las condiciones favoreciendo una mayor recuperación de sólidos solubles y compuestos fenólicos presentes en la muestra.

2.2.4.1. Determinación de sólidos totales del extracto

Para la cuantificación de sólidos totales del extracto de la mora (*Rubus niveus*) se utilizó la metodología expuesta por Bastidas (2019), Con el valor obtenido de la humedad del extracto de mora (*Rubus niveus*) mediante la balanza de humedad y un Erlenmeyer de 50mL, se calculó el porcentaje de sólidos totales utilizando ecuación 2.

$$\% \text{ Sólidos Totales} = 100 - \% \text{ Humedad}$$

Ecuación 2. Cálculo de sólidos totales

Nota: Información obtenida de Bastidas (2019).

2.2.5. Microencapsulación por secado por aspersión

La microencapsulación del extracto de polifenoles se realizó de acuerdo con el método propuesto por **Rios & Gil (2021)** utilizando el sistema de secado por aspersión (Büchi B-290), en donde se obtuvo un polvo fino formado por microesferas que encapsulan los compuestos bioactivos de la mora (*Rubus niveus*), para lo cual se utilizó una proporción de 20:80 entre el extracto concentrado y la matriz polimérica (maltodextrina), junto con agua destilada, la mezcla fue agitada continuamente a 45 °C hasta alcanzar una homogeneidad completa. Finalmente, se sometió al secado por aspersión utilizando un Spray Dryer, bajo condiciones controladas de presión (-50 mbar) y temperatura (150 °C en la entrada y 90 °C en la salida), para la obtención del microencapsulado (**Lazcano et al., 2023**).

2.2.5.1. Eficiencia del microencapsulado

Para verificar la eficiencia del micro encapsulado, se agito durante 10 minutos una mezcla de 1,5 gramos del microencapsulado con 15 mL de agua destilada, midiendo posteriormente la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS (**Jurado et al., 2021**). El procedimiento se repetido con el uso de etanol al 70 % en lugar de agua destilada, manteniendo las mismas proporciones de los componentes. La eficiencia del proceso de microencapsulación se determinó aplicando la **ecuación 3**, ajustando las concentraciones de acuerdo con los valores de absorbancia medidos.

$$EE(\%) = \frac{[H_2O] - [E_tOH]}{[H_2O]} * 100$$

Ecuación 3. Cálculo de la eficiencia de microencapsulación

Nota: Información obtenida de **Jurado et al. (2021)**

Donde:

EE: Eficiencia del microencapsulado en porcentaje de masa (%)

[H₂O]: Concentración total presente en las microcápsulas (mg/L)

[E_tOH]: Concentración superficial en las microcápsulas (mg/L)

2.2.6. Cuantificación de Polifenoles totales del microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*) mediante el método de Folin-Ciocalteu

Se llevó a cabo la metodología propuesta por **García et al. (2015)** el cual menciona que el método de Folin-Ciocalteu se basa en la coloración azul que resulta de la reacción entre los fenoles y agentes

oxidantes, los cuales forman complejos fosfomolibdico-fosfotúngstico. Para el análisis, se pesó 0.1 g del microencapsulado, el cual fue diluido en 4 ml de agua destilada y sometido a centrifugación durante 15 minutos a 4000 rpm. Del sobrenadante conseguido, se tomó un volumen de 0.1 ml y se mezcló con 0.1 ml del reactivo Folin-Ciocalteu en un matraz aforado de 5 ml. La reacción se inició en aproximadamente 3 minutos, tras lo cual se añadió 2 ml de una solución de carbonato de sodio (75 g/l). Finalmente, el matraz se complementó con agua destilada y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 1 hora.

El procedimiento se repitió con una muestra de 0.1 ml del extracto, la cuantificación de polifenoles se realizó mediante un espectrofotómetro UV-Visible ajustado a una longitud de onda de 750 nm. Para ello, se preparó previamente una curva de calibración utilizando una solución estándar de ácido gálico con concentraciones en un rango de 50 a 200 ppm. Este análisis se ejecutó por triplicado. Finalmente, se determinó el contenido de fenoles totales tanto en el extracto como en el microencapsulado. Para lo que se utilizó la Ecuación 4 de la recta correspondiente a la curva de calibración de ácido gálico, y se aplicó la ecuación que se presenta a continuación:

$$\text{Concentración} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) = \frac{A * \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}}$$

Ecuación 4. Cálculo de la concentración polifenoles expresado en (ug/mL)

Nota: Información obtenida de **Rios & Gil (2021)**

2.2.7. Espectrofotometría infrarroja

Se utilizó espectroscopia infrarroja (IR) para examinar la presencia de grupos funcionales fenólicos en extracto de mora (*Rubus niveus*) tanto en su forma microencapsulada como en el polímero utilizado como agente encapsulante (**Galvín, 2024**).

2.2.8. Evaluación de la actividad antioxidante por método in vitro

La actividad antioxidante del extracto y del microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*) se analizó usando la técnica de microplaca DPPH descrita por Doroteo et al, (2013), los autores mencionan que dicho método se encuentra establecido en la interacción entre el radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo), que contiene un electrón desapareado, y el compuesto antioxidante.

Como punto inicial se realizó una curva de calibración empleando una solución madre de Trolox con concentraciones entre 50 y 500 $\mu\text{mol l}^{-1}$, utilizada como estándar. Posteriormente, en una microplaca de 96 pocillos, se añadió 20 μl de la muestra diluida y 180 μl de la solución de DPPH (150 $\mu\text{mol l}^{-1}$). La

mezcla se agito durante 60 segundos y luego se dejó reposar durante 40 minutos a temperatura ambiente en un lugar oscuro. Finalmente, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Visible. El porcentaje de inhibición del radical DPPH se determinó aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ inhibición DPPH} = \left[1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right) \right] * 100$$

Ecuación 5. Porcentaje de inhibición del radical DPPH

Nota: Información obtenida de Doroteo et al. (2013).

Donde:

Am: Absorbancia de la muestra

Ab: Absorbancia del blanco reactivo

Ac: Absorbancia de control

2.2.9. Elaboración de una formulación para vino de mora con el microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*) que mejore sus propiedades sensoriales.

La norma técnica **NTE INEN ISO 338 (2021)** “define al vino de mora como alcohol etílico de origen agrícola, mediante la destilación y la rectificación de mostos provenientes únicamente de la fermentación alcohólica de materias primas de origen agrícola de naturaleza azucarada o amilácea”. Seguidamente se desarrolló el vino de mora (*Rubus glaucus Benth*) en donde inicio con la selección y lavado de la fruta, estrujado, extracción del mosto, corrección de azúcar, ajuste de pH y acidez, seguido de una fermentación alcohólica controlada con la adición de levaduras seleccionadas (*Saccharomyces cerevisiae*). Posteriormente el vino base fue clarificado, estabilizado, y embotellado con el microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*) de polifenoles extraídos como enriquecedor de esta formulación.

2.2.9.1. Determinación de las propiedades sensoriales del vino de mora (*Rubus glaucus benth*) enriquecido con el microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*)

La evaluación sensorial del vino de mora (*Rubus glaucus Benth*) se realizó mediante una prueba de aceptación dirigida a un grupo de 30 jurados no entrenados con edades comprendidas entre 18 y 25 años. Cada juez recibió una tarjeta de degustación con una escala hedónica estructurada que había sido previamente validada para capturar sus percepciones de atributos sensoriales como color, aroma, acidez, sabor y aceptabilidad general del producto. El objetivo de esta evaluación fue determinar el nivel de

aceptabilidad del vino de mora fortificado, teniendo en cuenta las recomendaciones metodológicas de investigaciones recientes sobre análisis sensorial de alimentos funcionales (Franco et al., 2021)..

CAPÍTULO III.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Caracterización fisicoquímica del fruto de mora (*Rubus niveus*)

La recolección de los frutos de la mora (*Rubus niveus*) en estado de madurez se llevó a cabo en el Cantón Tisaleo, provincia de Tungurahua, en las siguientes coordenadas 1°21'02.1"S 78°39'40.6"W. Esta especie muestra una alta capacidad de adaptación a diversos entornos, generalmente en climas de lluvia y con un adecuado drenaje que mantiene óptimas condiciones de humedad para su desarrollo fisiológico (Singh et al., 2023). La fruta es similar a una frambuesa, pero su tamaño es menor, sus tonalidades varían dependiendo su estado de madurez de verde a negro oscuro con vellosidades.

Este estudio aporta información relevante sobre la caracterización fisicoquímica de la mora (*Rubus niveus*). En la tabla 7 se muestra los resultados obtenidos a partir de los análisis realizados sobre muestras de frutos en estado de madurez comercial.

Tabla 7.

Características fisicoquímicas de los frutos de mora (*Rubus niveus*)

Parámetro	Valor
pH	6.9±0,00
% Humedad	86.61±0,00
Sólidos solubles (°Brix)	8,2±0, 5
Acidez titulable (% Ácido cítrico)	3,1±0,01%

Nota: Análisis realizados en materia fresca, con 3 réplicas en los Laboratorios de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología y en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos (LACONAL).

Elaborado por: Myriam Yuccha.

La mora (*Rubus niveus*) pertenece a la familia rosácea, su fruta es un agregado de drupas que son originadas a partir de una flor apocárpica, la cual posee una estructura única. Su coloración inicial es verde que va cambiando hacia un rojo intenso y finalmente termina en un negro azulado, indicando que su madurez a completado (Pancholi & Rana, 2020).

Con base en los resultados obtenidos de *Rubus niveus* posee un $86,61.00 \pm 0.00\%$ de humedad, este rasgo se ha identificado en especies de la misma familia Rosaceae, subfamilia Rosoideae Que poseen un porcentaje de humedad comprendido entre $90 \pm 95\%$ (Franco et al., 2020). Este valor evidencia que el fruto de *Rubus niveus* posee una alta humedad, es importante señalar que el contenido de humedad en un alimento constituye un indicador clave de la estabilidad del producto, estableciendo un aspecto crucial para la formulación y para la evaluación de las pérdidas durante el procesamiento. En consecuencia, contribuye a prevenir el crecimiento de microorganismos y a minimizar reacciones químicas o enzimáticas de deterioro indeseables, asegurando la conservación de la textura y la estructura del producto (Hoffmann et al., 2023).

A medida que los frutos maduran, se observa un incremento en el pH y en el contenido de sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$), mientras que la acidez titulable presenta una reducción conforme avanza la madurez (Torres et al., 2013). A partir de los valores significativamente altos, en el pH con un $6,9 \pm 0,0$, en sólidos solubles con $8,2 \pm 0,05^{\circ}\text{Brix}$ y una acidez con $3,1 \pm 0,01\%$ (Expresado en ácido cítrico).

Se estima que los frutos de *Rubus niveus* se encuentran en su etapa optima de maduración, lo cual es respaldado por la coloración que se observa en el anexo 2. Por otra parte, el pH en frutas puede reflejar la composición de metabolitos como ácidos orgánicos, fenólicos y aminoácidos. Cabe destacar que los iones de Hidrogeno presentes se atribuyen a los ácidos orgánico (Sánchez, 2012).

3.2. Tratamiento aplicado para la extracción de antocianinas

Se realizó 4 réplicas de cada uno de los tratamientos, donde el primer factor evaluado correspondió a la relación material vegetal-volumen de disolvente (Rmv-vd), identificándose la proporción 1:25 como el parámetro mejor para el proceso. De igual manera, el tiempo de 30 minutos, lo que indica que, bajo estas condiciones, se maximiza la recuperación de antocianinas. En la Tabla 8, se observa los datos obtenidos, para determinar el contenido en base seca existente al tratamiento con mayor rendimiento.

Tabla 8.
Tratamientos aplicados para la extracción de antocianinas

T	Replica	%H	%ST	Abs($\lambda=535$)	C (g L ⁻¹)	BS/ 100(g) ST
1	R1	85,5	14,5	0,387	0,17438019	1,20262197
	R2	87	13	0,3884	0,17501102	1,3462386
	R3	87,5	12,5	0,411	0,18519446	1,48155569
2	R1	58,2	41,8	0,3473	0,15649157	0,37438175
	R2	56,4	43,6	0,3475	0,15658169	0,35913232
	R3	50,7	49,3	0,3963	0,17857072	0,36221241
3	R1	88,9	11,1	0,3965	0,17866084	1,60955708

	R2	87,89	12,11	0,3071	0,13837766	1,14267268
	R3	89,87	10,13	0,3074	0,13851284	1,36735281
	R1	51,2	48,8	0,3073	0,13846778	0,28374545
4	R2	49,36	50,64	0,388	0,17483078	0,34524246
	R3	55,92	44,08	0,3863	0,17406477	0,39488378

Nota. Interpretación de las siglas; T= tratamientos, % H= porcentaje de humedad, % ST= sólidos totales, Abs= absorbancia, C= concentración y BS= base seca de las antocianinas.

Durante el proceso de extracción, se agregó ácido cítrico al etanol al 96% con el propósito de preservar la estabilidad de los compuestos extraídos (**Ramírez, 2023**), y favorecer una mayor recuperación del compuesto bioactivo. Como resultado, el tratamiento 3 fue identificado como el más óptimo, al presentar, dentro de sus réplicas, una de las concentraciones más altas de antocianinas. Según, el componente principal en los extractos de la mora (*Rubus niveus*) son las antocianinas, responsables del color que va del rojo al azul oscuro (**Lucero & Muñoz, 2019**).

3.2.1. Diseño experimental

Se implementó un diseño factorial 2^2 , lo que permitió evaluar de manera simultánea los efectos individuales e interacciones de dos factores independientes sobre la variable de respuesta. Para determinar la significancia estadística de las diferencias entre los tratamientos, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA), con el fin de identificar factores que influyan significativamente en el resultado.

Tabla 9.

Análisis de Varianza para Concentración de antocianinas vs Base seca

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Relación	2,00535	1	2,00535	11,68	0,0142
B: Tiempo Ext	12,2313	1	12,2313	71,22	0,0002
AB	2,00229	1	2,00229	11,66	0,0142
bloques	0,477635	2	0,238817	1,39	0,3190
Error total	1,03044	6	0,171741		
Total (corr.)	17,747	11			

Elaborado por: Myriam Yuccha

El coeficiente de determinación R^2 obtenido en el análisis fue 94,197%, lo cual refleja la proporción de la variable dependiente que es explicada por el modelo propuesto (**Gao, 2024**).

De acuerdo con **Palma (2022)**, el coeficiente de determinación (R^2) es una medida estadística con valor predictivo que va de 0 a 1 o se expresa como porcentaje de 0% a 100%. Un valor de 0 significa que el modelo no explica ninguna parte de la variación observada en la variable dependiente, mientras que un valor de 1 indica que el modelo explica completamente esta variación. En este contexto, valores elevados

de R^2 reflejan un mayor poder explicativo del modelo, lo que se traduce en un mejor ajuste a los datos experimentales.

De este modo, a partir del análisis de varianza (ANOVA) se consiguió la ecuación (6) de acuerdo con el modelo ajustado; donde: C representa la concentración de antocianinas, R la relación material vegetal-volumen de disolvente, y T el tiempo de transición.

$$C\left(\frac{mg}{g}\right) = -15,3199 + 0,980481 * R + 0,355566 * T - 0,0217857 * R * T$$

Ecuación 6. Ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos

Nota: Generado por el programa Statgraphics.Net (2025).

A continuación, en la **Figura 4**, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado para la variable de respuesta oportuna a la concentración de antocianina en base seca (AntBS). Esto demuestra que el factor tiempo de extracción (B) tiene una influencia significativamente mayor en la respuesta y supera el umbral de significancia (línea azul) con un efecto negativo. Esto sugiere que las variaciones en el tiempo de extracción tienen un impacto significativo en la cantidad de antocianinas extraídas y son el factor más importante dentro del modelo.

Por el contrario, la relación de volumen de material vegetal a solvente (A) muestra un efecto menor y no significativo, lo que sugiere que su influencia en la respuesta es limitada dentro del rango evaluado. Finalmente, la interacción AB entre los dos factores también muestra un efecto estadísticamente significativo, aunque de menor magnitud que B, lo que sugiere que existe una interacción relevante pero secundaria entre la relación de solvente y el tiempo en el proceso de extracción de antocianina. Estos resultados sugieren que el tiempo de extracción debe optimizarse como una variable crítica para maximizar el rendimiento de antocianina en la muestra.

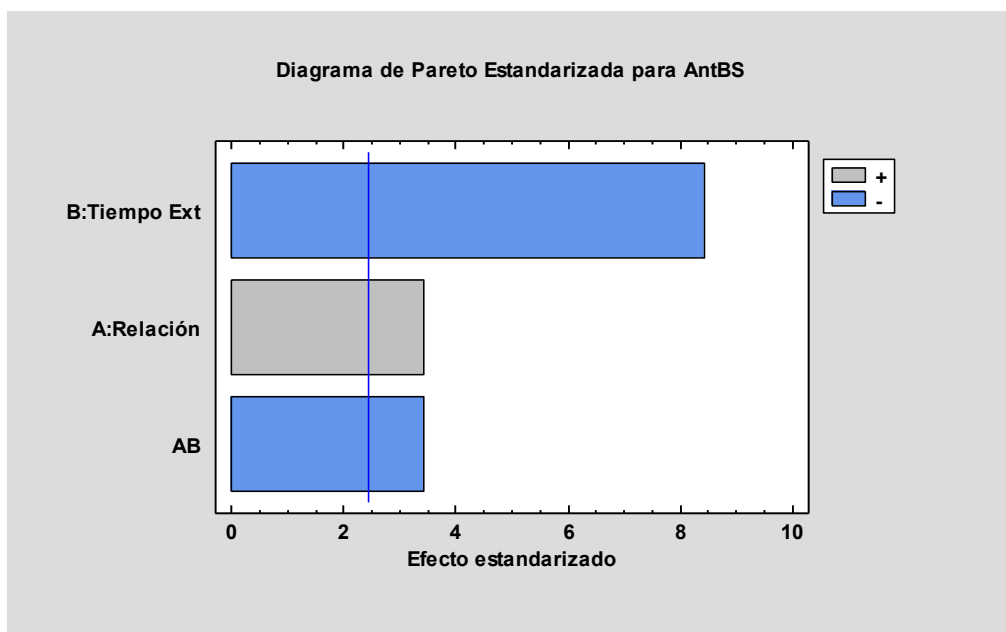


Figura 4. Diagrama de Pareto para la concentración de antocianinas.

Nota: La figura hace referencia a cada uno de los factores e interacciones analizadas del diseño experimental, reflejando la opción óptima para maximizar la extracción mayor.

A partir de los datos obtenidos también se creó una superficie de reacción que proporciona una representación tridimensional del sistema investigado. Este tipo de diagrama permite visualizar simultáneamente la interacción entre los factores evaluados y su influencia sobre la variable respuesta, en este caso la concentración de antocianina (**Rolón & Rodríguez, 2020**).

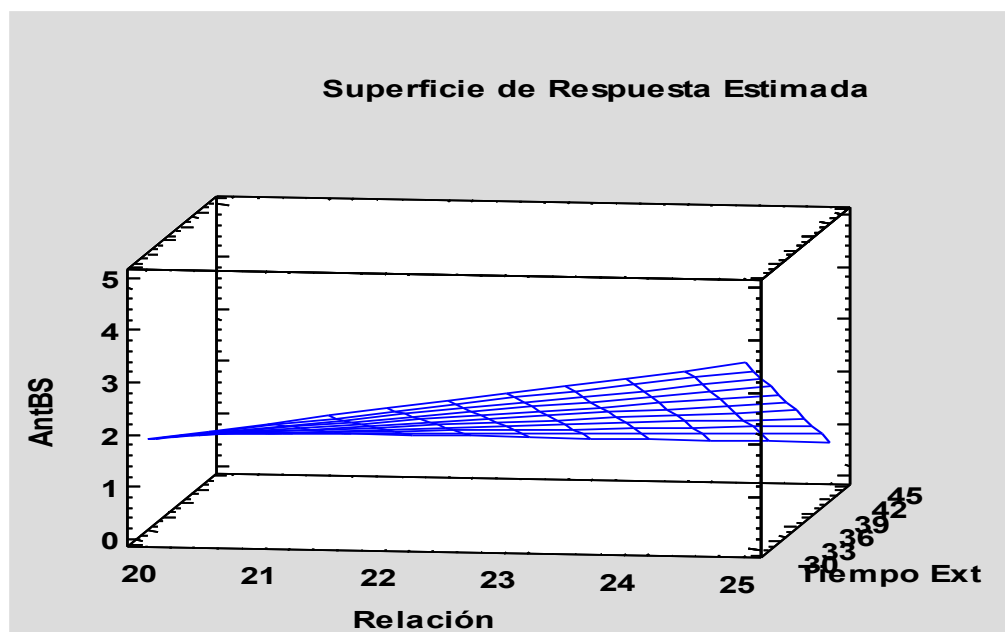


Figura 5. Diagrama de superficie de respuesta de los efectos principales en la extracción de antocianinas

Nota: Interacción de las variables independientes para la concentración total de antocianinas. Adaptado de la versión gratuita de Statgraphics.Net (2025)

En la investigación de **Sánchez (2012)** se ha demostrado que el rendimiento de la extracción está influenciado principalmente por factores como la temperatura del proceso y la relación sólido-líquido; mientras que, el tiempo no siempre tiene una influencia significativa. Sin embargo, los resultados obtenidos en el presente estudio muestran un comportamiento diferente en la extracción de antocianinas de mora (*Rubus niveus*). Los resultados indican que una menor relación de volumen de material vegetal con respecto al disolvente, en conjunto con un tiempo de extracción más largo y una temperatura constante de 70 °C conduce a un mayor rendimiento de extracción.

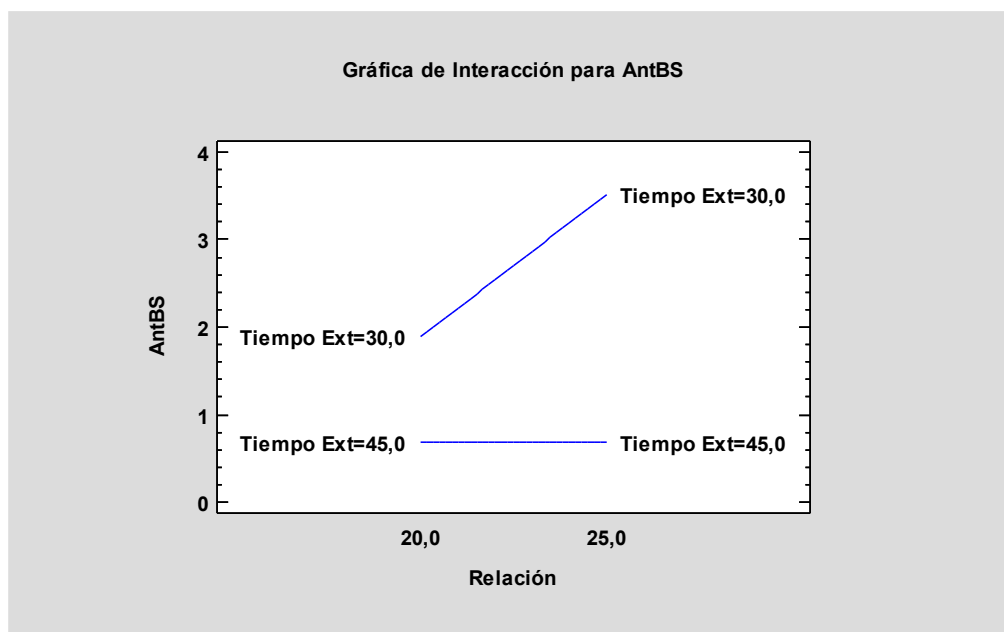


Figura 6 . Diagrama de interacción para concentración de antocianinas en base seca.

Nota: Interacción de las variables en versión al tiempo para la extracción de antocianinas. Adaptado de la versión gratuita de **Statgraphics.Net (2025)**

En la **Figura 6** la interacción muestra que, en un tiempo de extracción de 30 minutos, se logra un aumento significativo en la concentración de antocianina al aumentar la relación de volumen de material vegetal con respecto al solvente. Este comportamiento sugiere que, en este tiempo de operación, la eficiencia de extracción mejora con mayor disponibilidad de solvente, favoreciendo la solubilización y liberación de los compuestos fenólicos presentes en la mora (*Rubus niveus*).

3.3. Determinación de las condiciones óptimas para la cuantificación de polifenoles

Para optimizar el proceso de extracción de polifenoles de *Rubus niveus*, se realizaron diferentes tratamientos experimentales, considerando el tiempo de extracción y la concentración del disolvente etanólico (EtOH) como variables independientes. La relación muestra-disolvente se mantuvo constante en 1:25, lo que permitió una evaluación controlada de los efectos de cada factor en la eficiencia del proceso de extracción.

Tabla 10.
Concentración de polifenoles mg GAE/ g de base seca

Tratamientos	Réplicas	Contenidos de polifenoles (TPC -mg GAE/g de base seca)
1	1	35,339
	2	35,559
	3	35,155
2	1	50,705
	2	51,742
	3	52,852
3	1	27,469
	2	27,506
	3	27,285
4	1	89,867
	2	88,756
	3	87,683

Nota: La extracción de polifenoles se ejecutó por triplicado y los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar para afirmar la reproducibilidad y precisión del procedimiento analítico.

Elaborado por: Myriam Yuccha

Los datos que se manifiestan en la **Tabla 10** muestran que la concentración de polifenoles extraídos de *Rubus niveus* varió considerablemente entre tratamientos, consiguiendo valores entre 27,28 y 89,87 mg GAE/g materia seca. El tratamiento 4 se caracterizó por las concentraciones más altas, con un promedio de más de 88 mg GAE/g, lo que lo convierte en el tratamiento más eficiente en el estudio (**Chalchez, 2022**).

La disminución observada en el rendimiento se debió al uso de bajas concentraciones de solventes, lo que afectó negativamente a la solubilidad de los compuestos fenólicos; y a su vez, limitó su liberación de la matriz vegetal, dando como resultado una eficiencia de extracción baja. En cambio, un aumento controlado en la concentración de disolvente favoreció la disolución de los polifenoles y mejoró significativamente el rendimiento del proceso de extracción (**Doroteo et al., 2013**).

3.3.1. Diseño experimental 22

Tabla 11.

Análisis de Varianza para Concentración de polifenoles vs Base seca

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Relación	5 E-9	1	5, E-9	0,07	0,7999
B: Tiempo Ext	1,5E-9	1	1,5E-9	0,02	0,8892
AB	0,0000124215	1	0,0000124215	182,33	0,0002
bloques	2,58333E-8	2	1,29167E-8	0,19	0,8343
Error total	2,725E-7	4	6,8125E-8		
Total (corr.)	0,000013316	9			

Nota: La cantidad de polifenoles no mostró cambios por separado ni con la relación ni con el tiempo de extracción ($p > 0.05$), sin embargo, se observará un efecto notable en la interacción entre estos dos factores ($p = 0.0002$).

Elaborado por: Myriam Yuccha

El valor R^2 del 97,95 % indica que el modelo puede explicar casi toda la variación en la eficiencia de extracción de polifenoles, es decir, las condiciones evaluadas (como la temperatura y solvente) afectan a los resultados. El etanol es uno de los solventes más utilizados en la extracción de compuestos bioactivos, teniendo en cuenta su perfil favorable, que combina baja toxicidad y alta disponibilidad comercial. Su capacidad para disolver una amplia gama de metabolitos, incluidos los polifenoles, se asocia con un intermedio que le permite interactuar con compuestos polares y parcialmente apolares.

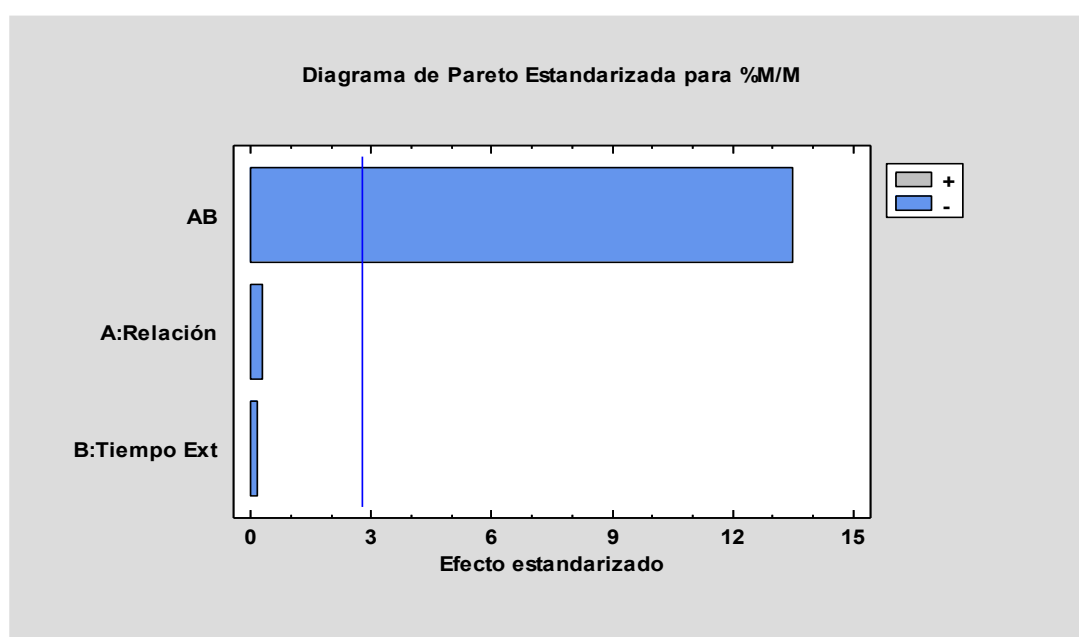


Figura 7 Diagrama de Pareto para la concentración de polifenoles.

Nota: Diagrama obtenido del software Statgraphics.Net (2025)

El diagrama de Pareto que se observa en la **Figura 7** muestra que la interacción entre el Factor A (Relación) y el Factor B (Tiempo de Extracción), denotado como AB, tiene un efecto significativamente mayor en la variable de respuesta al % de polifenoles; mientras que, los efectos individuales de A y B son prácticamente insignificantes. El hecho de que sólo la barra correspondiente a AB supere la línea de significancia proporciona evidencia de que esta interacción tiene un efecto estadísticamente relevante sobre el rendimiento. Por lo tanto, la combinación de la tasa de extracción y el tiempo de extracción son los factores más influyentes y los cuales, deben optimizarse para mejorar la tasa de extracción de polifenoles.

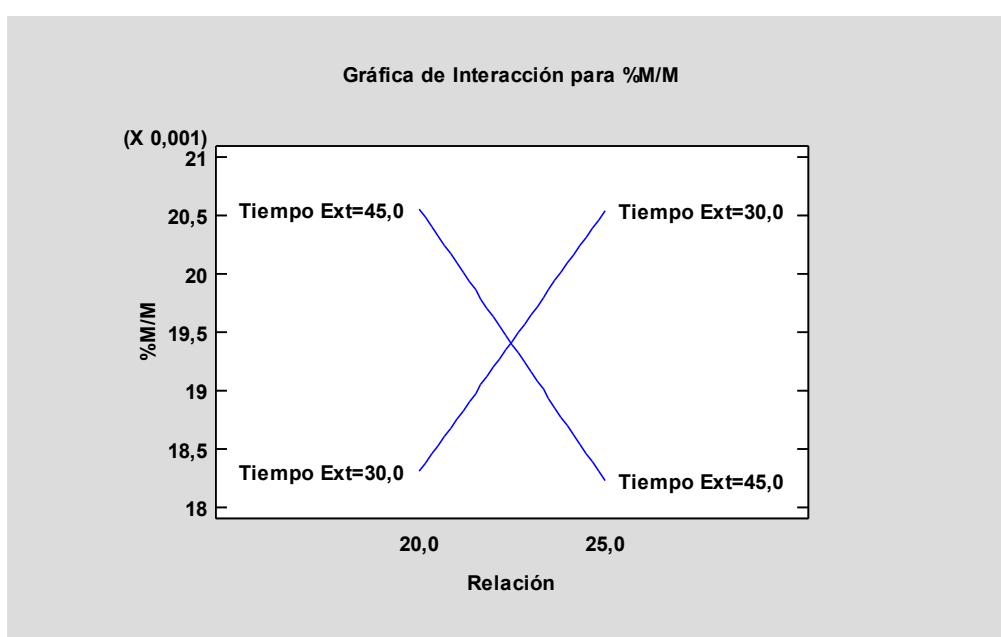


Figura 8. Grafica de interacción para la concentración de polifenoles.

Nota: Diagrama obtenido del software Statgraphics.Net (2025).

La **Figura 8** indica que la proporción y el tiempo de extracción tienen un efecto interactivo significativo en la eficiencia de extracción de polifenoles. Esto indica que el efecto de un factor depende directamente del nivel de otro factor. Cuando la relación fue inferior a 22,5, los tiempos más largos favorecieron la extracción, lo que puede deberse al mayor grado de difusión de los compuestos en el disolvente.

Sin embargo, a medida que aumentaba la relación, los tiempos más cortos se volvían más eficientes, lo que podría deberse a la saturación del sistema o a la liberación rápida de polifenoles en condiciones más concentradas. Este efecto interactivo sugiere que no es suficiente optimizar cada variable individualmente y que deben considerarse sus efectos combinados para maximizar la extracción sin comprometer la eficiencia operativa.

3.4. Microencapsulación de polifenoles mediante secado por aspersión

Este proceso tecnológico resulta fundamental para salvaguardar las propiedades de compuestos bioactivos de diferentes matrices. Bajo este contexto, los polifenoles actúan como agentes antioxidantes que previenen la degradación del compuesto, permitiendo al mismo tiempo una adsorción gradual y eficiente en el sistema digestivo (**Bastidas, 2019**).

La microencapsulación se trabajó con una emulsión conformada por maltodextrina y extracto concentrado en una proporción controlada de 80:20 respectivamente. La maltodextrina es ampliamente utilizada como material encapsulante en la industria alimentaria debido a sus propiedades fisicoquímicas favorables, tales como: su sabor neutro, elevada solubilidad en agua y baja viscosidad incluso a altas concentraciones. Estas características ayudan a su empleo en procesos de secado por atomización (spray drying), aumentando la eficiencia del proceso y calidad del producto final; por otra parte, actúa como una barrera protectora frente a factores externos que podrían inducir la degradación de los compuestos encapsulados, contribuyendo así a la estabilidad y su conservación (**Rios & Gil, 2021**).

La microencapsulación se hizo en un Mini Spray Dryer (BUCHI B-290), la mezcla de maltodextrina con el extracto concentrado, previamente homogenizado a una concentración optimizada, bajo condiciones controladas de presión (-50 mbar) y temperatura (150 °C en la entrada y 90 °C en la salida) las mismas que fueron monitorizadas durante la obtención del microencapsulado (**Rios & Gil, 2021**).

3.4.1. Eficiencia del microencapsulado

Según **Lingua et al. (2020)**, el uso de maltodextrina como agente encapsulador presenta una eficiencia que oscila entre el 90,6% y 97. 8%, asociada a la mezcla con condiciones óptimas. En la **Tabla 12**, la mezcla optimizada presento una eficiencia promedio de 94,30% , lo que refleja un desempeño satisfactorio del proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión. De conformidad con lo expuesto por **Righi da Rosa et al. (2019)**, las condiciones operativas del proceso de microencapsulacion por spray drying influye de manera significativa en la eficiencia del encapsulado. Parámetros como la temperatura de entrada y salida del aire, así como la velocidad de alimentación, constituyen variables críticas que deben ser controladas. Por otra parte, las propiedades fisicoquímicas del material a encapsular, como: su viscosidad, solubilidad y estabilidad térmica, también desempeñan un papel fundamental en el rendimiento final del proceso.

Cabe destacar que, el caudal de aire afecta directamente el tiempo de resistencia de las partículas dentro de la cámara de secado, un caudal bajo prolonga este tiempo, aumentando el riesgo de sobrecalentamiento y la degradación de compuestos sensibles; mientras que, un caudal excesivo reduce el secado, dejando humedad residual en las partículas (Rios & Gil, 2021). Es importante destacar que la temperatura de entrada al secador se encuentra en un rango óptimo de 140°C a 200°C. Con el fin de conservar los polifenoles, es recomendable que la temperatura se mantenga dentro de un rango de 140°C a 150°C, temperaturas elevadas pueden ocasionar la degradación de los polifenoles; además de, promover la formación de pigmentaciones y fisuras en el polvo microencapsulado (Santhalakshmy et al., 2015). Sin embargo, si la temperatura de entrada es demasiado baja, la evaporación se restringe y da lugar a microcápsulas con alta densidad y contenido de humedad. Esto promueve la aglomeración de las partículas, generando un impacto negativo en la fluidez y la eficiencia del proceso de secado.

Tabla 12.

Eficiencia de microencapsulación de *Rubus niveus*.

Replica	Absorbancia		Concentración		Eficiencia (%)	Promedio
	Agua	Etanol 96%	Agua	Etanol 96%		
1	0,6391	0,110	253,7273	13,2273	94,7868	94.3056
2	0,6384	0,113	253,4091	14,5909	94,2422	
3	0,6388	0,115	253,5909	15,50	93,8878	

Nota: La microencapsulación de *Rubus niveus* mostró una alta eficiencia, con promedios que rondan el 94. 3%, y los resultados fueron consistentes en las tres pruebas realizadas.

Elaborado por: Myriam Yuccha

3.4.2. Análisis de Espectrofotometría Infrarroja (FTIR-ATR)

La espectroscopia infrarroja es una técnica analítica útil para evaluar las propiedades fisicoquímicas de diversos compuestos, identificando grupos funcionales, midiendo la absorción de la radiación infrarroja al atravesar una capa delgada de la sustancia, dentro de un rango de longitudes de onda que comprenden las regiones del infrarrojo cercano, medio y lejano (Borba & Gómez-Zavaglia, 2023). Este método es ampliamente utilizado debido a su capacidad para diferenciar sustancias con estructuras moleculares similares, al identificar variaciones en sus grupos funcionales y patrones de absorción característicos. La región comprendida entre 4000 y 400 cm⁻¹ se conoce como infrarrojo medio (MIR) y es una de las más utilizada para la identificación de grupos funcionales presentes, debido a que cada compuesto posee un espectro infrarrojo único (Mondragón, 2020).

Se realizó un análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR) con el objetivo de identificar los grupos funcionales presentes en el extracto concentrado y en el microencapsulado de la *Rubus niveus*., así como en la maltodextrina empleada como agente encapsulante, con el fin de evaluar su funcionalidad. Las muestras se evaluaron en un rango espectral de 550 a 4000 cm^{-1} , como se muestra en la **Figura 9**.

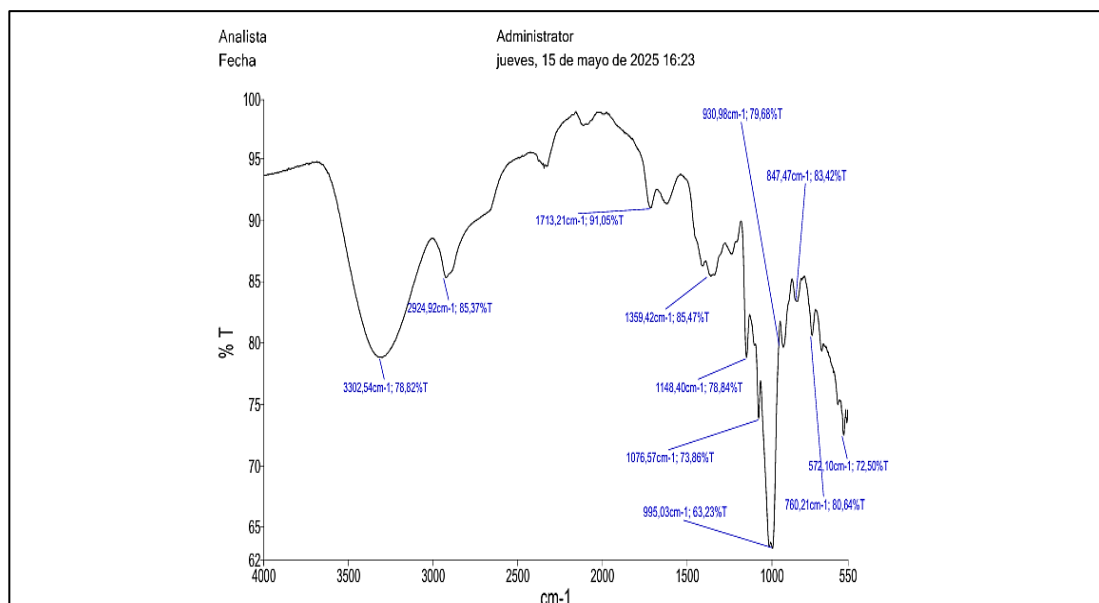


Figura 9. Espectroscopia infrarroja de maltodextrina. (% de Transmitancia) y (cm^{-1} Número de onda)

Nota: La espectroscopia infrarroja se analizó en el Espectroscopio Infrarrojo Transformada Fourier (FTIR), situado en los laboratorios de la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE).

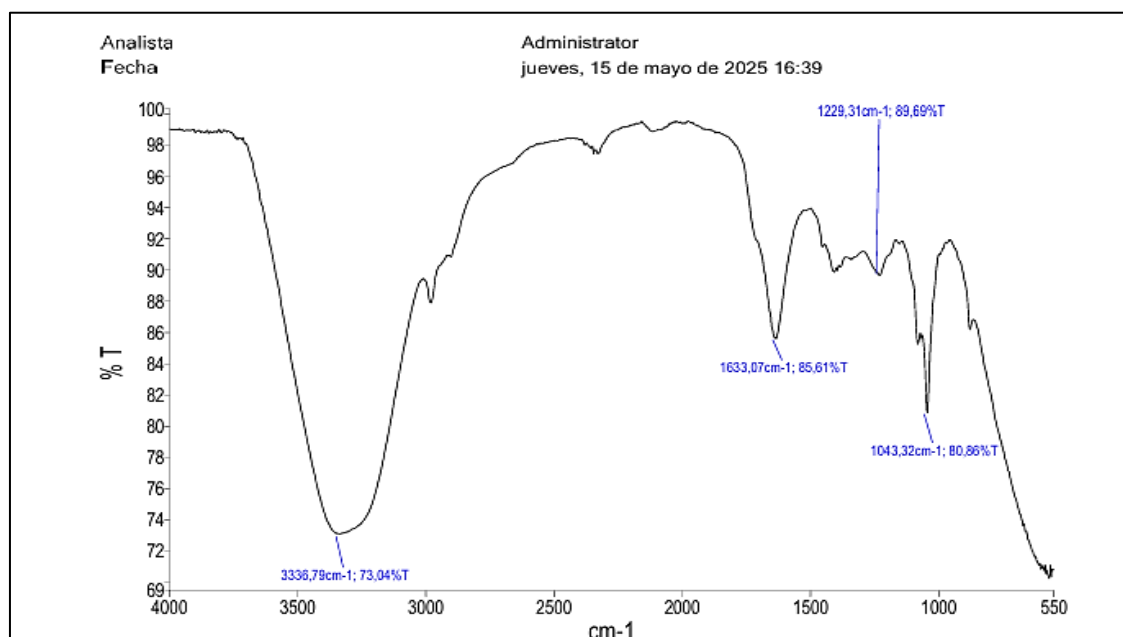


Figura 10 Espectroscopia infrarroja del extracto de *Rubus niveus* (% de Transmitancia) y (cm^{-1} Número de onda).

Nota: la espectroscopia infrarroja fue realizada en el Espectroscopio Infrarrojo Transformada Fourier (FTIR), ubicado en los laboratorios de la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE)

El espectro de extracto concentrado de *Rubus niveus*., evidenciado en la **Figura 10** muestra un pico en la longitud de onda $1633,07\text{cm}^{-1}$. Según Wongs et al. (2022) las bandas de absorción situadas en la región 1600 y 1700cm^{-1} corresponden a la presencia de fenoles y otras estructuras aromáticas. Estas bandas se asocian con las vibraciones de los anillos aromáticos y los enlaces dobles de carbono contenidos en los compuestos fenólicos. Es decir que, el pico mostrado en el espectro del extracto se encuentra dentro del rango, lo que evidencia la presencia de estructuras fenólicas en la muestra.

En la **Figura 11** se muestra el espectro infrarrojo superpuesto del extracto concentrado y del extracto microencapsulado de *Rubus niveus*; así como, el espectro del polímero maltodextrina utilizado como agente de encapsulación, proporcionando información sobre el proceso de microencapsulación. En el espectro del extracto concentrado (verde) se observan bandas características que, al compararlas con el espectro del extracto microencapsulado (rosado) y el de la maltodextrina (negro), indican una notable concordancia entre los perfiles del microencapsulado y la maltodextrina. Esta similitud espectral, particularmente en el rango de 550 a 4000 cm^{-1} , evidencia una integración adecuada del extracto en la matriz de maltodextrina y es, por tanto, una prueba de la eficiencia del proceso de microencapsulación. La atenuación o desplazamiento de ciertas bandas específicas del extracto concentrado en la microencapsulación señalan interacciones químicas entre el compuesto bioactivo y el polímero, lo que contribuye a la protección y estabilidad del extracto encapsulado.

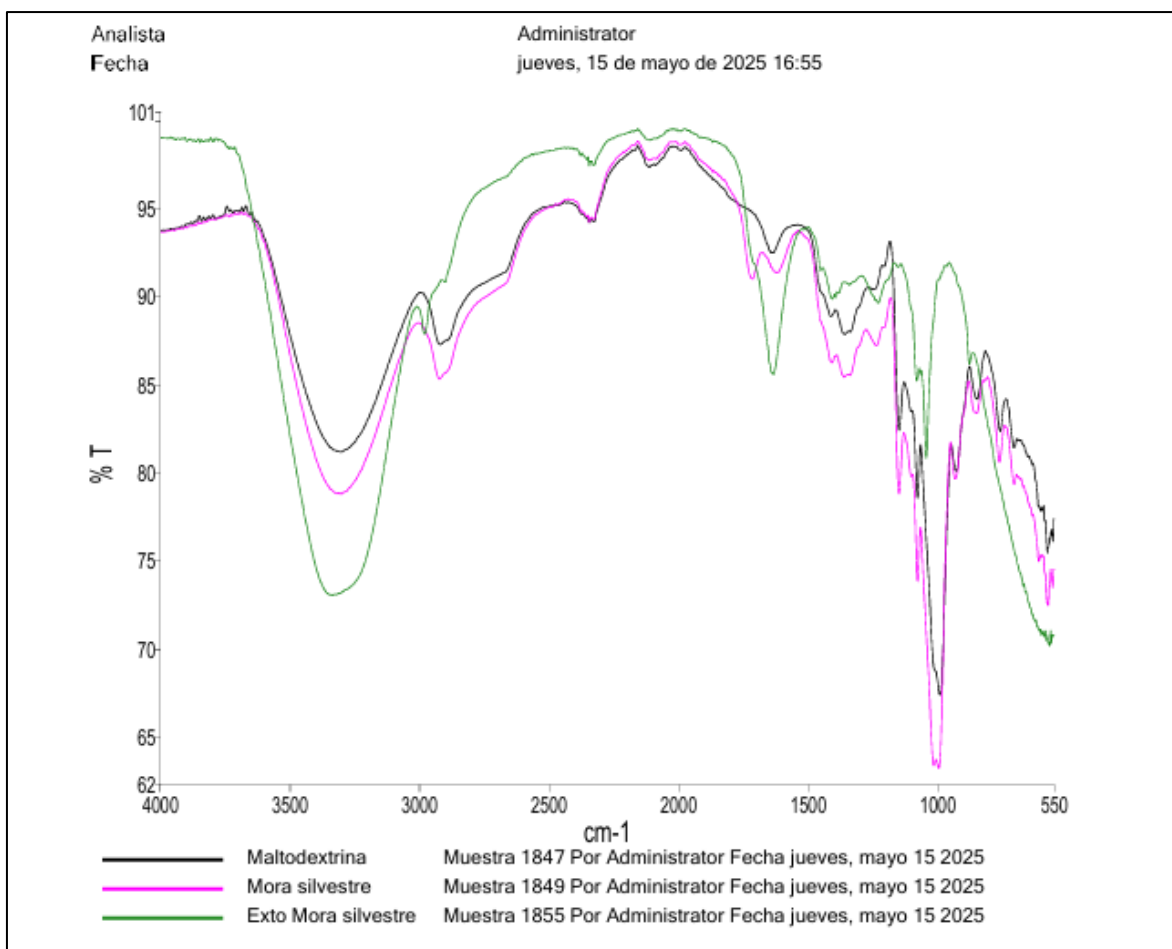


Figura 11. Espectroscopia infrarroja de maltodextrina, extracto y microencapsulado (% de Transmitancia) y (cm⁻¹ Número de onda).

Nota: Las muestras de extracto y microencapsulado son de mora (*Rubus niveus*.), fueron analizados mediante espectroscopia infrarroja usando un Espectroscopio Infrarrojo Transformada Fourier (FTIR). Análisis ejecutado en los laboratorios de la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE)

3.5. Evaluación del potencial antioxidante del extracto y microencapsulado

Los resultados del análisis se muestran en la **Tabla 13**, donde se identificó que tanto el extracto de mora (*Rubus niveus*), el extracto microencapsulado y el vino con el microencapsulado contienen polifenoles y actividad antioxidante. El contenido de EAG del extracto es de 287,25 mg/100 g, la tasa de inhibición de los radicales libres DPPH es del 84,57 % y la actividad antioxidante es de 475,49 μ mol Trolox/100 g, lo que demuestra su alto contenido en compuestos fenólicos. Las microcápsulas también muestran una presencia significativa de estos compuestos, con: 214,43 mg de EAG/100 g, un índice de inhibición de DPPH del 71,43 % y 401,20 μ mol de Trolox/100 g, evidenciando que el proceso de encapsulación ha conservado con éxito una proporción considerable de la actividad antioxidante del extracto. Del mismo modo, el vino elaborado con la tecnología de microcápsulas mostró una actividad antioxidante de 372,01

μmol de Trolox/100 g y una inhibición del DPPH del 64,32 %, reflejando que los compuestos bioactivos de la mora siguen estando disponibles en el producto final. **Grande-Tovar et al. (2020)** informa en su estudio sobre el extracto de *Rubus glaucus Benth* que, la tasa de inhibición del DPPH de muestras ricas en polifenoles superaba el 80 %, un valor similar al obtenido en el presente estudio (la tasa de inhibición del extracto de *Rubus niveus* fue del 84,57 %), lo que demuestra su fuerte actividad antioxidante.

La disminución de la actividad antioxidante en el vino con el microencapsulado puede atribuirse a la dilución del principio activo en la matriz del vino y a posibles interacciones con compuestos presentes, como: el etanol, los ácidos orgánicos y los azúcares; incluso cuando, la microencapsulación se ha incorporado en la fase de maduración. Es posible que no todos los compuestos fenólicos encapsulados se hayan liberado completamente en el medio, lo que afecta a la medición de su actividad. Estudios como los de **Márquez et al. (2015)** indican que, la adición de compuestos bioactivos en etapas posteriores de la vinificación puede verse limitada por una baja liberación de los principios activos o por su interacción con la matriz, lo que reduce la capacidad antioxidante observable.

Tabla 13.

Potencial antioxidante del extracto y microencapsulado de compuestos bioactivos de mora (*Rubus niveus*).

Muestra	Polifenoles Totales (mg/ EAG/100g)	% Inhibición DPPH	Actividad antioxidante (μmol Trolox/100g muestra)
Extracto de mora (<i>Rubus niveus</i>)	287,2451	84,5714	475,4936
Microencapsulado (<i>Rubus niveus</i>)	214,4321	71,4285	401,1982
Vino con micro encapsulado	-	64,3213	372,0123

Nota: EAG: Equivalente de ácido gálico. Análisis realizados en los Laboratorios de la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE) de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Elaborado por: Myriam Yuccha

3.5.1. Polifenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu del extracto y del microencapsulado

La determinación de compuestos fenólicos totales se basa en una reacción redox colorimétrica entre los grupos hidroxilos fenólicos y el reactivo de Folin-Ciocalteu, dando lugar a la formación de un complejo de color azul intenso. Esta coloración es indicativa de la presencia de fenoles y permite una evaluación cualitativa inicial.

Para la cuantificación, la intensidad del color generado se mide mediante espectroscopia UV visible a una longitud de onda específica, la misma que es proporcional a la concentración de compuestos fenólicos presentes en la muestra (**García et al., 2015**). La cuantificación de polifenoles totales se expresa en equivalentes de ácido gálico (EAG), dado que este compuesto fenólico se emplea como estándar de referencia en el método de Folin-Ciocalteu para la estimación cuantitativa de polifenoles totales en la muestra (Muñoz-Bernal et al., 2017). Como se observa en la **Figura 12**, existe una curva de calibración que relaciona la concentración en un rango de 10 a 100mg/L en el eje de las abscisas y las correspondientes medidas, a 750nm, se graficaron en el orden de las ordenadas.

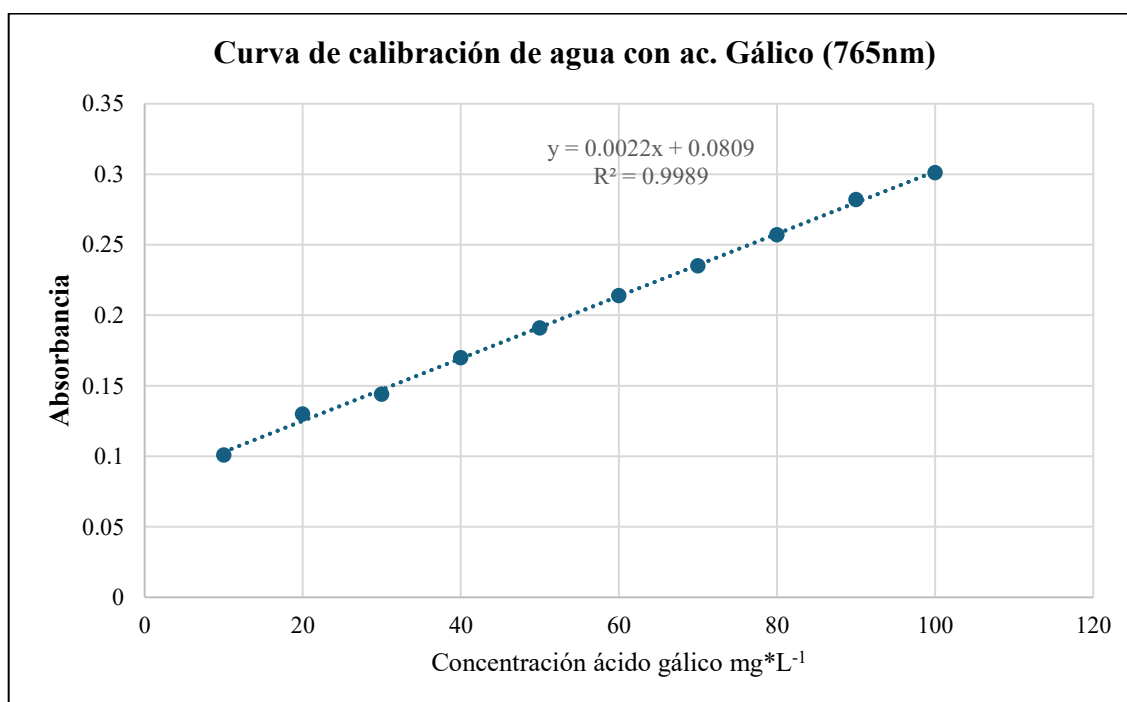


Figura 12. Curva de calibración ácido gálico.

Notas: La curva de calibración de ácido gálico se construyó para mantener una mayor precisión y sensibilidad en concentraciones bajas de fenoles. Análisis realizado en los laboratorios de la Unidad Operativa de Investigación y Desarrollo (UODIDE), laboratorio de caracterización microscópica.

Elaborado por: Myriam Yuccha.

3.6. Formulación de un vino de mora (*Rubus glaucus Benth*) con el microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*)

La formulación de un vino de mora (*Rubus glaucus Benth*) con microencapsulación de mora (*Rubus niveus*) representa una alternativa innovadora para aumentar el valor funcional del producto final. La microencapsulación permite proteger los compuestos bioactivos, en particular los polifenoles, durante la vinificación y el proceso de maduración, mejorando así su estabilidad y liberación controlada en el vino. Esto no solo contribuye a mantener una alta capacidad antioxidante, sino que también puede mejorar las propiedades sensoriales y la vida útil del vino, además de aportar un valor nutricional adicional sin afectar a la calidad organoléptica del producto (Márquez et al., 2015).

En la **Tabla 14** se presenta la formulación del vino de mora (*Rubus glaucus Benth*) con un 49 % de contenido en fruta y la adición de polifenoles de mora microencapsulados (*Rubus niveus*) en una proporción del 0,43 % tiene como objetivo mejorar la actividad antioxidante y la estabilidad del producto. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se utiliza para una fermentación controlada, mientras que el azúcar y el agua determinan el volumen y el perfil sensorial. Estudios como los de Xue et al. (2024) y Delić et al. (2024) han demostrado que la microencapsulación mejora la conservación, la liberación de compuestos fenólicos en los vinos y evita su degradación durante el proceso. La presente formulación está en consonancia con los resultados de estas investigaciones y muestra las ventajas de incorporar polifenoles microencapsulados para la elaboración de vinos funcionales con un mayor valor nutricional.

Tabla 14.

Formulación del vino de mora (*Rubus glaucus benth*) con la adición del microencapsulado de mora (*Rubus niveus*).

Ingredientes	Cantidad (kg)	Porcentaje (%)
Mora (<i>Rubus glaucus benth</i>)	4	49,092
Agua purificada	3	36,819
Azúcar	1,073	13,169
Levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	0,04	0,491
Microencapsulado de polifenoles de mora (<i>Rubus niveus</i>)	0,0352	0,432

Nota: La formulación está diseñado para 8kg de vino. Formulación adoptada de Gutiérrez (2020)

Elaborado por: Myriam Yuccha.

3.6.1. Análisis sensorial del vino de mora (*Rubus glaucus benth*) enriquecido con compuestos bioactivos

Tabla 15.
Nivele de aceptación

Puntaje	Grado de aceptabilidad
1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta
3	Ni me gusta ni me disgusta
4	Me gusta
5	Me gusta mucho

Elaborado por: Myriam Yuccha

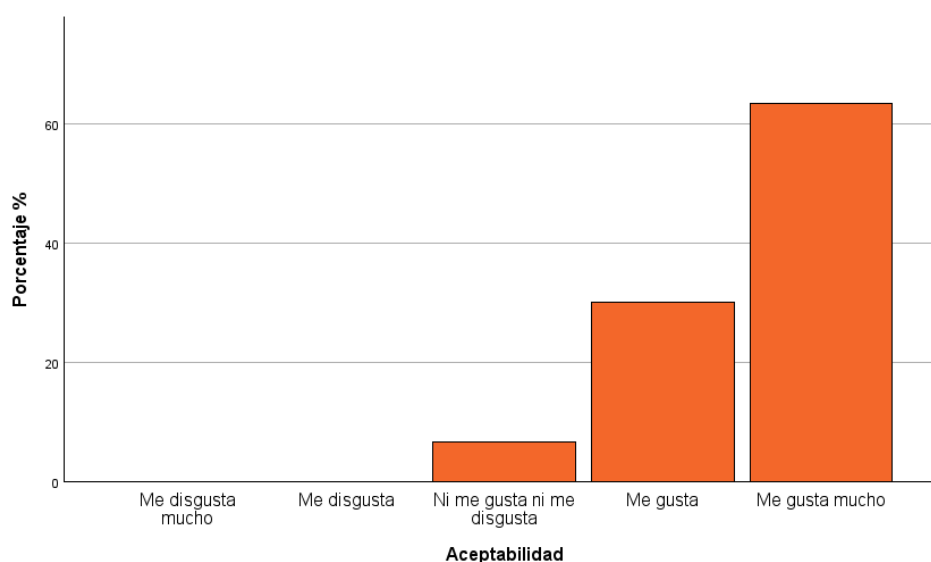


Figura 13. Respuesta de la escala hedónica por parte de los catadores del vino de mora con el microencapsulado.

Nota: Realizado mediante el programa SPSS.

El análisis sensorial es un componente clave en la evaluación de la calidad de un producto puesto que permite identificar el grado de aceptación de este por parte del consumidor a través de sus percepciones sensoriales. En la **Figura 13** se observa el nivel de aceptación del vino de mora añadido el microencapsulado, los resultados obtenidos mediante una escala hedónica de 5 puntos reflejan una alta aceptación del 63,3%, señalando que a los catadores les guste mucho, en cuanto al 6,7% manifestó indiferencia o ligera desaprobación. Estos hallazgos muestran una buena aceptación del producto, que se debe a sus propiedades organolépticas favorables, como el color, el aroma y el aspecto general, lo que refleja que la incorporación de la microencapsulación no afecta negativamente a la percepción sensorial del vino Delic et al. (2024).

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.Conclusiones

- Los frutos de *Rubus niveus* manifestaron un efecto antioxidante excepcional en comparación con otras especies de la familia de las rosáceas. Esta alta capacidad bioactiva está relacionada con factores extrínsecos como las condiciones agroecológicas, el tipo de suelo y el clima de las zonas de cultivo. Estas características hacen de *Rubus niveus* una valiosa fuente de compuestos fenólicos y lo convierten en una alternativa atractiva para la industria alimentaria y el desarrollo de productos funcionales con propiedades beneficiosas para la salud.
- Los valores determinados para el pH ($6,9 \pm 0,00$), la materia seca soluble ($8,2 \pm 0,05$ °Brix) y la acidez titulable ($3,1 \pm 0,01$ %, expresada como ácido cítrico) muestran un estado de maduración avanzado de los frutos analizados. Esta evolución fisicoquímica coincide con el comportamiento típico de los frutos durante la maduración, en la que desarrolla el dulzor y reduce la acidez, lo que mejora sus propiedades organolépticas y los hace más aptos para su transformación en productos como zumos o vinos funcionales.
- Para el proceso del extracto microencapsulado de *Rubus niveus* mediante secado por aspersión, se utilizó la relación 1:25 (muestra vegetal/disolvente) con etanol al 96% presentando una mejor extracción de compuestos bioactivos, preservando en gran medida su contenido de polifenoles y facilitando su incorporación en matrices alimentarias.
- El extracto de compuestos bioactivos de *Rubus niveus* mostró un 49,3% de sólidos totales. En cuanto a la microencapsulación se llevó a cabo utilizando maltodextrina en una relación 20:80 (extracto y maltodextrina), alcanzando una eficiencia del 94,30%. Mediante espectroscopia infrarroja FTIR-ATR se confirmó la presencia de polifenoles tanto en el extracto puro, microencapsulado y en el vino de mora añadido el microencapsulado, afirmando la efectividad del proceso en la protección de los compuestos bioactivos. Los resultados obtenidos confirman que el extracto microencapsulado presenta un alto contenido de polifenoles, destacando su riqueza en compuestos bioactivos.
- La actividad antioxidante del extracto de *Rubus niveus*, evaluada mediante el método DPPH, mostró un contenido de: 475,49 µmol Trolox/100 g en el extracto puro, 401,19 µmol Trolox/100 g en el microencapsulado y 372,01 µmol Trolox/100 g en el vino con el microencapsulado. En cuanto al contenido de polifenoles totales, Indicando que el proceso de microencapsulación conserva en gran medida la funcionalidad antioxidante del extracto. Esto subraya el potencial del compuesto microencapsulado para contribuir a la prevención del daño oxidativo, lo que podría tener un efecto positivo en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares.

- La incorporación de polifenoles microencapsulados de *Rubus niveus* en la formulación de un vino de mora (*Rubus glaucus Benth*) es una estrategia eficaz para aumentar el valor funcional del producto sin afectar a su calidad sensorial. La microencapsulación no solo favorece la protección y la liberación controlada de compuestos bioactivos durante la fermentación y la maduración, sino que también contribuye a mantener la actividad antioxidante del vino. Estos resultados respaldan el potencial del vino como bebida funcional y concuerdan con hallazgos anteriores que destacan las ventajas de esta tecnología para estabilizar los compuestos fenólicos en matrices de maduración.

4.2.Recomendaciones

- Identificar una mejor metodología para los compuestos bioactivos presentes en vino de mora con la adición del micro encapsulado
- Evaluar el comportamiento del microencapsulado de polifenoles durante las distintas etapas de vinificación y almacenamiento.
- Elaborar un estudio sobre la vida útil del vino con el microencapsulado
- Elaborar nuevos productos funcionales utilizando los frutos de la *Rubus niveus*

BIBLIOGRAFÍA

- Gallardo, G. (2021). *Evaluación del comportamiento poscosecha de la mora de castilla (Rubus glaucus Benth) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles (Aloe vera más propóleo) en dos índices de cosecha*. Ecuador : Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10672>
- Bastidas, V. (2019). *Evaluación de la actividad antioxidante del contenido de antocianinas microencapsuladas de mora (Rubus glaucus)* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/726df822-ca62-4e59-b14a-a434d20c843d/content>
- Borba, A., & Gómez-Zavaglia, A. (2023). Infrared spectroscopy: an underexploited analytical tool for assessing physicochemical properties of food products and processing. *Current Opinion in Food Science*, 49, 100953. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100953>
- Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1), 1–21. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899
- Castañeda, C. C., Guerra-Ramírez, D., Martínez-Solís, J., Barrientos-Priego, A. F., Peña-Ortega, M. G., & Morillo-Coronado, Y. (2024). NUTRACEUTICAL POTENTIAL OF FRUITS OF WILD SPECIES OF BLACKBERRY AND RASPBERRY. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 47(1), 11–17. <https://doi.org/10.35196/RFM.2024.1.11>
- Chalchez, C. (2022). *Capacidad antioxidante, contenido fenólico y vitamina C del fruto del Corryocactus brevistylus (sancayo)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Delić, K., Milinčić, D. D., Pešić, M. B., Steva Lević, S., Nedović, V. A., Gancel, A.-L., Jourdes, M., & Teissedre, P.-L. (2024). Grape, wine and pomace anthocyanins:

- winemaking biochemical transformations, application and potential benefits. *OENO One*, 58(4). <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2024.58.4.8039>
- Doroteo, V. H., Díaz, C., Terry, C., & Rojas, R. (2013). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante in vitro de 6 plantas peruanas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 79(1), 13–20. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371937630003>
- FAO, IFAD, WHO, WFP, & UNICEF. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024*. FAO; IFAD; WHO; WFP; UNICEF; <https://doi.org/10.4060/cd1254es>
- Figuerola, P. M., Ceballos, M. A., & Hurtado, A. M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Revista Colombiana de Química*, 45(2), 39–47. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.QUIM.V45N2.57481>
- Franco, A., Naranjo, F., & Moreira, L. (2021). Análisis educativo sobre la valoración sensorial en “Catación de vinos.” *Conrado*, 17(78), 178–182. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442021000100178&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Franco, G., Bernal Estrada, J. A., Vázquez Gallo, L. A., Saldarriaga Cardona, A., Henao Rojas, J. C., Díaz Montaña, J., Díaz Montilla, A. E., Aguilera Arango, G. A., García Muñoz, M. C., Argüelles Cárdenas, J. H., Betancourt Vásquez, M., Sánchez Betancourt, É. P., Zapata Narváez, Y. A., Beltrán Acosta, C. R., Cotes Prado, A. M., Antía Londoño, G. A., Orrego Alzate, C. E., Salgado Alzate, N., Rodríguez, L. J., ... Tamayo Molano, P. J. (2020). Tecnología para el cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth). *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA*. <https://doi.org/10.21930/AGROSAVIA.MANUAL.7403251>

- Galvez, A., & Zaldaña, J. (2020). *Determinación de la actividad antioxidante por el método DPPH en diez frutos de especies vegetales pertenecientes a la flora salvadoreña.*
- Galván, S. (2024). *Determinación de grasa trans en productos alimentarios en España por aplicación de la espectrofotometría infrarroja por transformadas de Fourier y reflexión total atenuada de segunda derivada (ART-FTIR (-2D)).* 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=329052&info=resumen&idioma=ENG>
- Gámez, J. (2020). Avances en la Determinación de Compuestos Bioactivos en Alimentos. *Revista Cienc. Tecnol. Agrollanía*, 19. https://www.researchgate.net/profile/Jordy-Gamez-Villazana/publication/358738872_AVANCES_EN_LA_DETERMINACION_DE_COMPUESTOS_BIOACTIVOS_EN_ALIMENTOS/links/62129fd66c472329dcf8d926/AVANCES-EN-LA-DETERMINACION-DE-COMPUESTOS-BIOACTIVOS-EN-ALIMENTOS.pdf
- Gao, J. (2024). R-Squared (R²) – How much variation is explained? *Research Methods in Medicine & Health Sciences*, 5(4), 104–109. <https://doi.org/10.1177/26320843231186398>
- García, E., Fernández, I., & López, F. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu* (p. 5). <https://riunet.upv.es/handle/10251/52056>
- García, S. (2023). Informe Las Enfermedades No Transmisibles y los Derechos Humanos en las Américas. *REDESCA*, II. https://www.oas.org/es/cidh/informes/pdfs/2023/redesca_enfermedades_notransmisibles_ddhh_spa.pdf
- Grande-Tovar, C., Araujo Pabón, L., Flórez López, E., & Aranaga Arias, C. (2020). *Determinación de la actividad antioxidante y antimicrobiana de residuos de mora*

- (*Rubus glaucus* Benth). *Informador Técnico*, 85(1), 64–82.
<https://doi.org/10.23850/22565035.2932>
- Gutiérrez, M. (2020). Vino de mora (*Rubus ulmifolius*) y flor de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) con propiedades antioxidantes y nutricionales como un producto innovador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*.
<http://hdl.handle.net/20.500.11763/caribe2006vino-mora-flor-jamaica>
- Hoffmann, T. G., Meinert, C., Ormelez, F., Campani, M., Bertoli, S. L., Ender, L., & De Souza, C. K. (2023). Fresh food shelf-life improvement by humidity regulation in domestic refrigeration. *Procedia Computer Science*, 217, 826–834.
<https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2022.12.279>
- INEN. (2013). *INEN 1842 - Productos Vegetales y Frutas – Determinación de pH*.
<https://www.studocu.com/ph/document/university-of-st-la-salle/agriculture/inen-1842-productos-vegetales-y-de-frutas-determinacion-de-p-h-idt/65958580>
- Jurado, H., & Ceron, J. (2024). Efecto de *Lactobacillus lactis* microencapsulado sobre *Klebsiella pneumoniae* bajo condiciones gastrointestinales in-vitro. *Ciencia En Desarrollo*, 15(2), 1–7. <https://doi.org/10.19053/UPTC.01217488.V15.N2.2024.17201>
- Jurado, H., Zambrano, E., & Pazos, A. (2021). Adición de un probiótico de *Lactobacillus plantarum* microencapsulado en el alimento para pollos. *Universidad y Salud*, 23(2), 151–161. <https://doi.org/10.22267/RUS.212302.227>
- Kamiloglu, S., Serali, O., Unal, N., & Capanoglu, E. (2020). Antioxidant activity and polyphenol composition of black mulberry (*Morus nigra* L.) products. *Journal of Berry Research*, 3(1), 41–51. <https://doi.org/10.3233/JBR-130045>
- Lazcano, C., Hernández, A., García, L., Pérez, E., Contreras, E., & Pérez, J. (2023). Extracción de compuestos bioactivos a partir de los subproductos de la tuna (*Opuntia ficus-indica* spp.): Tendencias y aplicaciones recientes en alimentos. *Investigación y*

- Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 785–794.
<https://doi.org/10.29105/IDCYTA.V8I1.101>
- Lingua, M. S., Salomón, V., Baroni, M. V., Blajman, J. E., Maldonado, L. M., & Páez, R. (2020). Effect of Spray Drying on the Microencapsulation of Blueberry Natural Antioxidants. *Proceedings*, 70(1), 26. https://doi.org/10.3390/FOODS_2020-07683
- Llerena, D. (2024). *Recuperación de antocianinas a partir de los residuos agroindustriales de la mora de castilla*. Universidad Técnica de Ambato.
- Lucero, A., & Muñoz, A. (2019). *Evaluación de la viabilidad técnico financiera para la obtención de un colorante natural partiendo del residuo mora de castilla (Rubus Glaucus Benth) para la aplicación en la industria de alimentos*. Fundación Universidad de América. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7593>
- Margraf, T., Karnopp, A. R., Rosso, N. D., & Granato, D. (2015). Comparison between Folin-Ciocalteu and Prussian Blue Assays to Estimate The Total Phenolic Content of Juices and Teas Using 96-Well Microplates. *Journal of Food Science*, 80(11), C2397–C2403. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13077>;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:17503841;WGROU:STRING:PUBLICATION
- Márquez, E., Del Toro, C. L., Ruíz, S., Ramírez, J. A., & Uresti, R. M. (2015). *Alimentos Funcionales y Compuestos Bioactivos* (1st ed.). Universidad Autónoma de Tamaulipas. https://www.researchgate.net/profile/Norma-Flores-Martinez/publication/342601000_Aceites_esenciales_como_antioxidantes_y_antimicrobianos_naturales/links/5efcaecf92851c52d60cc7ee/Aceites-esenciales-como-antioxidantes-y-antimicrobianos-naturales.pdf
- Molina, J. O. R., Castellano, A. M. T., Ochoa, Z. E. Z., Chérrez, D. L. I., & Molina, P. E. P. (2022). Microencapsulación del extracto acuoso de cedrón (*Aloysia citrodora*) mediante

- secado por aspersión. *Revista UTCiencia*, 9(2), 99–112.
<https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/458>
- Mondragón, P. (2020). *Principios y aplicaciones de la espectroscopia de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas* (1st ed.). CONACYT.
https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5f89fd7801268.pdf
- Muñoz-Bernal, Ó. A., Torres-Aguirre, G. A., Núñez-Gastélum, J. A., de la Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, J. F., & Álvarez-Parrilla, E. (2017). Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-Ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *TIP*, 20(2), 23–28.
<https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>
- NTE INEN ISO 338. (2021). *Bebidas alcohólicas. Términos y Definiciones*.
https://drive.google.com/file/d/1OlhM0WB7XWI0mAk-gsmNZQ6qvkG_YEr9/view
- NTE INEN- ISO 750. (2013). *Productos vegetales y de frutas. Determinación de la acidez titulable*.
<https://drive.google.com/file/d/1oDZGwp-W4t2K7Nx-UOaPUHMzbV3zRcE6/view>
- NTE INEN ISO 2173. (2020). *Productos vegetales y frutas. Determinación de sólidos solubles. Métodos refractométrico (IDT)*.
<https://drive.google.com/file/d/17zy0YzRIArtNpW3O6kp16f1lRWsE7mwO/view>
- Pacheco, C., & Toapanta, J. (2022). *Microencapsulación de un extracto de eneldo (Anethum graveolens) mediante secado por aspersión* [Universidad Técnica de Copaxi].
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9357>
- Palma, R. (2022). Análisis crítico del coeficiente de determinación (R^2), como indicador de la calidad de modelos lineales y no lineales. *Matemática - FCNM Journal*, 20(2).
<https://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/matematica/article/view/1037/917>

- Pancholi, B., & Rana, A. C. (2020). Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacological Aspects of *Rubus niveus* thumb Plant – A Review. *The Journal of Phytopharmacology*, 9(6), 438–444. <https://doi.org/10.31254/phyto.2020.9610>
- Quinton St., J. M., Fay, M. F., Ingrouille, M., & Faull, J. (2013). Characterisation of *Rubus niveus*: A prerequisite to its biological control in oceanic islands. *Biocontrol Science and Technology*, 21(6), 733–752. <https://doi.org/10.1080/09583157.2011.570429>
- Ramírez, F. (2023). *Latin American Blackberries Biology: Mora de Castilla (Rubus glaucus Benth)* (Vol. 1). Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-31750-7>
- Righi da Rosa, J., Nunes, G. L., Motta, M. H., Fortes, J. P., Cezimbra Weis, G. C., Rychecki Hecktheuer, L. H., Muller, E. I., Ragagnin de Menezes, C., & Severo da Rosa, C. (2019). Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium* spp.) by spray drying: Characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. *Food Hydrocolloids*, 89, 742–748. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.11.042>
- Rios, S., & Gil, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51). <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rios-Aguirre, S., Gil-Garzón, M. A., Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021a). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 206–229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rios-Aguirre, S., Gil-Garzón, M. A., Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021b). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 206–229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>

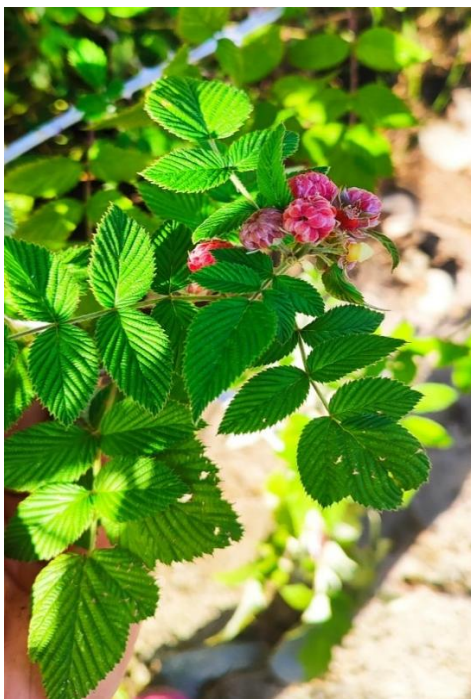
- Rolón, N., & Rodríguez, M. (2020). Optimización de las condiciones de extracción de un colorante natural a partir de *Morus nigra*. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 33, 1–10. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872020000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Salgado, I., Hernández-Rodríguez, G., Suárez-López, Y. del C., Mancera-Ugarte, M. J., & Guerra-Ramírez, D. (2020). Eficacia de métodos de desinfección y los efectos sobre las propiedades nutraceuticas en cilantro y fresa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(2), 327–337. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i2.1892>
- Sánchez, D. (2012). *Estudio del potencial antioxidante de la mora (Rubus glaucus Benth) y sus cambios en función del proceso de maduración y bajo diferentes temperaturas de almacenamiento* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20146>
- Santhalakshmy, S., Don Bosco, S. J., Francis, S., & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>
- Santos, S. S., Rodrigues, L. M., Costa, S. C., & Madrona, G. S. (2019). Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. *Food Packaging and Shelf Life*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.12.001>
- Schulz, M., & Chim, J. F. (2019). Nutritional and bioactive value of Rubus berries. In *Food Bioscience* (Vol. 31). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>
- Singh, B., Singh, L., Kewlani, P., Joshi, V. C., & Bhatt, I. D. (2023). Rubus spp. (*Rubus armeniacus*, *Rubus ellipticus*, *Rubus fruticosus*, *Rubus nepalensis*, *Rubus niveus*, *Rubus occidentalis*). *Himalayan Fruits and Berries: Bioactive Compounds, Uses and*

- Nutraceutical Potential*, 381–394. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85591-4.00035-0>
- Statgraphics.Net. (2025). *STATGRAPHICS Centurion XVIII* . <https://statgraphics.net/>
- Szliszka, E., Czuba, Z., Domino, M., Mazur, B., Zydowicz, G., & Krol, W. (2009). Ethanolic Extract of Propolis (EEP) Enhances the Apoptosis- Inducing Potential of TRAIL in Cancer Cells. *Molecules*, 14, 738754. <https://doi.org/10.3390/molecules>
- Torres, P., Osaki, S., Silveira, E., dos Santos, D. Y. A. C., & Chow, F. (2024). Comprehensive evaluation of Folin-Ciocalteu assay for total phenolic quantification in algae (Chlorophyta, Phaeophyceae, and Rhodophyta). *Algal Research*, 80, 103503. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2024.103503>
- Torres, R., Montes, E. J., Pérez, O. A., & Andrade, R. D. (2013). Relación del Color y del Estado de Madurez con las Propiedades Fisicoquímicas de Frutas Tropicales. *Información Tecnológica*, 24(3), 51–56. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000300007>
- Vázquez Ovando, A., Mejía Reyes, J. D., García Cabrera, K. E., & Velázquez Ovalle, G. (2022). Capacidad antioxidante: conceptos, métodos de cuantificación y su aplicación en la caracterización de frutos tropicales y productos derivados. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, ISSN-e 2422-4456, Vol. 9, N°. 1, 2022 (Ejemplar Dedicado a: *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*), Págs. 9-33, 9(1), 9–33. <https://doi.org/10.23850/24220582.4023>
- Vicuña, E. (2022). *Microencapsulación del extracto de antocianinas de los frutos de Sambucus nigra L. mediante secado por aspersión* [Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4665>

- Wongsa, P., Phatikulrungsun, P., & Prathumthong, S. (2022). FT-IR characteristics, phenolic profiles and inhibitory potential against digestive enzymes of 25 herbal infusions. *Scientific Reports*, 12(1), 6631. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10669-z>
- Xue, H., Zhao, J., Wang, Y., Shi, Z., Xie, K., Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. *Food Chemistry: X*, 24, 101883. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101883>

ANEXOS

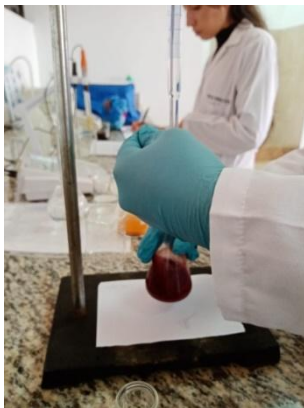
Anexo 1. Planta *Rubus niveus*.



Anexo 2. Recolección de los frutos de *Rubus niveus*



Anexo 3. Acondicionamiento moro (*Rubus niveus*) el deshidratador por convección.



Anexo 4. Proceso de Rotaevaporación del extracto de compuestos bioactivos



Anexo 5. Proceso de Microencapsulación del concentrado de compuestos bioactivos



Anexo 6. Prueba en placa de 96 pocillos para determinar la actividad antioxidante



Anexo 7. Análisis sensorial del Vino de mora (*Rubus glaucus benth*) con el microencapsulado de la mora (*Rubus niveus*).



Anexo 8. Curva de calibración Trolox

