UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Recuperación de polifenoles a partir de los desechos de arándano (*Vaccinium Corymbosum*).

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, previo a la obtención de título de Ingeniero en Alimentos otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Autor: Juan David Caizaguano Quinfia

Tutor: Dr. Orestes Darío López Hernández

Ambato – Ecuador

Julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. Orestes Darío López Hernández

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, 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, 23 de junio del 2025



……..

Dr. Orestes Darío López Hernández

1754784864

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Juan David Caizaguano Quinfia manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, previo la obtención del título de Ingeniero en Alimentos, son absolutamente originales, como auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



……

Juan David Caizaguano Quinfia

1805076468

AUTOR

DERECHO 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.



……

Juan David Caizaguano Quinfia

1805076468

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos profesores Calificadores, aprueban el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Propuesta Tecnológica, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Firmado electrónicamente por:
DOLORES DEL ROCIO ROBALINO MARTINEZ
Validar únicamente con FirmaEC

……..

Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
GABRIEL ALEJANDRO MORENO TOASA
Validar únicamente con FirmaEC

……..

Mg. Gabriel Alejandro Moreno Toasa

1500647910

Firmado electrónicamente por:
MAYRA LILIANA PAREDES ESCOBAR
Validar únicamente con FirmaEC

……..

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

0501873954

Ambato, 08 de julio del 2025

DEDICATORIA

*A mi **madre**, gracias por todo el apoyo incondicional que me ha brindado aun en los momentos más difíciles, por fungir el papel de padre y madre aun cuando no tenías los medios necesarios para solventar mi vestimenta, educación y salud, demostrando ser mi modelo más digno a seguir, por demostrarme que a pesar de las adversidades aún se puede salir adelante, por la educación y por enseñarme a ser una persona humilde, honrada, trabajadora y muy perseverante en lo que me proponga, sé que esos valores me harán llegar muy lejos.*

*A mis casi hermanos **Olga y Ángel**, gracias por todo el apoyo que me han brindado aun en los momentos más difíciles de mi vida, por enseñarme que venimos de una familia humilde, pero con valores muy bien formados, por demostrarme que el dinero no es lo único importante en esta vida y que lo más valioso que tenemos son los lasos familiares que mantenemos a pesar de la distancia, por último, gracias por demostrarme que ustedes son toda la familia que tengo y necesito.*

A todos los amigos y familiares que creyeron en mí, a pesar de que a veces no he sido el mejor amigo, hermano, primo o sobrino, agradezco infinitamente a aquellos que tuvieron fe en mí.

David Caizaguano

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a **Dios**, por ser mi fortaleza y mi refugió, por ser el apoyo moral cuando nadie está a mi lado, por cuidarme de todo lo malo cuando yo mismo me expuse a riesgos innecesarios, por bendecirme con la familia y amigos que tengo.*

*A mi **madre** por todo el esfuerzo invertido en mí, sé que no he sido un hijo ejemplar y por eso, siempre viviré en deuda contigo, por siempre acompañarme aun en los momentos más difíciles de mi vida, por soportar mi mal carácter y por corregirme cuando estaba equivocado.*

*A **Katherine**, por siempre estar a mi lado, por condonar mis errores, aunque no lo merecía, me demostraste lo lindo que es amar y ser amado, por ser la niña más lida que pude conocer, por cuidarme y orar por mi bienestar, sé que tus oraciones me han protegido incontables veces, por enseñarme lo lindo que es tener a Dios en tu corazón, pero ahora sé que es más lindo haber conocido a dios mediante ti*

*A mis amigos, **Alejandro**, **Jorge**, **Gabriel** y **Diego** por demostrarme los maravillosos amigos que son, por ayudarme en momentos difíciles y por acompañarme en todas las locuras que he propuesto.*

ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHO DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL viii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE ECUACIONES xiii
ÍNDICE DE ANEXOS xiv
RESUMEN EJECUTIVO xv
ABSTRACT xvi
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
1.1. Antecedentes Investigativos 1
1.1.1. Justificación 1
1.1.2. Fundamentación científica-técnica 2
1.1.2.1. Arándano (Vaccinium Corymbosum) 2
1.1.2.2. Composición nutricional del arándano 2
1.1.2.3. Composición química 3
1.1.2.4. Productos derivados del arándano 3
1.1.2.5. Residuos de arándano y su aprovechamiento 4
1.1.2.6. Polifenoles: definición, propiedades y usos 5
1.1.2.7. Microencapsulación 5
1.1.2.8. Extracción, estabilidad, encapsulación y aplicaciones de polifenoles de arándano en la industria 5
1.1.2.8.1. Extracción de polifenoles 5
1.1.2.8.2. Estabilidad de los polifenoles 6
1.1.2.8.3. Microencapsulación por secado por aspersión (mini spray dryer) 6
1.1.2.8.4. Aplicaciones en la industria 7
1.2. Objetivos 8
1.2.1. Objetivo General 8
1.2.2. Objetivos Específicos 8
1.3. Señalamiento de las variables de hipótesis 8

1.3.1. Variable dependiente 8
1.3.2. Variables Independientes 8
2.1 Materiales 9
2.1. Métodos 10
2.1.1. Obtención de materia prima 10
2.1.2. Acondicionamiento de los residuos de arándano 10
2.1.3. Diseño experimental 10
2.1.4. Extracción de polifenoles 11
2.1.5. Determinación de polifenoles 12
2.1.6. Análisis estadístico de datos 12
2.1.7. Elaborar microencapsulados de polifenoles mediante secado por aspersión con el uso de polímeros naturales. 13
2.1.7.1. Microencapsulación de polifenoles 13
2.1.7.2. Eficiencia de microencapsulación 14
2.1.7.3. Eficiencia de microencapsulación mediante FTIR 14
2.1.8. Análisis de la actividad antioxidante de polifenoles mediante el método DPPH (2,2 difenil-1-1-picrilhidrazilo) 15
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 16
3 16
3.1. Análisis y discusión de los resultados 16
3.1.1. Tratamientos aplicados para la extracción de polifenoles 16
3.1.2. Análisis estadístico mediante Statgraphics 17
3.1.2.1. Análisis de los efectos estimados 17
3.1.2.2. Análisis de tabla ANOVA de los factores aplicados para la concentración de polifenoles. 18
3.1.2.3. Análisis del diagrama de Pareto y superficie de respuesta de la influencia de los factores sobre la concentración de polifenoles 19
3.1.2.4. Optimización de las condiciones para la recuperación de polifenoles 21
3.1.2.5. Ecuación ajustada para concentración de polifenoles 22
3.1.3. Eficiencia de microencapsulación 23
3.1.4. Evaluación de microencapsulación mediante FTIR 23
3.1.5. Evaluación de la actividad antioxidante 27
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 29
4.1. Conclusiones 29
4.2. Recomendaciones 30

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 31
ANEXOS..... 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional del arándano *Vaccinium Corymbosum* 3
Tabla 2. Composición química del arándano Vaccinium Corymbosum..... 3
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 9
Tabla 3. Recursos Materiales 9
Tabla 4. Diseño factorial **22** para la extracción de polifenoles de desechos de arándanos 11
Tabla 5. Datos obtenidos de cada tratamiento 16
Tabla 6. Efectos estimados 17
Tabla 7. Tabla ANOVA para la recuperación de polifenoles 18
Tabla 8. Eficiencia de microencapsulación 23
Tabla 9. Capacidad de inhibición del extracto y microencapsulado de polifenoles .. 27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama representativo del funcionamiento del mini spray dryer (Buchi-290) 6
Figura 2. Diagrama de Pareto de la interacción entre factores 19
Figura 3. Efecto de los factores para la concentración de polifenoles 20
Figura 4. Superficie de repuesta para la concentración de polifenoles 21
Figura 5. Condiciones óptimas para la concentración de polifenoles. 22
Figura 6. Espectro FTIR de la maltodextrina 24
Figura 7. Espectro FTIR del extracto de polifenoles 25
Figura 8. Espectro FTIR de los polifenoles microencapsulados 26
Figura 9. Superposición de las tres gráficas 27

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Sólidos totales presentes. 11
Ecuación 2. Eficiencia de microencapsulación 14
Ecuación 3. Porcentaje de inhibición del extracto de polifenoles 15
Ecuación 4. Ecuación ajustada para la concentración de polifenoles 22

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección de materia prima 36
Anexo 2. Secado de la materia prima 36
Anexo 3. Almacenamiento de la materia prima 37
Anexo 4. Centrifugado de las muestras 37
Anexo 5. Determinación de la humedad 38
Anexo 6. Almacenamiento de las muestras 38
Anexo 7. Dilución de muestras 39
Anexo 8. Determinación de la absorbancia 39
Anexo 9. Uso de Statgraphics 40
Anexo 10. Maximización de proceso 41
Anexo 11. Evaporación del solvente 41
Anexo 12. Microencapsulación del extracto de polifenoles 42
Anexo 13. Pesado del microencapsulado final 42
Anexo 14. Determinación de la capacidad antioxidante 43
Anexo 15. Disolución del microencapsulado 44
Anexo 16. Curva de calibración 44

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se centra en el aprovechamiento de los residuos agroindustriales, a partir del creciente mercado de los arándanos en la provincia de Tungurahua, el procesamiento de los arándanos deja como residuo, cascaras, semillas y partes de pulpa, las cuales contienen varias sustancias bioactivas beneficiosas para la salud, en este estudio se prioriza la recuperación de polifenoles presentes únicamente en los desechos de arándano. Para la recuperación de polifenoles presentes en los desechos de arándanos se definió que la mejor relación es 1:22,5 de la materia vegetal y el disolvente respectivamente, manteniendo a una temperatura de ebullición por 37,5 minutos. Además, el disolvente utilizado fue etanol al 96 por ciento, obteniendo un rendimiento de 80,64 por ciento después de la microencapsulación. Además, mediante la FTIR se comprobó la efectiva microencapsulación del extracto de polifenoles. Así mismo, mediante el método colorimétrico del DPPH se determinó un 24,04 por ciento de inhibición en el microencapsulado. Estos resultados sugieren que la revalorización de los residuos de arándano es un camino viable para obtener varios compuestos bioactivos como polifenoles. Se recomienda realizar análisis más detallados sobre la capacidad antioxidantes del microencapsulado e identificar todos los compuestos específicos presentes. Además, se recomienda la integración del microencapsulado en una matriz alimentaria para ofrecer un alimento con valor agregado con grandes beneficios en la salud.

Palabras clave: *Vaccinium Corymbosum*, residuos, capacidad antioxidante, rendimiento, microencapsulación.

ABSTRACT

This study focuses on the utilization of agro-industrial waste, based on the growing blueberry market in the province of Tungurahua. Blueberry processing leaves behind peels, seeds, and pulp residues, which contain several bioactive substances beneficial to health. This study prioritizes the recovery of polyphenols present only in blueberry waste. For the recovery of polyphenols present in blueberry waste, the optimal ratio was defined as 1:22.5 of plant matter and solvent, respectively, maintaining the mixture at a boiling point for 37.5 minutes. Furthermore, the solvent used was 96% ethanol, obtaining a yield of 80.64% after microencapsulation. Furthermore, effective microencapsulation of the polyphenol extract was verified by FTIR. Likewise, the DPPH colorimetric method determined a 24.04% inhibition in the microencapsulation. These results suggest that the revaluation of blueberry residues is a viable route to obtaining several bioactive compounds such as polyphenols. Further analysis of the antioxidant capacity of the microencapsulation is recommended, as well as the identification of all the specific compounds present. Furthermore, the integration of the microencapsulation into a food matrix is recommended to offer a value-added food with significant health benefits.

Keywords: Vaccinium corymbosum, residues, antioxidant capacity, yield, microencapsulation.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1.Antecedentes Investigativos

1.1.1. Justificación

En el contexto de la revalorización de residuos agroindustriales, el procesamiento de arándanos (*Vaccinium Corymbosum*) genera una cantidad significativa de subproductos como pieles, semillas y pulpas residuales, los cuales son comúnmente descartados sin un aprovechamiento adecuado **(Pedisić et al., 2025)**. Esta situación no solo representa un desaprovechamiento de recursos con alto valor nutricional y funcional, sino que también puede generar impactos negativos en el medioambiente, especialmente cuando estos residuos no son gestionados de forma sostenible **(Liu et al., 2021)**.

En Ecuador, la producción de arándanos ha mostrado un crecimiento sostenido en los últimos años, alcanzando las 750 toneladas en aproximadamente 50 hectáreas de cultivo en la región Sierra **(MAG, 2023)**. Este incremento responde a la creciente demanda por alimentos funcionales, impulsada por consumidores que buscan productos con beneficios adicionales para la salud **(Dorosh et al., 2024)**. Asimismo, señala que entre el 80 % y el 85 % de la producción nacional de arándanos se destina al consumo interno, lo que indica una alta aceptación del fruto en el mercado ecuatoriano. A pesar de este escenario favorable, gran parte de los subproductos generados durante la elaboración de alimentos como helados, vinos, mermeladas, salsas, entre otros, generan residuos entre el 10 % y el 30 % del peso total de la fruta que son desechados generando pérdidas económicas, nutricionales y ambientales **(Ortiz et al., 2024)**.

Diversos estudios han demostrado que los residuos de arándano contienen compuestos bioactivos de gran interés, entre los cuales destacan los flavonoides, por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y su potencial para contribuir a la prevención de enfermedades crónicas **(Ashique et al., 2024)**. Sin embargo, la falta de estrategias para su recuperación y aplicación representa una barrera para su incorporación en la formulación de nuevos productos funcionales. El manejo inadecuado de estos residuos puede representar una amenaza significativa para el medioambiente y la salud pública, la acumulación y descomposición de subproductos orgánicos sin tratamiento adecuado puede contribuir a la contaminación del suelo, además de la emisión de gases de efecto invernadero como el metano **(Silva et al., 2020)**.

En este sentido, el presente estudio se justifica en la necesidad de aprovechar los residuos de arándanos mediante la recuperación de flavonoides, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles para la industria alimentaria, ya que no solo contribuye a mitigar estos riesgos, sino que representa una alternativa sostenible para el impacto ambiental derivado de la acumulación de desechos y a fomentar la producción de alimentos con valor agregado, alineados con las tendencias actuales de consumo saludable y sostenibilidad

1.1.2. Fundamentación científica-técnica

1.1.2.1. Arándano (Vaccinium Corymbosum)

Los arándanos o mora azul, de nombre científico (Vaccinium Corymbosum) es una fruta pequeña, pertenece a la familia de las Ericáceas, las cuales es una especie de arbusto **(Fang et al., 2020)**. Los arándanos no tienen datación exacta, sin embargo, según **Pedisić et al. (2025)**, destacan que los primeros arándanos silvestres proceden de América del norte y que tienen facilidad de adaptación a varios climas, permitiendo expandirse por casi todo el mundo.

En Ecuador, el cultivo de arándanos ha ganado relevancia en los últimos años por su alto valor comercial, tanto para consumo interno como para exportación, este cultivo se adapta a regiones con climas templados y se ha desarrollado principalmente en provincias como Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Azuay y Loja **(MAG, 2023)**. La época principal de cosecha se extiende desde noviembre hasta marzo, siendo noviembre y diciembre los meses de mayor producción de arándano, durante este período, se intensifica el procesamiento agroindustrial de la fruta, lo que genera una cantidad significativa de residuos sólidos, principalmente constituido por pieles, semillas y restos de pulpa **(Vinueza, 2024)**.

1.1.2.2. Composición nutricional del arándano

Según **Yang et al. (2021)**, el arándano destaca por su bajo contenido calórico y su alto contenido de agua aproximadamente 80%. Además, se estima que en cada 100g de arándano se contiene carbohidratos (16.9–18.1%), proteínas (0.7%) y lípidos (1%). También, la presencia de vitaminas y minerales esenciales como vitamina C, hierro y calcio como se observa en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Composición nutricional del arándano *Vaccinium Corymbosum*

Compuesto	Contenido
Niacina	0,18 mg
Tiamina	0,05 mg
Ácido ascórbico	14 g
Hierro	0,64 mg
Calcio	17 g

Yang et al. (2021).

1.1.2.3. Composición química

El arándano es una fuente importante de compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, antocianinas, ácido gálico, quercetina y miricetina, responsables de su capacidad antioxidante y su color característico como se observa en la **Tabla 2** , en donde se expresa las cantidades aproximadas por cada 100g **(Dorosh et al., 2024)**.

Tabla 2. Composición química del arándano Vaccinium Corymbosum.

Compuesto	Contenido
Polifenoles	694,46 ± 26,55 mg
Antocianinas	82,09 ± 2,59 mg
β-caroteno	70,63 ± 2,01 µg
Luteína	866,61 ± 7,52 µg

Ortiz et al. (2024).

1.1.2.4. Productos derivados del arándano

Los arándanos son ampliamente procesados para la elaboración de productos derivados como jugos, mermeladas, concentrados, extractos, alimentos funcionales, colorantes naturales y cosméticos, debido a su alto contenido de compuestos bioactivos, especialmente polifenoles como las antocianinas, flavonas y flavanoles. Durante el procesamiento agroindustrial, una fracción importante de estos compuestos se encuentra

en los residuos sólidos, principalmente en los residuos como los compuestos por piel, semillas y restos de pulpa **(Torres Torres et al., 2021)**.

Se estima que hasta el 60 % de los flavonoides totales pueden permanecer en estos subproductos, lo que convierte a dichos desechos en una fuente valiosa para la recuperación de compuestos polifenólicos, estos residuos, ricos en antocianinas como malvidina y delfinidina, así como flavonoles como quercetina y miricetina, pueden ser aprovechados mediante técnicas sostenibles de extracción, como el uso de ultrasonido, microondas o solventes verdes, contribuyendo así al aprovechamiento integral del fruto y a la reducción del impacto ambiental asociado a su desecho **(Pedisić et al., 2025)**.

1.1.2.5. Residuos de arándano y su aprovechamiento

El uso de arándanos en la industria de alimentos genera residuos después de ser procesadas, estos residuos pueden afectar de manera significativa al media ambiente, sin embargo, los residuos generados poseen un alto contenido de componentes bioactivos en relación con otros residuos generados en la industria alimentaria, estos residuos se pueden aprovechar para el mejoramiento del suelo o como suplemento alimenticio para personas y animales, este aprovechamiento se ve influenciado por la presencia de flavonoides **(Reyes et al., 2022)**.

Los subproductos del procesamiento industrial del arándano (semillas y cáscaras) representan entre el 20% y 30% del total procesado. Estos residuos son ricos en compuestos fenólicos, especialmente polifenoles y flavonoides, y se consideran una fuente potencial para el desarrollo de ingredientes funcionales, aditivos naturales o mejoradores de suelo **(Yu, 2020)**.

Por otro lado, en Ecuador aún no se han registrado empresas que se dediquen específicamente a la extracción de polifenoles a partir de residuos de arándanos, sin embargo, en el ámbito internacional ya existe el uso de estos residuos, un ejemplo de ello se encuentra en Perú, donde la empresa Agrovisión Perú, en conjunto de la Universidad Privada del Norte, desarrolla un proyecto enfocado en el aprovechamiento de residuos de arándanos para la elaboración de un ingrediente funcional mediante secado por atomización, dando como resultados eficiencia de encapsulación de polifenoles entre el 93,6 % y el 84,3 % para polifenoles totales **(Bustamante et al., 2023)**.

1.1.2.6. Polifenoles: definición, propiedades y usos

Los polifenoles, y en particular los flavonoides, son compuestos bioactivos de origen vegetal con estructura fenólica que poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antimicrobianas y anticancerígenas. En las plantas, estos compuestos contribuyen al color y la atracción de polinizadores; en los humanos, actúan como agentes preventivos contra enfermedades degenerativas, en la industria los flavonoides se utilizan en alimentos funcionales, medicina y cosmética. En productos alimenticios, aportan valor agregado y funcionalidad, mejorando la salud intestinal, protegiendo contra patógenos y previniendo el envejecimiento celular **(Fang et al., 2020)**.

1.1.2.7. Microencapsulación

La microencapsulación en la industria alimentaria es una técnica que contribuye a preservar la calidad de los productos, asegurando la estabilidad de sus propiedades bromatológicas. Además, permite optimizar el almacenamiento, ya que disminuye el volumen inicial del alimento, este proceso consiste en la formación de una capa protectora alrededor de partículas diminutas, las cuales pueden ser de naturaleza sólida, líquida o gaseosa. **(Arenas-Jal et al., 2020)**.

En cuanto a la morfología de las microcápsulas, estas presentan una estructura esférica con un diámetro que varía entre 0,2 µm y 5000 µm, dependiendo del tipo de atomizador utilizado. Cuando su tamaño es inferior a 1 µm, se les denomina nanoesferas **(Choudhury et al., 2021)**. La demanda de productos funcionales y nutracéuticos con efectos positivos para la salud ha impulsado el interés en extraer, estabilizar y aplicar estos polifenoles en diferentes industrias, especialmente la alimentaria, farmacéutica y cosmética **(Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022)**.

1.1.2.8. Extracción, estabilidad, encapsulación y aplicaciones de polifenoles de arándano en la industria

1.1.2.8.1. Extracción de polifenoles

La extracción de polifenoles del arándano se realiza preferentemente a partir de la cáscara y semillas, donde se concentran en mayor proporción. Los métodos convencionales, como la maceración con solventes, han sido ampliamente utilizados ya que permiten obtener extractos ricos en compuestos fenólicos, reduciendo el uso de disolventes orgánicos y aumentando la eficiencia del proceso **(Choudhury et al., 2021)**.

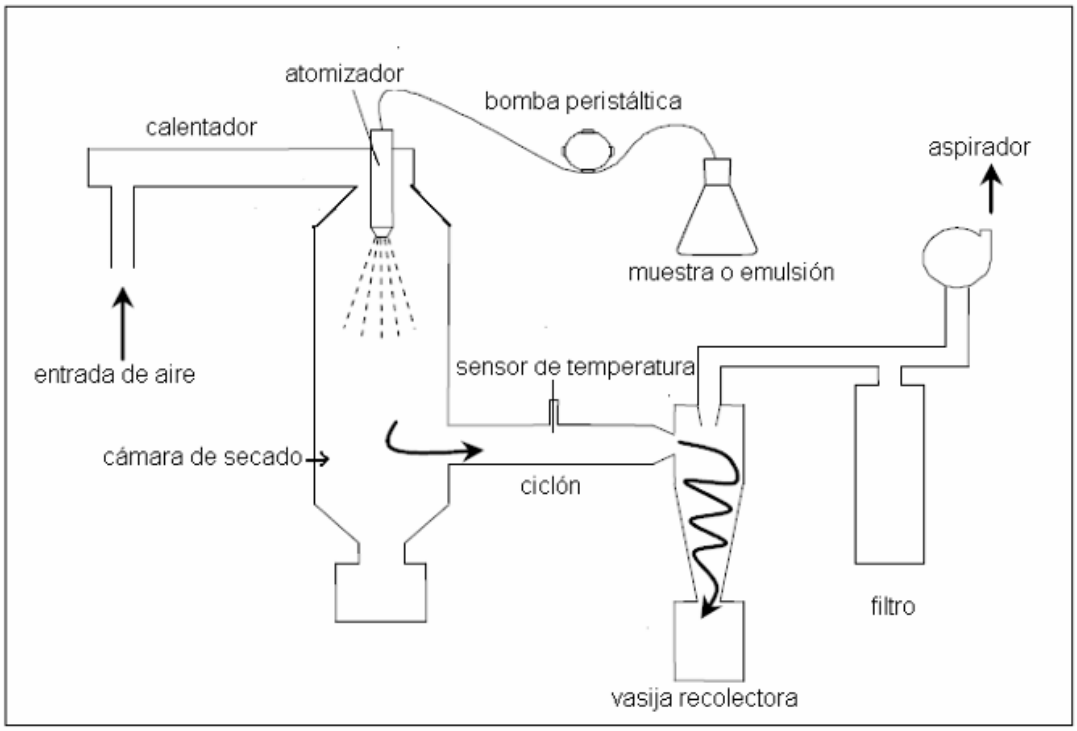
1.1.2.8.2. Estabilidad de los polifenoles

Pese a su alto valor biológico, los polifenoles son compuestos químicamente inestables. Factores como la exposición a luz, calor, oxígeno, humedad y pH extremos pueden degradarlos, disminuyendo su efectividad y dificultando su incorporación en formulaciones industriales. Por ello, se recurre a estrategias de protección y conservación, entre las cuales se destaca la microencapsulación, que permite aislar y estabilizar estos compuestos, facilitando su manipulación, almacenamiento y aplicación **(Arenas-Jal et al., 2020)**.

1.1.2.8.3. Microencapsulación por secado por aspersión (mini spray dryer)

Una de las más utilizadas por su bajo costo, facilidad de operación y escalabilidad. Este método permite convertir extractos líquidos en polvos secos mediante un proceso de secado rápido que conserva los principios activos, esta técnica protege los compuestos frente a la degradación y mejora su estabilidad térmica, solubilidad y biodisponibilidad, permitiendo su uso posterior en diferentes matrices alimentarias o farmacéuticas **(Aragüez et al., 2022)**.

Figura 1. Diagrama representativo del funcionamiento del mini spray dryer (Buchi-290)



(Castañeda, Heriberto; Gemio, Romulo; Yapu, 2011)

1.1.2.8.4. Aplicaciones en la industria

El resultado del microencapsulado obtenido a partir de polifenoles de arándano presenta un amplio rango de aplicaciones en diversas industrias debido a su alta capacidad antioxidante y estabilidad mejorada tras el proceso de encapsulación **(Silva et al., 2020)**. En el sector alimentario, puede incorporarse en productos funcionales como bebidas, yogures, barras energéticas, cereales o suplementos dietéticos, actuando tanto como antioxidante natural como colorante, estas aplicaciones son viables gracias a la protección que brinda la microencapsulación, la cual permite conservar la actividad biológica de los polifenoles durante el almacenamiento y el procesamiento industrial **(Calderón-Oliver & Ponce-Alquicira, 2022)**.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer un proceso de recuperación de polifenoles a partir de desechos de arándanos *(Vaccinium Corymbosum).*

1.2.2. Objetivos Específicos

- Extraer polifenoles presentes en los residuos de arándanos *(Vaccinium Corymbosum).*
- Elaborar microencapsulados de polifenoles mediante el método de secado por aspersión mediante polímeros naturales.

1.3. Señalamiento de las variables de hipótesis

1.3.1. Variable dependiente

- Concentración de polifenoles

1.3.2. Variables Independientes

- Volumen disolvente
- Tiempo de ebullición

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1 Materiales

La parte experimental, reactivos y materiales utilizados en la presente investigación se realizó en los laboratorios de investigación OUDIDE de la Facultad De Ciencia e Ingeniería En Alimentos y Biotecnología, de la Universidad Técnica de Ambato, En la **Tabla 3** se enlista a detalle todos los equipos, materiales y reactivos ocupados.

Tabla 3. Recursos Materiales

Material	**Cantidad**
Reactivos	
Etanol al 96%	5 L
Solución tampón Trolox	50 ml
Solución de carbonato de calcio	50 ml
Agua destilada	2 L
Maltodextrina	500 g
Material	**Cantidad**
Materiales e insumos	
Vasos de precipitación (50 ml, 250 ml y 1000 ml)	7
Tubos de Falcon (50 ml)	6
Tubos Eppendorf	12
Micropipeta (1 a 1000 µl)	3
Microplaca de 96 pocillos	2
Probeta (50 ml)	3
Frascos ámbar (30 cc y 50 cc)	13
Papel aluminio (8m)	1
Fundas Ziploc	10
Papel absorbente	1
Material	**Cantidad**
Equipos	
Balanza analítica Ohaus Adventure-Pro	1
Plancha de calentamiento	1

Centrifuga	2
Balanza de humedad	1
Espectrofotómetro UV-Vis Fisher scientific	1
Rotavapor IKA HB100	1
Mini Spray Dryer BUCHI B-290	1
Computadora ASUS con sistema operativo Windows 11	1

2.1. Métodos

2.1.1. Obtención de materia prima

Los residuos de arándanos empleados para la microencapsulación de polifenoles se obtuvieron de la microempresa Valle Patate, sector La Joya en el cantón Patate provincia de Tungurahua, dedicada a la producción de vino de arándano. Los residuos se recolectaron cuidadosamente en fundas ziploc, posteriormente se almaceno a temperatura de refrigeración (4 °C) y protegidos de la luz hasta su procesamiento, a fin de preservar sus propiedades bioactivas.

2.1.2. Acondicionamiento de los residuos de arándano

La materia prima se colocó en bandejas de secado, distribuyéndolas uniformemente por toda la superficie para eliminar la humedad presente y facilitar la extracción de compuestos bioactivos, además, para obtener mayores resultados se utilizó la metodología descrita por **Herrera & Castro (2023)**. Por esta razón, la materia prima se secó a 75 ºC durante 8 horas en un secador convectivo **(Gander MTN, Sain Paul, MN, EE.UU)**. Finalmente, el producto deshidratado se molió en un procesador de alimentos hasta obtener un polvo fino y almacenado en fundas ziploc de forma hermética a temperatura ambiente hasta realizar el siguiente proceso.

2.1.3. Diseño experimental

La extracción de polifenoles a partir del residuo seco del arándano se realizó mediante un diseño experimental factorial 2^2, el cual permitió evaluar dos factores, los cuales corresponden al volumen de disolvente y el tiempo de extracción. Los tratamientos y las correspondientes relaciones se describen en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Diseño factorial $\mathbf{2^2}$ para la extracción de polifenoles de desechos de arándanos

Tratamiento	Relación	Tiempo de extracción (min)
T1	1:20	30
T2	1:25	
T3	1:20	45
T4	1:25	

2.1.4. Extracción de polifenoles

Para cada tratamiento se pesó 1 gramo de material vegetal, que previamente fue acondicionado, consecuentemente la materia vegetal se colocó en un vaso de precipitación en el cual se adiciono etanol al 96 % según la relación correspondiente, posteriormente se colocó en una plancha de calentamiento a 85 ºC para alcanzar la ebullición de la mezcla; una vez que se alcanzó el punto de ebullición se consideró el conteo del tiempo establecido para cada tratamiento.

Seguido, se enfrió las muestras sometiendo a un baño María hasta alcanzar una temperatura ambiente, posteriormente se traspasó a tubos falcón de 50 ml para ser llevados a la fase de centrifugación para su separación, la centrifugación se realizó a 4000 rpm durante 15 minutos. Al finalizar la centrifugación se logró apreciar de forma clara la fase líquida clara (sobrenadante) y el sedimento oscuro en el fondo.

De este modo, se midió el sobrenadante recuperado y se traspasó a frascos ámbar de 50 ml recubriendo con una capa de papel aluminio para evitar el paso de la luz. Además, se rotuló cada frasco con el tratamiento que se realizó. Finalmente, el sedimento se colocó en el plato de aluminio de la balanza infrarroja para determinar la humedad, el cual sirvió para determinar la cantidad de sólidos totales mediante la Ecuación 1 **(Rosero, 2020)**.

Ecuación 1. Sólidos totales presentes.

$$\%ST = 100 - \%humedad$$

En donde:

%ST = Porcentaje de sólidos totales

%humedad = Porcentaje de humedad

2.1.5. Determinación de polifenoles

Para la determinación del contenido total de polifenoles (TPC) se adaptó la metodología presentada por **Sara et al. (2023)**, quienes aseguran que mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu se busca reducir el reactivo generando un característico azul traslucido, el cual puede ser medido con la ayuda de un espectrofotómetro de UV visible. De este modo, del sobrenadante recuperado, en el cual esta disuelto los componentes bioactivos de importancia **Herrera & Castro (2023)**, con la ayuda de una pipeta se tomó 10 µL de la solución sobrenadante y se colocó en los tubos Eppendorf, esto se realizó por triplicado para cada tratamiento, posteriormente se añadió 100 µL de agua destilada en cada una, esto para conseguir una relación 1:10, luego se agito vigorosamente para homogenizar las muestras.

Con los tratamientos previamente diluidos se traspasó 10 µL a una microplaca de 96 pocillos, subsecuentemente se añadió 10 µL del reactivo Folin-Ciocalteu previamente diluido en una relación 1:100, una vez que se colocó el reactivo se colocó una capa de papel aluminio para evitar el paso de la luz y se dejó reposar por reposar durante 5 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se añadió 100 µL de carbonato de sodio al 7%; por otro lado, en el espectrofotómetro se ajustó las condiciones para la medición de absorbancia e incubación que fue una longitud de onda de 760 nm por un intervalo de tiempo de 1 hora, para asegurar la correcta reacción.

2.1.6. Análisis estadístico de datos

El diseño experimental que se utilizó para la determinación del mejor tratamiento para la extracción fue de 2^2, mediante el uso Statgraphics, el cual es un software estadístico avanzado que permitió el análisis de todos los datos y la interacción que existe entre ellas. Los factores analizados fueron la concentración etanólica (%) y tiempo (h), con dos niveles cada uno y tres replicas. De este modo, se podrá determinar el mejor tratamiento

para la extracción de polifenoles y posteriormente se repetirá únicamente el tratamiento seleccionado incrementando el volumen del procesamiento con el objetivo de obtener mayor cantidad de extracto para realizar el microencapsulado.

2.1.7. Elaborar microencapsulados de polifenoles mediante secado por aspersión con el uso de polímeros naturales.

2.1.7.1. Microencapsulación de polifenoles

La microencapsulación se desarrolló en base a la metodología descrita por **Sancho (2023)**, donde se empleó un agente encapsulante específicamente para flavonoides y polifenoles, el cual fue la maltodextrina en relación a los sólidos totales.

Primero, utilizando las condiciones recomendadas por Statgraphics para obtener la máxima concentración de polifenoles procedentes de los desechos de arándano, en una plancha de calentamiento, se calienta el vaso precipitado con la materia vegetal y el disolvente.

A continuación, de la solución previamente calentada y enfriada se recuperó la máxima cantidad de la parte liquida en un frasco ámbar, evitando traspasar partes de los residuos y lo que ya no se puedo recuperar fácilmente se llevó a la centrifuga. Una vez que se consiguió recuperar la mayor parte del líquido se procedió a eliminar la máxima cantidad del disolvente con la ayuda de un rotavapor a 230 rpm a 70 ºC, consiguiendo un concentrado de 72 ml.

Con el concentrado que se obtuvo, se mezcló únicamente 60 ml de la misma con la 15 g de maltodextrina y con 16,25 ml de agua destilada, seguido con la ayuda de un homogeneizador se preparó la solución que se va introducir en el mini spray dryer (Buchi-290). Además, se verifico que no exista partes que no se hayan disuelto totalmente para evitar tapar la entrada de alimentación **(BÜCHI Labortechnik AG, 2023)**.

Subsecuentemente, se configuró las condiciones del spray dryer BUCHI-B290 a una presión de 60000 pascales, caudal de solución 4 ml/min, temperatura de ingreso de 150 ºC y un caudal del aire de 0,010 m^3/s. De este modo, se colocó la manguera de la bomba peristáltica en la disolución con el objetivo de alimentar al atomizador a una temperatura de salida de 96 ºC; se observó la expulsión del microencapsulado del ciclón hacia la vasija recolectora de cristal. Finalmente, el microencapsulado que se obtuvo se almacenó en una funda ziploc, previamente pesada, para su posterior almacenamiento, durante este proceso

se procuró sacar la mayor cantidad de aire de la funda para evitar que el producto gane humedad. De esta forma el producto se almaceno a temperatura ambiente pero fuera del contacto de la luz.

2.1.7.2. Eficiencia de microencapsulación

La eficiencia de microencapsulación se determinó mediante el uso del espectrofotómetro y una dilución del microencapsulado en etanol y agua. De este modo, se realizó una dilución de 1:10 entre el microencapsulado y el etanol al 96% respectivamente, de la misma forma para el agua en una relación 1:10. Posteriormente, con la ayuda de un vórtex se homogenizo muy bien, luego se llevó a la centrifuga a 4000 rpm por 5 min para separar en dos fases **(Miranda et al, 2023).** A partir de la fase liquida se realizó una dilución de 1:10, tomando 10 µL de la dilución con 100 µL de agua destilada, posteriormente utilizando el mismo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu se procedió a la medición de absorbancia, con las absorbancias medidas se procedió a calcular la concentración y posteriormente eficiencia de microencapsulación mediante la Ecuación 2.

Ecuación 2. Eficiencia de microencapsulación

$$\text{EM\%} = \frac{C_{total} - C_{libre}}{C_{total}} * 100$$

En donde:

EM%= Eficiencia de microencapsulación

C_{total}= Concentración de polifenoles en agua

C_{libre}= Concentración de polifenoles en etanol

2.1.7.3.Eficiencia de microencapsulación mediante FTIR

Otro método que nos permitió medir la eficiencia de microencapsulación de polifenoles procedentes de los desechos de arándano es la espectroscopia infrarroja por la transformada de Fourier (FTIR), la cual se emite un haz de luz infrarrojo en un rango de 550 a 4000 cm^{-1}, parte de la radiación emitida es absorbida por la muestra y un sensor detecta la parte no absorbida, subsecuentemente el equipo mediante la transformada de Fourier convierte estas señales en un espectro representativo entre la transmitancia y la longitud de onda emitida, los picos presentados de acuerdo a la longitud de onda responden al grupo funcional en esa sección **(Ferreira et al., 2022)**.

En el presente trabajo, se analizó la maltodextrina, el concentrado de polifenoles y el microencapsulado de polifenoles, inicialmente se limpió la sección donde se va a colocar la muestra con una solución de alcohol isopropílico y etanol, con un papel absorbente se elimina el excedente para evitar la interferencia durante las mediciones, este proceso se repitió hasta realizar las mediciones de cada muestra.

2.1.8. Análisis de la actividad antioxidante de polifenoles mediante el método DPPH (2,2 difenil-1-1-picrilhidrazilo)

Para el análisis de la actividad antioxidante se consideró la metodología propuesta por **(Gulcin & Alwasel, 2023)**, aunque con pequeñas variaciones, de este modo, en una microplaca de 96 micropocillos, se preparó una muestra denominada blanco, en la cual se tomó 180 µL de metanol con 20 µL de agua destilada, en el caso del control se tomó 180 µL del reactivo DPPH con 20 µL de agua destilada, finalmente, se tomó 180 del reactivo DPPH con 20 µL del extracto previamente diluido en una relación 1:10.

Previamente a este paso, se realizó una curva de calibración de Trolox en un rango de 50 a 500 µmol/L para al final poder expresar el porcentaje de inhibición de la muestra en (µM/DW). Por otro lado, el espectrofotómetro se ajustó la longitud de onda en 517 nm por 45 min.

Para demostrar el porcentaje de inhibición se considera la **Ecuación 3**, presentada por **(Noori et al., 2022),** esta ecuación se muestra a continuación:

Ecuación 3. Porcentaje de inhibición del extracto de polifenoles

$$\%\text{Inhibicion} = \frac{A_{muestra} - A_{control}}{A_{control}} * 100$$

En donde:

%Inhibición= Porcentaje de inhibición

$A_{muestra}$= Absorbancia de la muestra

$A_{Control}$= Absorbancia del control

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Tratamientos aplicados para la extracción de polifenoles

En el presente trabajo se realizó 3 réplicas de cada tratamiento, considerando la relación de la cantidad de disolvente y el tiempo con 1 gr de materia vegetal, en donde se determinó que la mejor relación fue 1:22,5 por 37,5 min, pero para definir esta relación se realizó varios análisis previos que nos permitieron determinar la concentración de polifenoles mediante mediciones de humedad, porcentaje de solidos totales y la absorbancia, a continuación, en la **Tabla 5.** se representa todas las variables mencionadas.

Tabla 5. Datos obtenidos de cada tratamiento

T	Réplicas	BS/100(g) ST
1	1	0,530
	2	0,458
	3	0,472
2	1	0,310
	2	0,291
	3	0,314
3	1	0,618
	2	0,497
	3	0,560
4	1	0,392
	2	0,397
	3	0,335

Nota: Las siglas presentadas en la **Tabla 5** responden a las siguientes variables, H= porcentaje de humedad, %ST= porcentaje de solidos totales, Abs= Absorbancia, C= concentración de polifenoles y BS responde a los polifenoles en base seca.

De este modo, en la **Tabla 5**, se presenta la concentración de polifenoles, en donde se destaca el tratamiento 3, en donde se aprecia la mayor presencia en la primera replica, la

cual corresponde a la aplicación de 20 ml del disolvente y 45 min de calentamiento, obteniendo 0,618 g por cada 100 g de sólidos totales, seguidamente esta la réplica 3 del mismo tratamiento obteniendo 0,560 g. Finalmente, el tratamiento con una concentración de polifenoles considerable es el tratamiento 1, específicamente la primera replica, esta corresponde a 20 ml del disolvente con 30 min de calentamiento.

Así mismo, **(Toaza, 2024)** demuestra que el mejor tratamiento para la recuperación de antocianinas es el tratamiento 2, específicamente la réplica 4, en donde recupero 6,580 g en base seca por cada 100 gramos de solidos totales, el tratamiento al cual responde estos resultados es cuando se aplicó 1 gramo de materia vegetal en 15 ml de etanol al 96% y 30 min de calentamiento, esto demuestra una estrecha relación entre resultados, destacando que al parecer los resultados sugieren que el mejor tratamiento tiene afinidad hacia una menor cantidad de disolvente y mayor tiempo de calentamiento.

En base a esto, en la presente investigación se puede inferir que el mejor tratamiento es el tratamiento 3, la cual corresponde a la relación 1:20 y manteniendo a una temperatura de ebullición por 45 min . Sin embargo, se entiende que los datos mantienen interacciones muy complejas que no se pueden asumir como la única respuesta obvia. Por esta razón, se hizo uso de software estadístico que permite analizar los datos en varios niveles, considerando la interacción de todas las variables. A continuación, se presenta los resultados obtenidos de Statgraphics.

3.1.2. Análisis estadístico mediante Statgraphics

3.1.2.1. Análisis de los efectos estimados

Mediante la **Tabla 6**, se analizó como diferentes factores afecta a la concentración de polifenoles, destacando que para el estimado los valores positivos influyeron positivamente a la concentración de polifenoles y valores negativos disminuyeron la concentración de polifenoles; el error estándar nos permitió definir qué tan exacto es la variabilidad del estimado. Por otro lado, **(Mendes Ramírez, 2022)** demostró que mientras bajo sea el resultado de la colinealidad entre los factores el resultado más beneficioso es para el estudio

Tabla 6. Efectos estimados

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
Promedio	0,429	0,008	-

A: Relación soluto/disolvente	-0,009	0,015	1
B: Tiempo	0,061	0,015	1
AB (interacción A×B)	0,008	0,021	1
Bloque 1	-0,047	0,021	1.33333
Bloque 2	0,010	0,021	1.33333

De este modo, se demuestra que la relación del soluto y el disolvente (A) presenta un valor negativo, lo cual indica que esta relación no influye en gran medida a la concentración de polifenoles, es decir esta variable no es estadísticamente significativa. Por otro lado, el tiempo (B) demuestra un valor positivo, lo que permite inferir que esta variable es estadísticamente significativa, es decir que el tiempo influye directamente sobre la concentración de polifenoles. Finalmente, la interacción entre (AxB), demuestra un valor positivo pero el resultado arrojado es menor a su error estándar, demostrando que esta interacción es estadísticamente significativa estadísticamente.

Estos resultados difieren con respecto a varios estudios relacionado al tema, ya que, demuestran que a una mayor cantidad de solvente se recupera una mayor cantidad de polifenoles u otros componentes bioactivos de interés. este contraste se puede atribuir a la pequeña diferencia del volumen del disolvente, ya que, en diversos estudios se realizó una variación más significativa del disolvente, lo que sugiere que se debe aumentar la cantidad del disolvente para aumentar la cantidad de polifenoles, como se demuestra en los resultados presentados por **(Wang et al., 2024)**.

3.1.2.2.Análisis de tabla ANOVA de los factores aplicados para la concentración de polifenoles.

Para respaldar las anteriores afirmaciones sobre la influencia de los factores a continuación se presenta la **Tabla 7.** la cual corresponde a la tabla ANOVA.

Tabla 7. Tabla ANOVA para la recuperación de polifenoles

Fuente	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
B: Tiempo	0,0139113	1	0,0139113	25,34	0,0010

Bloques	0,0052586	2	0,0026293	5,04	0,0384
Error total	0,0043916	8	0,0005490		
Total (corr.)	0,0238314	11			

R^2 = 81,5722

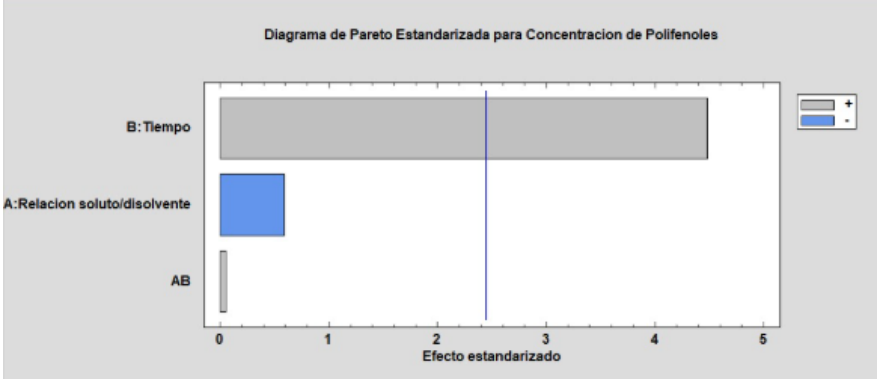
R^2ajustada =74,6618

En esta tabla, se aprecia únicamente la presencia del factor tiempo (B) con un valor de p=0,0010, lo que corrobora los resultados expresados en la tabla 7, es decir que el tiempo es una variable estadísticamente significativa, que aporta a la concentración de polifenoles, ya que, el valor de p<0,05. Además, conjuntamente con esta tabla Statgraphics presento las métricas de ajuste y la precisión del modelo, destacando R^2con un valor de 81,57% lo que sugiere que el modelo utilizado representa con una exactitud considerable los datos. Así también, R^2ajustado arrojo un valor de 74,66%, lo que demostró el ajuste realizado de acuerdo a los factores y variables presentados, destacando que este valor se redujo con respecto a R^2, de acuerdo a esto podemos inferir que estará variación existió variables que no se controlaron apropiadamente, sin embargo, demostrando que este modelo aún sigue siendo bueno.

3.1.2.3.Análisis del diagrama de Pareto y superficie de respuesta de la influencia de los factores sobre la concentración de polifenoles

El diagrama de Pareto demostró la influencia de todos los factores, destacando si dichos factores influyen significativamente en la recuperación de polifenoles, a continuación, en la **Figura 2**. se representa la influencia que tuvo cada variable.

Figura 2. Diagrama de Pareto de la interacción entre factores

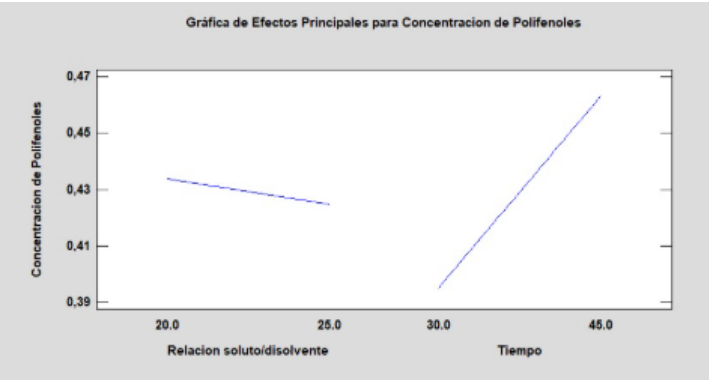


Esta figura respalda todo lo mencionado anteriormente, ya que, demuestra que la interacción de A el cual corresponde a la relación soluto/disolvente se observa que la relación que existe entre ambas variables presenta un grado significancia ínfimo, lo que indica que esta interacción no influye en la recuperación de polifenoles. Así mismo, se puede observar que, en el otro nivel más bajo, el cual corresponde al factor AB soluto/disolvente y el tiempo no existe un grado de significancia considerable. Por otro lado, en el nivel más alto, el cual corresponde al factor B (Tiempo), se demuestra un grado mayor de significancia lo que refuerza la idea de que el único factor influyente para la recuperación de polifenoles procedentes de los residuos de arándano es el tiempo.

Sin embargo, estos resultados difieren de los resultados presentados por **(López Hernández et al., 2022)**, quienes demuestran que existe interacción entre todas las variables, aunque, algunas con menor o mayor grado de significancia. Estas diferencias se pueden atribuir a diversos factores, tales como: el tipo del disolvente, el tiempo de ebullición, la materia prima, equipos, entre otros. Destacando en primer plano que las principales diferencias entre el trabajo de **(López Hernández et al., 2022)** y el presente trabajo es que utiliza agua como disolvente, mortiño como materia vegetal y también diferentes variaciones en la relación de la materia vegetal y el disolvente.

A continuación, la **Figura 3**. refuerza y respalda nuevamente esta tendencia, en la cual se genera una recta que varía de acuerdo a la concentración de polifenoles que se obtiene de acuerdo al tiempo y el volumen del disolvente que se aplique.

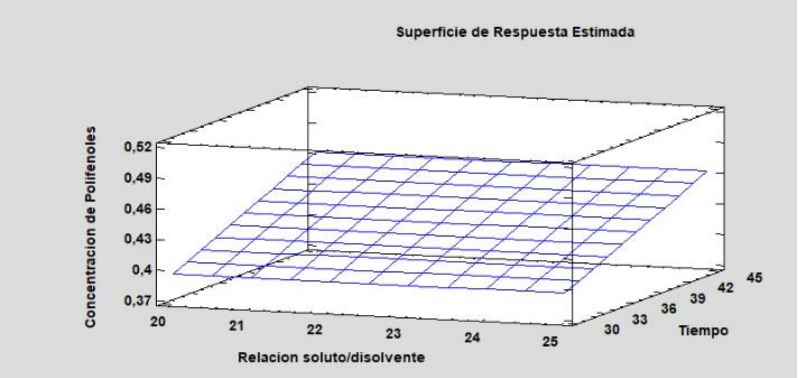
Figura 3. Efecto de los factores para la concentración de polifenoles



De este modo, se aprecia que el tiempo genera una recta más pronunciada demostrando que mientras se aumenta el tiempo se puede obtener una mayor concentración de polifenoles, por otro lado, la relación del soluto/disolvente expresa una recta con poca

pronunciación lo que demuestra que esta variable tiene poca incidencia sobre la recuperación de polifenoles.

Figura 4. Superficie de repuesta para la concentración de polifenoles



Nuevamente la **Figura 4**. refuerza la idea de que el tiempo es el único factor influyente en la concentración de polifenoles, ya que, se observa una superficie de respuesta cuadrática que crece en el eje (Y). Sin embargo, en el eje (X) no se aprecia una creciente significativa, dando una perspectiva lineal. En el eje (Z) que corresponde a la concentración de polifenoles, se demuestra que no existe interacción significativa entre las dos variables anteriormente mencionadas, ya que, se aprecia una superficie plana sin curvaturas.

Sin embargo, no se puede decir que estos resultados siempre son así, ya que, **(Taha et al., 2024)** demuestran que la variación del disolvente influye considerablemente en la recuperación de polifenoles, lípidos y otros componentes bioactivos de interés. De este modo, se puede decir que en la presente investigación no se evidencio una influencia considerable debido a mínima variación del disolvente, en base a estas afirmaciones, se considera que para obtener una mayor concentración de polifenoles con la influencia del disolvente se debe aumenta la cantidad de la misma.

3.1.2.4. Optimización de las condiciones para la recuperación de polifenoles

Por otro lado, mediante la **Figura 5** extraída de Statgraphics, se demuestra que la mejor relación para la recuperación de polifenoles de los desechos de arándano es 1:22,5, manteniendo a una temperatura de ebullición por 45 minutos, lo cual tiene lógica, con lo mencionado al principio. Entonces, se puede asumir que la recuperación de polifenoles es directamente proporcional al tiempo y la cantidad de disolvente. Esta afirmación, concuerda con lo afirmado por **(López Hernández et al., 2022)** ya que, al tratarse se

residuos procedentes de un proceso tecnológico tienen afinidad a este principio físico . De este modo, se puede decir que aumentar la cantidad de disolvente y el tiempo de ebullición proporciona las condiciones más optimas y eficientes para la recuperación de polifenoles a partir de los desechos de arándano. Sin embargo, este principio no asegura que sea aplicable a todos los experimentos, por esta razón, el software estadístico demuestra valores intermedios, como se muestra a continuación.

Figura 5. Condiciones óptimas para la concentración de polifenoles.

Valor óptimo

Predicción	*Inferior 95,0% Limite*	*Superior 95,0% Límite*
0,463258	0,441201	0,485315

Factor	*Bajo*	*Alto*	*Óptimo*
Relacion soluto/disolvente	20,0	25,0	22,475
Tiempo	30,0	45,0	45,0

3.1.2.5.Ecuación ajustada para concentración de polifenoles

Por otro lado, para obtener la máxima concentración de polifenoles también se puede expresar mediante la **Ecuación 4**, que se presenta a continuación:

Ecuación 4. Ecuación ajustada para la concentración de polifenoles

$$Concentración\ de\ polifenoles = 0{,}258969 + 0{,}00453974 * Tiempo$$

En donde se aprecia que la única variable que se representa en la ecuación es el tiempo, ya que, es la más influyente, sin embargo, se presenta un valor de 0,258969 que corresponde al disolvente, pero sin la variable de la misma ya que tiene poca incidencia en el proceso de recuperación, y que en el presente estudio la cantidad de disolvente no tiene la cantidad adecuada o que el disolvente no es el apropiado para la extracción. De este modo, estos resultados sugiere que se debe aplicar una mayor cantidad de la misma u otros disolventes no tóxicos como la aplicación de DES (glicerol + cloruro de colina), NADES (disolventes eutécticos), con otras tecnologías de extracción como el ultrasonido y microondas, los cuales resultados muy prometedores como los estudios presentados por **(Szopa et al., 2024)** y **(Jiao et al., 2025)**.

3.1.3. Eficiencia de microencapsulación

Tabla 8. Eficiencia de microencapsulación

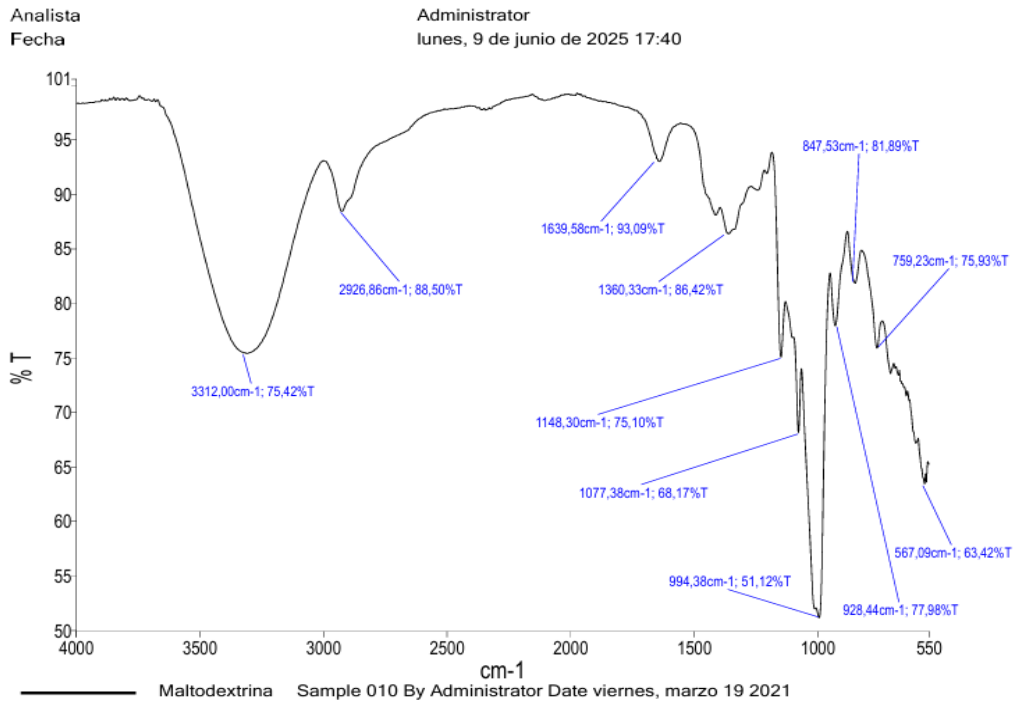
Muestra	Réplica (Dilución 1:10)	Absorbancia	Concentración mg GAE/ml	Promedio	Eficiencia (%)
Libre	1	0,292	91,478	91,478±2,173	80,64%
	2	0,287	89,304		
	3	0,297	93,652		
Total	1	0,115	14,522	17,710±3,053	
	2	0,123	18,000		
	3	0,129	20,609		

En la **Tabla 8**, se muestra los resultados de la eficiencia de microencapsulación en donde se aprecia una mayor absorbancia en la muestra libre, la cual corresponde al microencapsulado y agua. Por otro lado, en la muestra total, la cual corresponde al microencapsulado en etanol, se demuestra una menor absorbancia. De este modo, estos resultados demuestran que la variación de la eficiencia de microencapsulación entre los dos medios es evidente, sin embargo, estos resultados se traducen en una eficiencia de microencapsulación de 80,64%

3.1.4. Evaluación de microencapsulación mediante FTIR

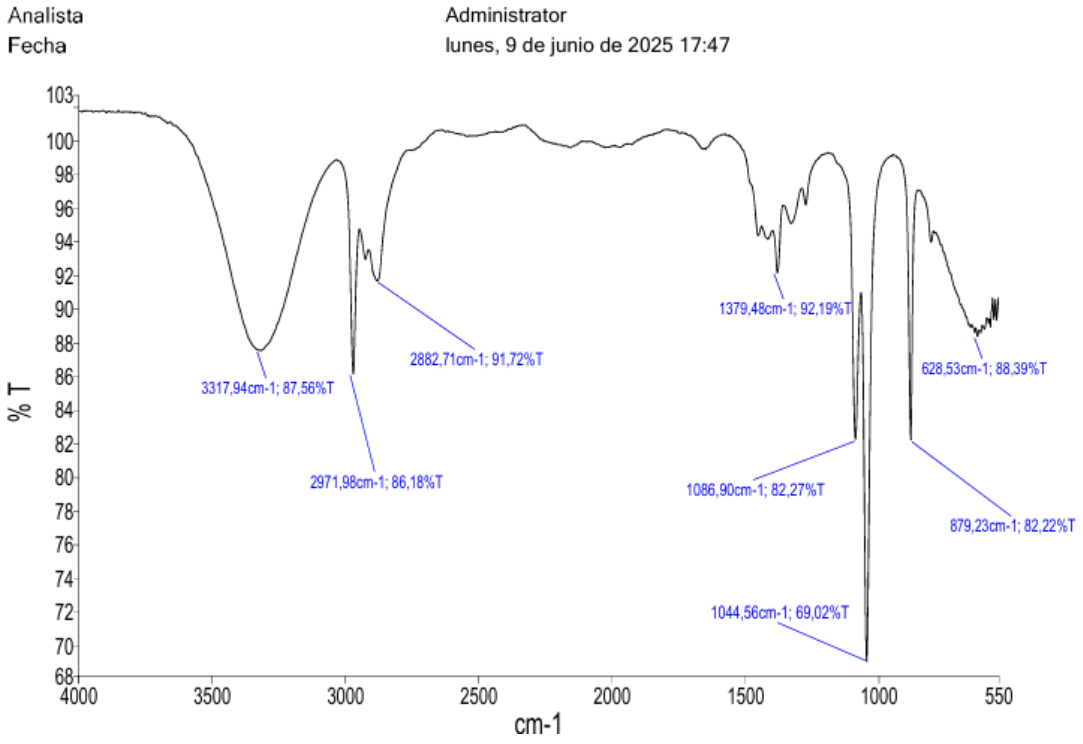
Las Figuras 6,7,8 y 9 mediante la técnica de FTIR permitió evidenciar la calidad y eficiencia de los microencapsulados. Sin embargo, esta técnica también permitió identificar grupos funcionales, interacciones entre el extracto, agente encapsulante y los polifenoles microencapsulados, las cuales respondieron específicamente a ciertas longitudes de onda.

Figura 6. Espectro FTIR de la maltodextrina



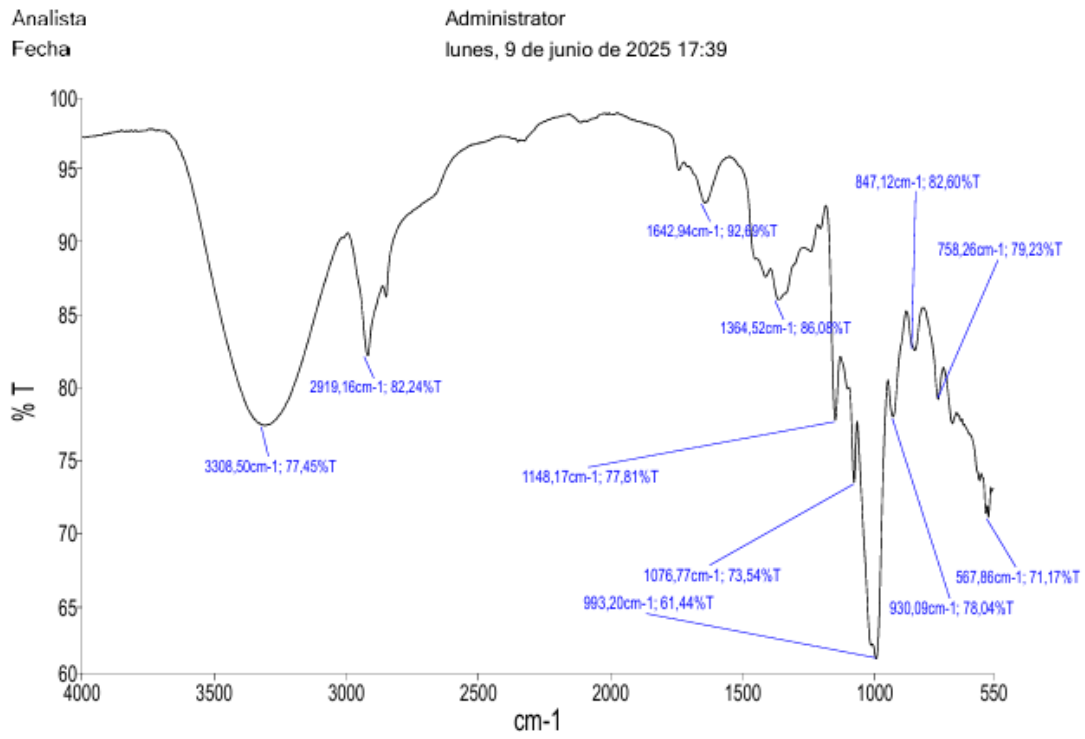
La **Figura 6.** presenta bandas muy pronunciados en 3312 cm^{-1}, 2926 cm^{-1}, 1360 cm^{-1} y el más pronunciado hacia abajo de 994 cm^{-1}, estos corresponden a grupos (O-H), (C-H), (C=O) y (C-O y C-O-C) respectivamente, esto indica que la maltodextrina genera estiramientos en los grupos mencionados, los cuales son propios de almidones, destacando que el pico generado en 3312 cm^{-1} es típico porque contienen una alta cantidad de grupos hidroxilos, los cuales son responsables de generar puentes de hidrogeno, los mismos que son fundamentales para la matriz de microencapsulación. Además, la banda presente en 994 cm^{-1} corresponde a la vibración generada en la estructura base o también denominada esqueleto de moléculas de glucosa, estas moléculas están unidas por enlaces glucosídicos que vibran justamente por la radiación infrarroja. De este modo, esta banda indica la evidente presencia de polisacáridos y una óptima matriz de encapsulación **(Maryam Heidari, Akram Pezeshki, 2024)**.

Figura 7. Espectro FTIR del extracto de polifenoles



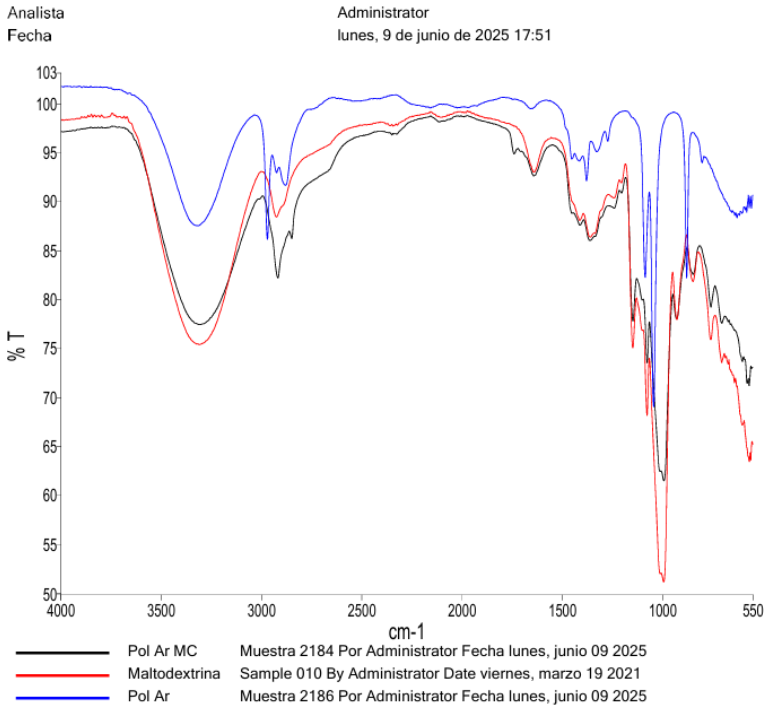
La **Figura 7**. presenta bandas muy sobresalientes en 3317 cm^{-1}, 2971 cm^{-1}, 1379 cm^{-1} y 1044 cm^{-1}, estos corresponden a grupos (O-H), (C-H), (-CH2;-CH3) y (C-O;C-O-C), respectivamente, estas bandas generadas son propias de extractos fenólicos. De este modo, la banda de 3317 cm^{-1} indica un notable estiramiento en los grupos hidroxilo de polifenoles y antocianinas, así mismo en 2971 cm^{-1} indica un estiramiento de las cadenas alifáticas, la banda generada en 1379 cm^{-1}, permite identificar la presencia de compuestos fenólicos y estructuras aromáticas procedentes de antocianinas y flavonoides. Finalmente, la banda generada en 1044 cm^{-1}, indica la notable presencia de éteres, esteres, alcoholes y algunos anillos aromáticos propios de flavonoides y antocianinas **(Todorović et al., 2022)**.

Figura 8. Espectro FTIR de los polifenoles microencapsulados



La **Figura 8.** presenta bandas muy pronunciadas en 3308 cm^{-1}, 2919 cm^{-1}, 1364 cm^{-1} y 993 cm^{-1}, estos corresponden a grupos (O-H) fenólicos, (C-H) alifáticos, (-CH3;-CH2) metilos, (C-O y C-O-C) enlaces glicosídicos y éteres respectivamente, esta grafica indica la interacción de la maltodextrina y el extracto, lo que genera un desplazamiento y reducción de la intensidad en las bandas, es decir generan interacciones no covalentes propios de los puentes de hidrogeno. De este modo, se puede decir que en la banda generada en 3308 cm^{-1} disminuye la intensidad de la maltodextrina porque se combinan las propiedades de ambas sustancias. El pico generado en 2919 cm^{-1} indica la presencia de metabolitos secundario. Por otro lado, la banda generada en 1364 cm^{-1} indica la inmovilización de compuestos fenólicos en la matriz de maltodextrina, asegurando una correcta microencapsulación del extracto. Finalmente el pico generado en 993 cm^{-1} demuestra la presencia de la maltodextrina en la estructura lo que sugiere una correcta interacción con el concentrado **(Azza Abdel & Saleh Mohamed, 2022)**.

Figura 9. Superposición de las tres gráficas



Finalmente, en la **Figura 9.** se representa la superposición de todas las curvas generadas mediante la FTIR, en la cual se evidencia que el concentrado fue microencapsulado eficientemente en la matriz de maltodextrina, mediante un análisis comparativo de los espectros generados, se destaca que la banda de la maltodextrina y el microencapsulado de polifenoles son prácticamente idénticas, lo que demuestra que se combinan las propiedades de la maltodextrina sobre el concentrado de polifenoles, además se puede inferir que los compuestos bioactivos del extracto fue incorporado de manera estable.

3.1.5. Evaluación de la actividad antioxidante

El microencapsulado y extracto de polifenoles que se obtuvo de los residuos de arándano demuestran un porcentaje de inhibición considerable, aunque cuestionable mediante el método de captura DPPH, estos resultados se reflejan en la **Tabla 9.** que se presenta a continuación:

Tabla 9. Capacidad de inhibición del extracto y microencapsulado de polifenoles

Muestra	Inhibición (%)	Concentración (µmol/L)
Concentrado de polifenoles	61,0745614	368,48

Microencapsulado	24,04	24,04%

Efectivamente, se evidencia que el porcentaje de inhibición del concentrado de polifenoles es de 24,04%, lo cual parece un valor muy bajo pero se debe de considerar que el presente estudio no utiliza un concentrado del arándano, sino un concentrado proveniente únicamente de los residuos de arándano, considerando esta premisa se puede inferir que este porcentaje de inhibición inferior a otras investigaciones difiere por múltiples factores internos y externos, tales como el tipo de materia prima, tecnología de extracción, tipo de solvente, concentraciones, entre otros **(Jaafreh et al., 2019)**.

Por otro lado, se observa que la inhibición del microencapsulado es de 24,04%, lo cual es superior al concentrado de polifenoles, esta notable diferencia de la capacidad de inhibición se puede atribuir al efecto del equipo de microencapsulación, ya que, al utilizar el spray dryer su mismo mecanismo puede degradar o disminuir la biodisponibilidad de varios compuestos bioactivos si no se utiliza las condiciones adecuadas. Sin embargo, también se puede considerar que se debe al mismo efecto de la microencapsulación, ya que, el principio de esta tecnología es proteger compuestos bioactivos en la matriz de maltodextrina, es decir, los polifenoles presentes están parcialmente atrapados y no se liberar rápidamente, esto nos indica que el proceso de microencapsulación fue eficiente y su liberación es controlada, de este modo esto puede asegurar su correcto almacenamiento **(Hussain et al., 2018)**.

De este modo, en base a los resultados presentados por otros autores se puede decir que el proceso de microencapsulación no debe reflejar un porcentaje de inhibición alto de forma inmediata, ya que debido al mismo proceso de microencapsulación la liberación del compuesto bioactivo de interés es controlada, ya que, su principio es proteger estos compuestos de varias condiciones medioambientes, tales como: la luz, el oxígeno y el calor. Es así que, aun que el porcentaje de inhibición del microencapsulado solo difiere un poco el resultado sigue siendo muy satisfactorio al tratarse de un residuo agroindustrial.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La propuesta de recuperación de polifenoles de los residuos de arándano oferta una alterativa eficiente para el aprovechamiento de varios compuestos bioactivos que en la actualidad no se están aprovechando, de este modo, reduciendo el impacto medioambiental que tiene los residuos generados por pequeñas y grandes empresas. Además, esta tecnología de recuperación de compuestos bioactivos como polifenoles y antocianinas demuestran la viabilidad de obtener ganancias significativas a muy bajo costo. De este modo, ofertando una economía circular mediante el uso y aprovechamiento de estos residuos.

- La extracción de polifenoles a partir de los residuos de arándano demuestra que, en el presente estudio, el tiempo es la variable con mayor incidencia sobre la recuperación de polifenoles, demostrando que una pequeña variación en el volumen del disolvente no refleja una influencia directa sobre la concentración de polifenoles. Sin embargo, se demostró que la relación más óptima de materia vegetal y disolvente al 96% es de 1:22,5 respectivamente, la cual se debe mantener a ebullición por un tiempo de 37,5 minutos. De este modo, destacando que bajo estas condiciones se logra obtener la máxima concentración de polifenoles con un rendimiento de 80,64%.

- La microencapsulación de polifenoles procedentes de los residuos de arándano se realizó de manera efectiva mediante el uso del spray dryer (Buchi-290) con maltodextrina como agente encapsulante. Además, mediante la FTIR y el método colorimétrico del DPPH se demostró que se puede microencapsular los polifenoles en una matriz muy estable sin que presente alteraciones frente a varias condiciones adversas, también se demostró que polifenoles microencapsulados presentaron una capacidad de inhibición igual a 24,04%, la cual es muy significativa si se considera que se trata de un residuo agroindustrial.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar otros disolventes como el DES y NADES, los cuales promuevan la extracción de polifenoles y otros componentes bioactivos, para obtener la máxima concentración de polifenoles procedentes de los residuos de arándano, ya que, en el presente estudio, no se evidencia la influencia del disolvente.

- Considerar la aplicación del microencapsulado de los residuos de arándano en una matriz alimentaria e indagar la influencia que esta tiene sobre la salud y el aporte nutricional que representa sobre una dieta alimentaria. Además, proponer soluciones para cambiar el sabor del microencapsulado, ya que, posee un sabor amargo característico de un fruto en descomposición, para de esta forma aumentar la aceptabilidad del consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aragüez, Y., Pino, J. A., Bringas-Lantigua, M., Ortega, A., & Expósito, I. (2022). Temperaturas de secado para la microencapsulación de saborizantes frutales mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología de Alimentos, 32*(1), 1–6. https://revcitecal.iiia.edu.cu/revista/index.php/RCTA/article/view/350

Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J. M., & García-Montoya, E. (2020). An overview of microencapsulation in the food industry: opportunities, challenges, and innovations. *European Food Research and Technology*, *246*(7), 1371–1382. https://doi.org/10.1007/S00217-020-03496-X/METRICS

Ashique, S., Mukherjee, T., Mohanty, S., Garg, A., Mishra, N., Kaushik, M., Bhowmick, M., Chattaraj, B., Mohanto, S., Srivastava, S., & Taghizadeh-Hesary, F. (2024). Blueberries in focus: Exploring the phytochemical potentials and therapeutic applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, *18*, 101300. https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2024.101300

Azza Abdel, A. B., & Saleh Mohamed. (2022). Garden cress gum and maltodextrin as microencapsulation coats for entrapment of garden cress phenolic-rich extract: improved thermal stability, storage stability, antioxidant and antibacterial activities. *Food Science and Biotechnology*, *32*(1), 47–58. https://doi.org/10.1007/s10068-022-01171-3

Bustamante, A., Reinoso, Y., Paz, R., Ortiz, J., Echeverria, F., & Sanhueza, L. (2023). Desarrollo de un ingrediente funcional mediante extracción asistida por ultrasonido y microencapsulación con quitosano de residuos de arándanos . *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *73*, 109. https://doi.org/10.37527/2023.73.S1

BÜCHI Labortechnik AG. (2023). Mini Spray Dryer B-290: Instruction manual (Version 29395-01). https://es.scribd.com/document/261770071/Manual-de-Operacion-Mini-Sapray-Dryer-b290?utm_source

Castañeda, Heriberto; Gemio, Romulo; Yapu, W. N. J. (2011). Microencapsulacion, Un Metodo Para La Conservacion De Propiedades Fisicoquimicas Y Biologicas De Sustancias Quimicas. *Boliviana de Quimica*, *28*, 135–140.

Calderón-Oliver, M., & Ponce-Alquicira, E. (2022). The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules 2022, Vol. 27, Page 1499*, *27*(5), 1499. https://doi.org/10.3390/MOLECULES27051499

Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, *2*(4), 426–442. https://doi.org/10.1002/FFT2.94;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:26438429;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Dorosh, O., Fernandes, V. C., Delerue-Matos, C., & Moreira, M. M. (2024). Blueberry Pruning Wastes: From an Undervalued Agricultural Residue to a Safe and Valuable Source of Antioxidant Compounds for the Food Industry. *Foods* , *13*(2), 317. https://doi.org/10.3390/FOODS13020317

Fang, Y., Nunez, G. H., da Silva, M. N., Phillips, D. A., & Munoz, P. R. (2020). A Review for Southern Highbush Blueberry Alternative Production Systems. *Agronomy 2020, Vol. 10, Page 1531*, *10*(10), 1531. https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10101531

Ferreira, L. M. de M. C., Pereira, R. R., Carvalho-Guimarães, F. B. de, Remígio, M. S. do N., Barbosa, W. L. R., Ribeiro-Costa, R. M., & Silva-Júnior, J. O. C. (2022). Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of Phenolic Compounds from Tucuma Coproduct (Astrocaryum vulgare Mart.) Almonds. *Polymers*, *14*(14). https://doi.org/10.3390/polym14142905

Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, *11*(8). https://doi.org/10.3390/pr11082248

Herrera, A., & Castro, M. (2023). *Efecto del proceso de deshidratación de la carambola (averrhoa carambola) como técnica postcosecha para asegurar la calidad y seguridad Alimentaria*. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/11658

Hussain, S. A., Hameed, A., Nazir, Y., Naz, T., Wu, Y., Suleria, H. A. R., & Song, Y. (2018). Microencapsulation and the characterization of polyherbal formulation (PHF) rich in natural polyphenolic compounds. *Nutrients*, *10*(7). https://doi.org/10.3390/nu10070843

Jaafreh, M., Khleifat, K. M., Qaralleh, H., & Al-limoun, M. O. (2019). *Jbaar20192015*. *5*(1), 55–63.

Jiao, P., Shengping, W., Wang, P., & Yang, P. (2025). *Extracción verde mejorada de antioxidantes fenólicos de hojas de espino blanco basada en solventes eutécticos profundos y ondas ultrasónicas*.

Liu, H., Qin, S., Sirohi, R., Ahluwalia, V., Zhou, Y., Sindhu, R., Binod, P., Rani Singhnia, R., Kumar Patel, A., Juneja, A., Kumar, D., Zhang, Z., Kumar, J., Taherzadeh, M. J., & Kumar Awasthi, M. (2021). Sustainable blueberry waste recycling towards biorefinery strategy and circular bioeconomy: A review. *Bioresource Technology*, *332*, 125181. https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2021.125181

López Hernández, O. D., Silva Ordoñez, M. D. P., & Hernández Navarro, Y. (2022). Recuperación De Polifenoles a Partir De Residuos Del Proceso De Fabricación De Pulpa De Mortiño. *Revista de Investigación Talentos*, *9*(2), 65–76. https://doi.org/10.33789/talentos.9.2.170

MAG. (2023). *Ecuador entra a competir en el mercado internacional de arándanos – Ministerio de Agricultura y Ganadería*. https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-entra-a-competir-en-el-mercado-internacional-de-arandanos/

Maryam Heidari, Akram Pezeshki, B. G. y M. G. (2024). Microencapsulation of Vitis vinifera grape pulp phenolic extract using maltodextrin and its application in gummy candy enrichment. *Wiley Online Library*.

Mendes Ramírez. (2022). *Ciencias Clínicas*. *15*(186), 39–46.

Ortiz, J., Echeverría, F., Bustamante, A., Reinoso, Y., & Herrera, E. (2024). Revalorization of blueberry residues: Phenolic extraction using emerging and conventional technologies. *Revista Iberoamericana de Viticultura Agroindustria y Ruralidad*, *11*(31), 194–211. https://doi.org/10.35588/RIVAR.V10I31.5975

Pedisić, S., Zorić, Z., Repajić, M., Levaj, B., Dobrinčić, A., Balbino, S., Čošić, Z., Dragović-Uzelac, V., & Elez Garofulić, I. (2025). Valorization of Berry Fruit By-Products: Bioactive Compounds, Extraction, Health Benefits, Encapsulation and Food Applications. *Foods* , *14*(8), 1354. https://doi.org/10.3390/FOODS14081354

Reyes, G., Pacheco, C. M., Isaza-Ferro, E., González, A., Pasquier, E., Alejandro-Martín, S., Arteaga-Peréz, L. E., Carrillo, R. R., Carrillo-Varela, I., Mendonça, R. T., Flanigan, C., & Rojas, O. J. (2022). Upcycling agro-industrial blueberry waste into platform chemicals

and structured materials for application in marine environments. *Green Chemistry*, *24*(9), 3794–3804. https://doi.org/10.1039/D2GC00573E

Rosero, S. (2020). *Obtención y caracterización de polifenoles y flavonoides de extractos de Baccharis macrantha (Chilca) y estudio de su actividad antioxidante y antiinflamatoria.* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/59c02f91-0ceb-4b37-aa12-bc7dfd5e87aa/content

Sancho, A. (2023). *Microencapsulación de compuestos bioactivos a partir de la raíz de cúrcuma (Curcuma longa) y jengibre (Zingiber officinale) como alternativa al uso de antinflamatorios convencionales.* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/821c017a-d4dd-409c-b996-9a230a117eec/content

Silva, S., Costa, E. M., Veiga, M., Morais, R. M., Calhau, C., & Pintado, M. (2020). Health promoting properties of blueberries: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(2), 181–200. https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1518895

Szopa, D., Wróbel, P., & Witek-Krowiak, A. (2024). Enhancing polyphenol extraction efficiency: A systematic review on the optimization strategies with natural deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*, *404*(March). https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124902

Toaza, D. M. L. (2024). Recuperación de antocianinas a partir de los residuos agroindustriales de la mora de castilla. In *Αγαη*. Universidad Tecnica de Ambato.

Todorović, A., Šturm, L., Salević-Jelić, A., Lević, S., Osojnik Črnivec, I. G., Prislan, I., Skrt, M., Bjeković, A., Poklar Ulrih, N., & Nedović, V. (2022). Encapsulation of Bilberry Extract with Maltodextrin and Gum Arabic by Freeze-Drying: Formulation, Characterisation, and Storage Stability. *Processes*, *10*(10). https://doi.org/10.3390/pr10101991

Torres Torres, M., Maritza, Y., & Torres, C. (2021). Análisis comparativo de las propiedades nutricionales y presupuestal del agraz y el arándano. In *Revista Prospectiva Científica* (Vol. 17, Issue 17). https://revista.asoegresadosuptc.com/index.php/home/article/view/49

Taha, M., Dimitrov, K., Samaillie, J., Caux, B., Sahpaz, S., Blanchemain, N., West, C., & Rivière, C. (2024). Optimizing the Extraction of Bioactive Compounds (Polyphenols, Lipids, and Alpha-Tocopherol) from Almond Okara to Unlock Its Potential as Functional Food. *Foods*, *13*(17), 2828. https://doi.org/10.3390/foods13172828

Vinueza, D. (2024). *El arándano ecuatoriano busca un nicho de mercado en el mundo*. https://ecuatoriando.com/destacado/arandano-ecuatoriano-la-superfruta-que-busca-un-nicho-en-el-mercado-global/

Yang, S., Wang, C., Li, X., Wu, C., Liu, C., Xue, Z., & Kou, X. (2021). Investigation on the biological activity of anthocyanins and polyphenols in blueberry. *Journal of Food Science*, *86*(2), 614–627. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15598

Yu, S. (2020). Research Progress on Development and Utilization of Blueberry Wine and its Pomace. *E3S Web of Conferences*, *145*, 01017. https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202014501017

Wang, Z., Tian, Y., Yang, M., Yang, J., Wang, Y., Tao, L., Sheng, J., & Shi, C. (2024). Extraction of phenolic compounds from Moringa oleifera Lam. leaves with ultrasonic-assisted deep eutectic solvents. *Frontiers in Nutrition*, *11*(August), 1–16. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1405128

ANEXOS

Anexo 1. Recolección de materia prima



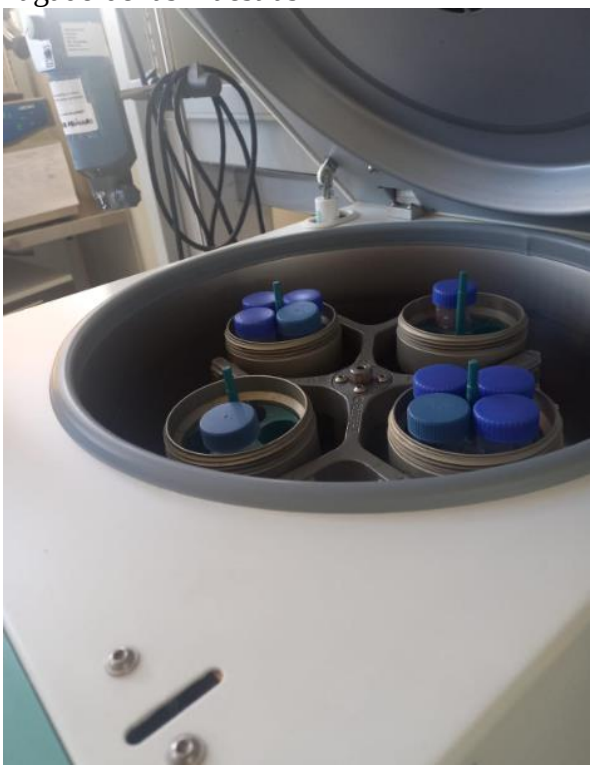
Anexo 2. Secado de la materia prima



Anexo 3. Almacenamiento de la materia prima



Anexo 4. Centrifugado de las muestras



Anexo 5. Determinación de la humedad



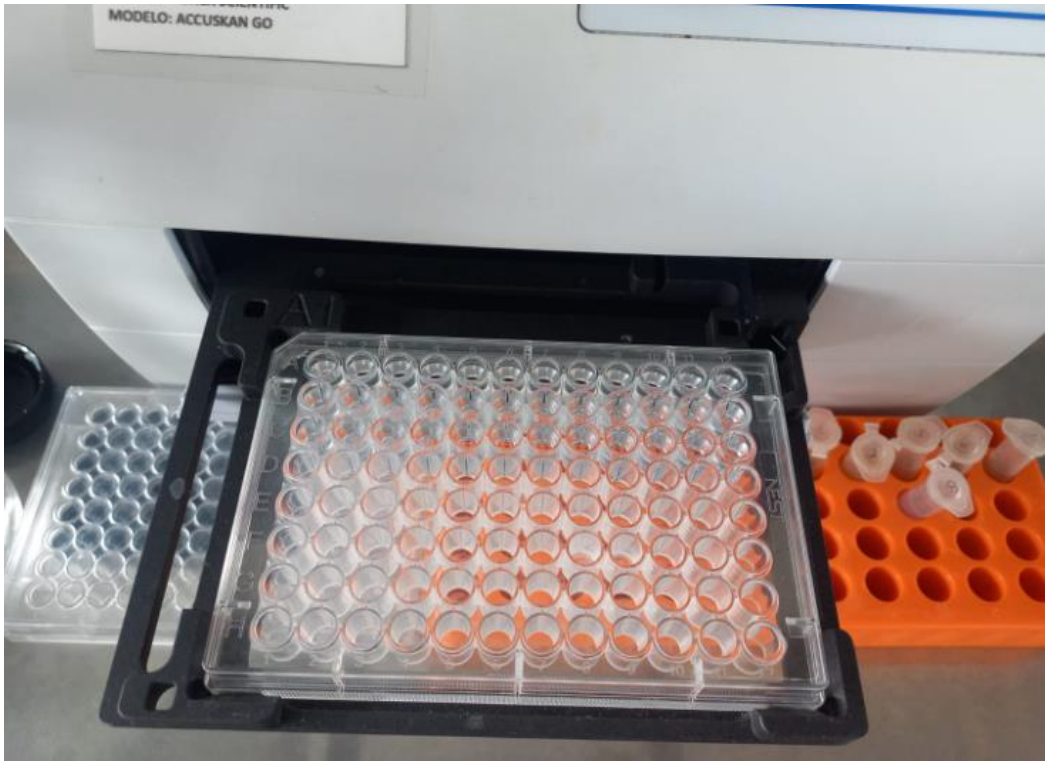
Anexo 6. Almacenamiento de las muestras

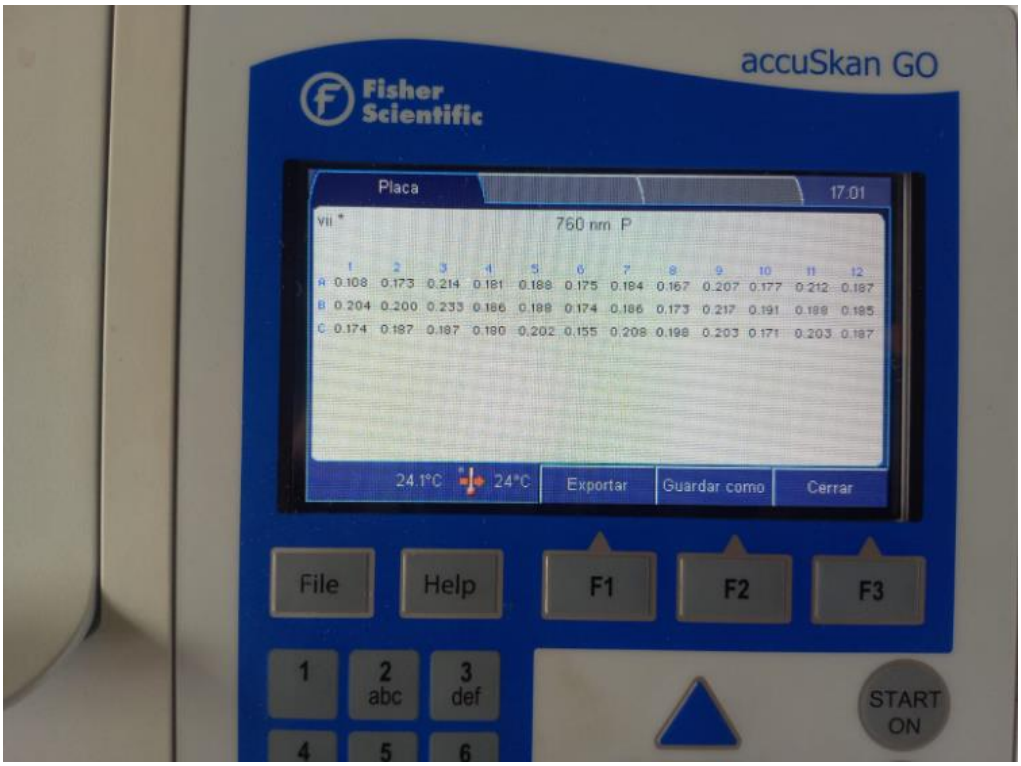


Anexo 7. Dilución de muestras

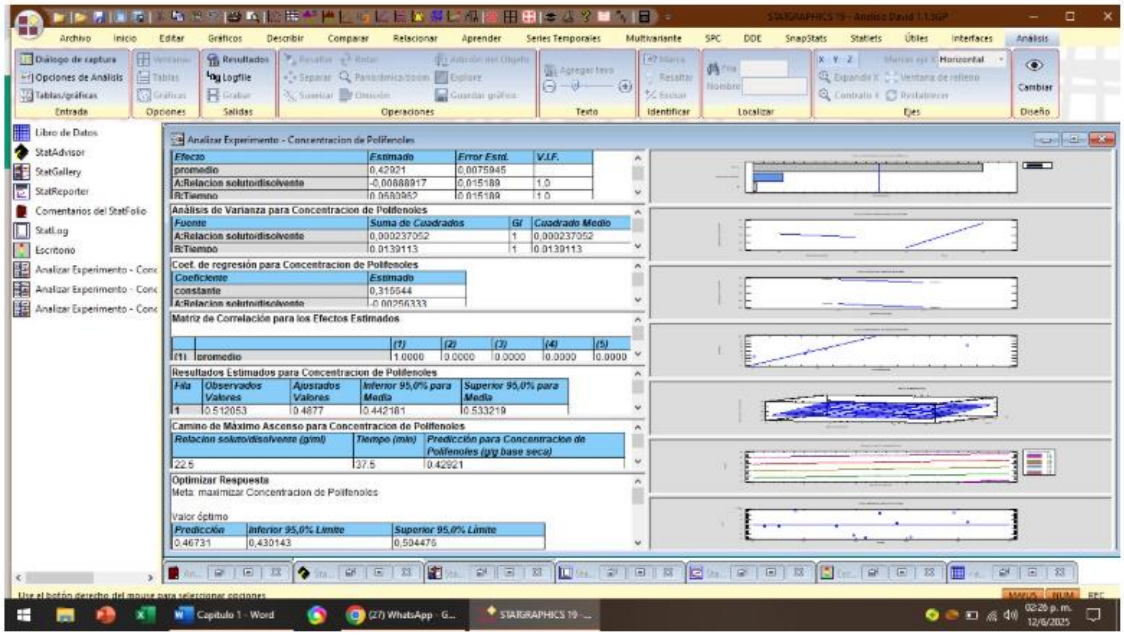


Anexo 8. Determinación de la absorbancia

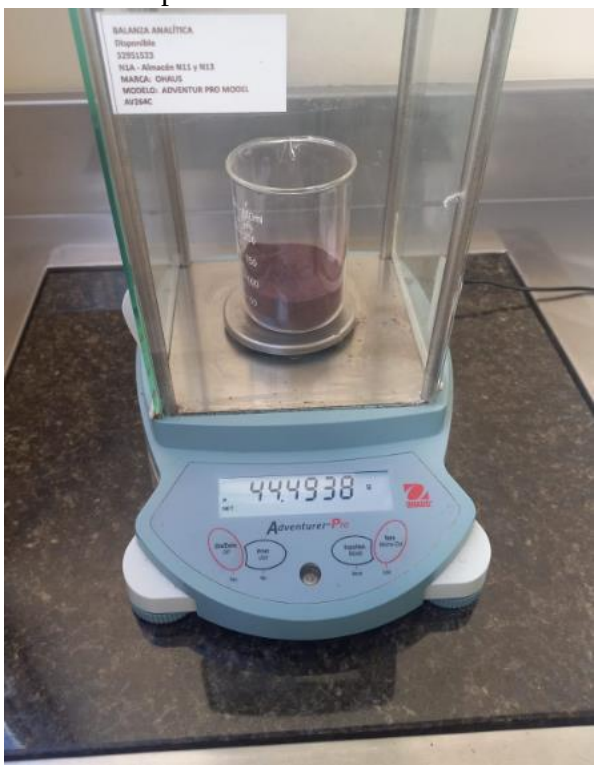




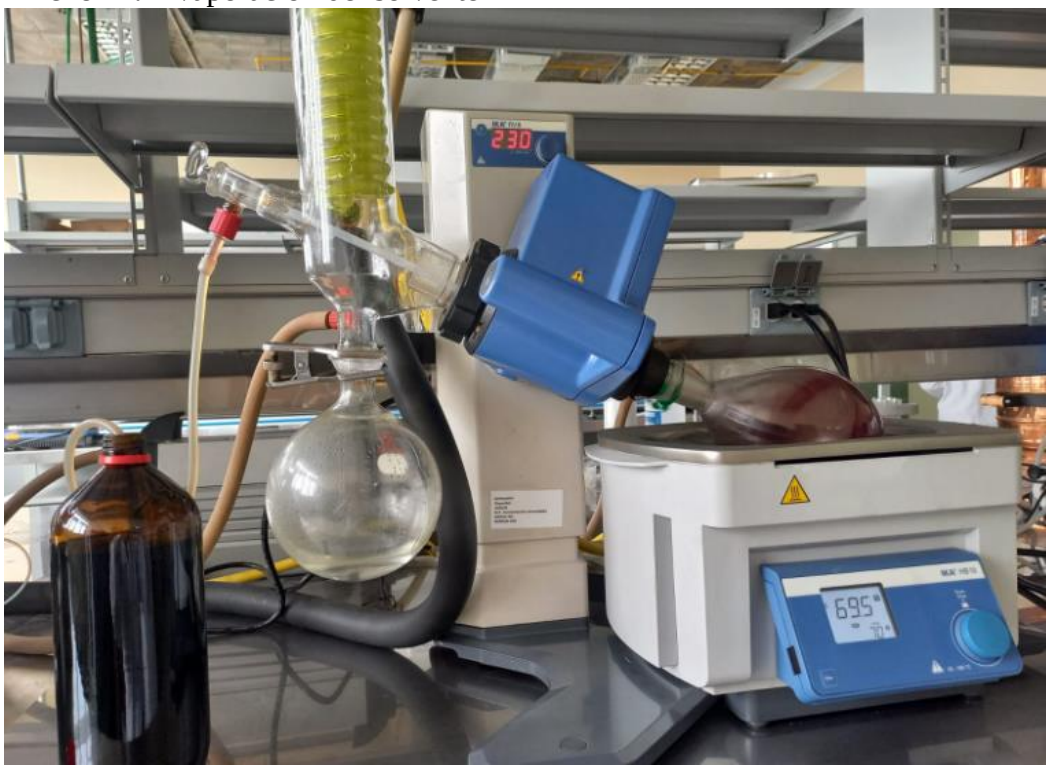
Anexo 9. Uso de Statgraphics



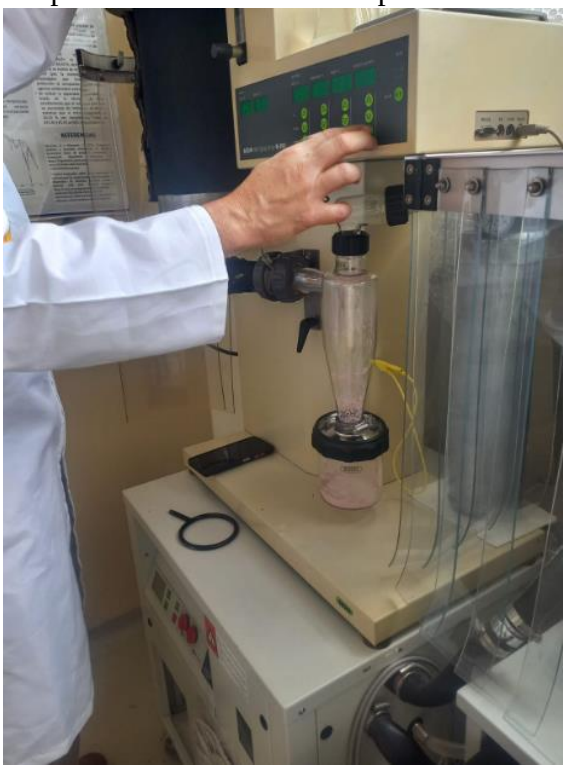
Anexo 10. Maximización de proceso



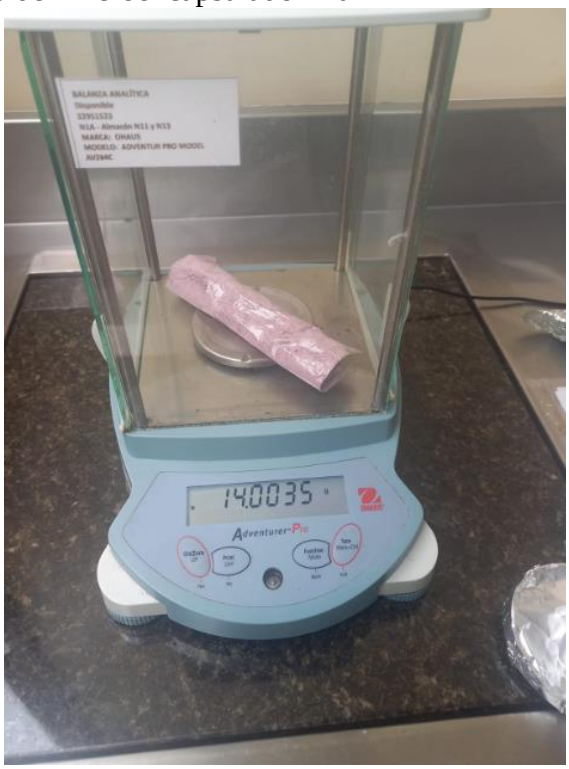
Anexo 11. Evaporación del solvente



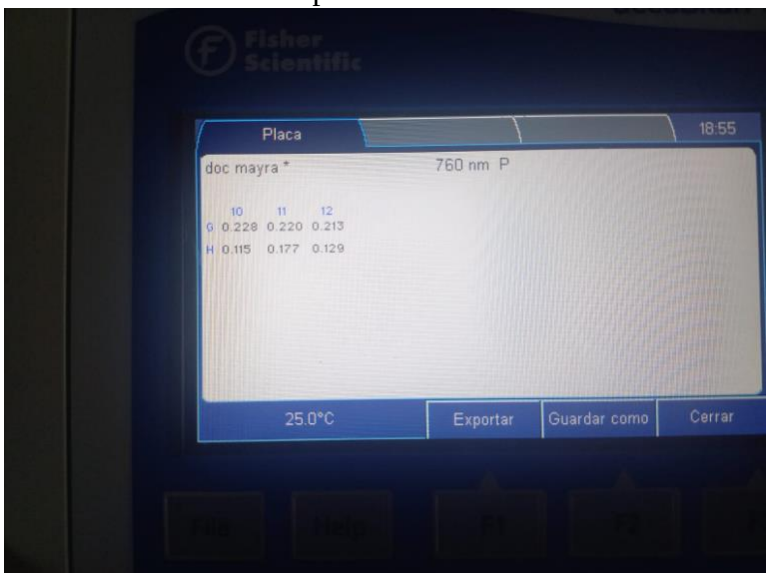
Anexo 12. Microencapsulación del extracto de polifenoles

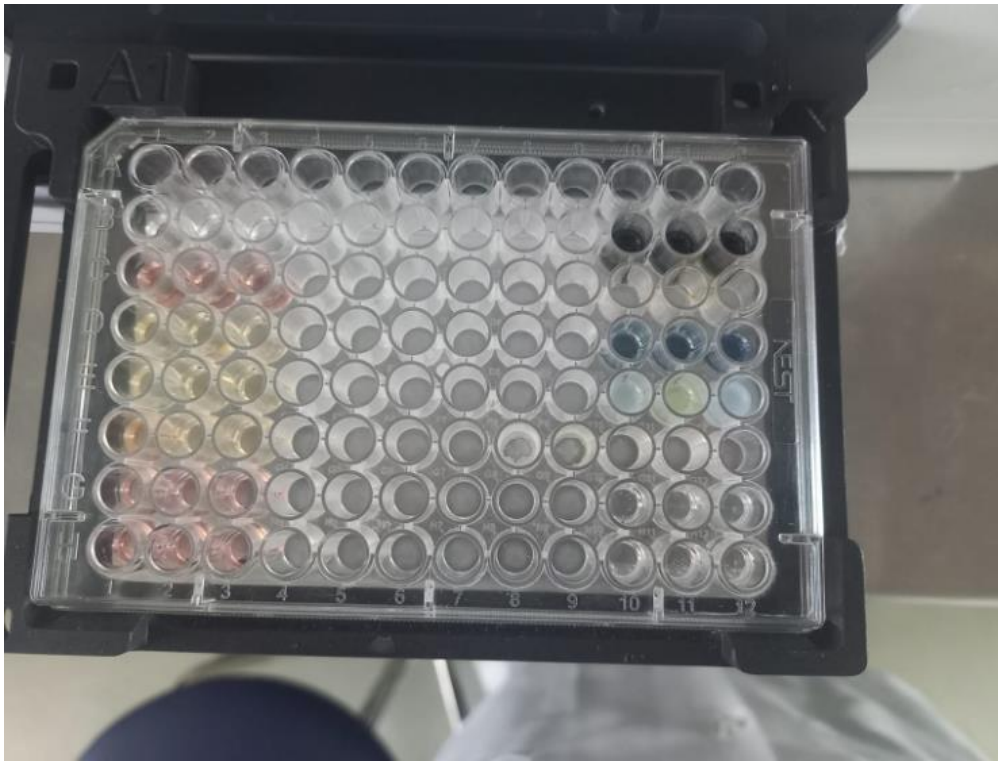


Anexo 13. Pesado del microencapsulado final



Anexo 14. Determinación de la capacidad antioxidante





Anexo 15. Disolución del microencapsulado



Anexo 16. Curva de calibración

