UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación de la capacidad antioxidante del extracto de la papa *(Solanum tuberosum* L*)* clon 12-4-35 microencapsulado mediante secado por aspersión y su potencial como ingrediente bioactivo.

Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación previo la obtención de 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.

Autor: Diana Carolina Molina Osorio

Tutor: Dr. José Homero Vargas López

Ambato – Ecuador

Junio - 2026

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 este 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, 01 de junio de 2026

Dr. José Homero Vargas López

18XXXXXX48

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diana Carolina Molina Osorio, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente 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.

Diana Carolina Molina Osorio

05XXXXXX46

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga uso 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.

Diana Carolina Molina Osorio

05XXXXXX46

AUTOR

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 Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARIA EUGENIA GARCIA PAZMINO

.....

Presidente del Tribunal

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MAYRA LILIANA PAREDES ESCOBAR

.....

Dra. Mayra Liliana Paredes Escobar

05XXXXXX54

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS SANTIAGO MORENO MIRANDA

.....

Dr. Carlos Santiago Moreno Miranda

18XXXXXX42

Ambato, 19 de junio de 2026

DEDICATORIA

Con el amor más inmenso y sincero de mi corazón, dedico este trabajo a mi padre amado Dios, por todas sus bendiciones en esta etapa y la fortaleza necesaria para seguir en adelante.

A mis queridos padres, por todo ese amor incondicional Julio y Rosario gracias porque a pesar de cualquier adversidad, su amor fue más grande que mis errores y siempre me han brindado su apoyo, llevando conmigo siempre sus enseñanzas y humildad.

A mis dos pequeños amores Josué y Leonardo, que son la razón de ser y la fuerza motriz que me impulsa a no no decaer. Este logro es por y para ustedes. Mi mayor orgullo.

Y por todo el esfuerzo compartido a ti Edisson, mi esposo, por creer en mí y devolverme el anhelo de superación.

Diana Carolina Molina Osorio

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la vida, salud, fortaleza y sabiduría a lo largo de este proceso académico. Su guía y bendición me permitieron superar cada dificultad para poder culminar esta etapa.

A mis padres por su sacrifico, apoyo y tiempo para ayudarme en lo que necesitaba. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y dedicación.

A mi esposo por brindarme ánimo y apoyo en los momentos difíciles con su paciencia y compresión durante este camino.

A mi hermana por su ayuda cuando necesitaba, especialmente en la etapa final de este trabajo y por su cariño durante este proceso.

Y más sinceros agradecimientos a los ingenieros: Homero Vargas, Verónica Peñafiel, Mónica Silva y Orestes López, quienes con su ayuda en todo lo que estuvo a su alcance, contribuyeron a la culminación de esta investigación Gracias por su orientación, apoyo recomendaciones y acompañamiento.

Diana Carolina Molina Osorio

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 DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
1.1. Antecedentes investigativos 1
1.1.1. Justificación 1
1.1.2. Papas nativas 2
1.1.3. Importancia de las papas nativas 2
1.1.4. Usos de las papas nativas 3
1.1.5. Conservación de las papas nativas 3
1.1.6. Origen de papa clon 12-4-35 4
1.1.7. Características de la papa clon 12-4-35 4
1.1.8. Características agronómicas de la papa clon 12-4-35 4
1.1.9. Alimentos funcionales 5
1.1.10. Alimentos ricos en antioxidantes 5
1.1.11. Antioxidantes 6
1.1.12. Estrés oxidativo 7
1.1.13. Polifenoles 8

1.1.13.1. Beneficios de los polifenoles 9
1.1.14. Antocianinas 10
1.1.14.1. Beneficios de las antocianinas 10
1.1.15. Microencapsulación 11
1.1.16. Secado por aspersión 12
1.1.17. Sustancias utilizadas en el recubrimiento en la microencapsulación 13
1.1.18. Método de DPPH 14
1.2. Objetivos 14
1.2.1. Objetivo General 14
1.2.2. Objetivos Específicos 14
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 15
2.1. Materiales 15
2.2. Métodos 17
2.2.1 Recolección del material vegetal 17
2.2.2. Preparación y deshidratado del material vegetal 17
2.2.3. Determinación de pH 17
2.2.4. Determinación de acidez titulable 18
2.2.5. Determinación de sólidos solubles del material vegetal 18
2.2.6. Extracción de compuestos bioactivos (polifenoles y antocianinas) 19
2.2.7. Determinación de antocianinas del extracto de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35. 20
2.2.8. Determinación de polifenoles totales de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35 21
2.2.9. Determinación de sólidos totales del extracto de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35. 22
2.2.10. Análisis estadístico 22
2.2.11. Evaporación de disolvente 23
2.2.12. Microencapsulación de polifenoles y antocianinas mediante secado por aspersión ... 23

2.2.13. Rendimiento del proceso de microencapsulado 24
2.2.14. Determinación cuantitativa de la eficiencia de microencapsulación 24
2.2.15. Determinación cualitativa de la eficiencia por Espectrofotometría Infrarroja 25
2.2.16. Evaluación de la capacidad antioxidante del extracto microencapsulado mediante DPPH 25
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 27
3.1. Perfil fisicoquímico inicial 27
3.2. Determinación de los parámetros óptimos para la extracción de antocianinas 28
3.2.1. Análisis estadístico de los factores de extracción de antocianinas 30
3.3. Determinación de los parámetros óptimos para la extracción de polifenoles 34
3.3.1. Análisis estadístico de los factores de extracción de polifenoles 36
3.4. Microencapsulado de antocianinas y polifenoles 40
3.3.5 Eficiencia de microencapsulado (%EE) 41
3.5.1. Eficiencia cuantitativa del microencapsulado 41
3.5.2. Eficiencia cualitativa del microencapsulado mediante espectrofotometría Infrarroja .. 42
3.6. Evaluación de la actividad antioxidante del microencapsulado 44
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 46
4.1. Conclusiones 46
4.2. Recomendaciones 47
MATERIALES DE REFERENCIA 48
Referencias Bibliográficas 48
ANEXOS 60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Origen de la papa clon 12-4-35 4
Tabla 2. Características agronómicas de la papa clon 12-4-35..... 4
Tabla 3. Reactivos, materiales y equipos para la ejecución del Proyecto de investigación. .. 15
Tabla 4. Variables experimentales para la extracción de compuestos bioactivos. 19
Tabla 5. Niveles experimentales evaluados mediante el diseño factorial 22. 19
Tabla 6. Tratamientos para la optimización de la extracción de compuestos bioactivos. 20
Tabla 7. Características fisicoquímicas de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35. ... 27
Tabla 8. Concentración de antocianinas de cada tratamiento. 28
Tabla 9. Comparación de medias de la concentración de antocianinas mediante la prueba de Tukey. 33
Tabla 10. Optimización de respuesta para la concentración de antocianinas. 34
Tabla 11. Concentración de polifenoles de cada tratamiento. 35
Tabla 12. Comparación de medias de la concentración de polifenoles mediante la prueba de Tukey. 39
Tabla 13. Optimización de respuesta para la concentración de polifenoles. 39
Tabla 14. Eficiencia de microencapsulación de la papa clon 12-4-35. 41
Tabla 15. Actividad antioxidante del microencapsulado de la papa clon 12-4-35. 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Papa clon 12-4-35 4
Figura 2. Clasificación de los polifenoles 8
Figura 3. Mecanismo de secado por aspersión 13
Figura 4. Resultados del análisis estadístico del diseño factorial 22 con los parámetros optimizados para la extracción de antocianinas de la papa clon 12-4-35. 31
Figura 5. Resultados del análisis estadístico del diseño factorial 22 con los parámetros optimizados para la extracción de polifenoles de la papa clon 12-4-35. 37
Figura 6. Comparación del espectro infrarrojo de la maltodextrina, no microencapsulado y microencapsulado de la papa clon 12-4-35. 43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección de papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35. 60
Anexo 2. Preparación de la papa (Solanum tuberosum L.) clon12-4-35. 60
Anexo 3. Análisis de pH, acidez y sólidos solubles. 61
Anexo 4. Análisis de ANOVA para antocianinas. 61
Anexo 5. Análisis de AVOVA para polifenoles. 61
Anexo 6. Proceso de extracción, microencapsulación y eficiencia de la microencapsulación de los compuestos bioactivos de la papa. 62
Anexo 7. Curva de calibración de Ácido Gálico. 63
Anexo 8. Curva de calibración de Trolox. 63
Anexo 9. Análisis de la actividad antioxidante del microencapsulado de la papa (Solanum tuberosum L.) clon 12-4-35. 64

RESUMEN EJECUTIVO

La pérdida de la biodiversidad y el desaprovechamiento de cultivos nativos frente a la papa comercial es desvalorizada, pese al valor nutricional de las papas de pulpas con tonalidades moradas o rojas, esto limitando el desarrollo de alternativas naturales con capacidad antioxidante. En este contexto la papa (*Solanum tuberosum* L.) clon 12-4-35, caracterizada por su cáscara y pulpa pigmentada, representa una alternativa potencial debido a su contenido de antocianinas y polifenoles. La finalidad de la presente investigación fue evaluar la capacidad antioxidante del extracto de la papa clon 12-4-35. Para ello, se optimizó la extracción de los compuestos bioactivos mediante un diseño factorial, evaluando diferentes relaciones sólido: solvente y tiempos de extracción, las condiciones de mayor rendimiento corresponden a una relación 1:20 por 60 minutos, con lo cual se obtuvo una concentración de antocianinas de 90,16 miligramos de cianidina 3 glucósido por cien gramos y de polifenoles 697,55 miligramos equivalente al ácido gálico por cien gramos. Posteriormente, el extracto fue microencapsulado mediante secado por aspersión, utilizando maltodextrina como agente microencapsulante, alcanzando una eficiencia de microencapsulación del 67,16 por ciento y mediante el análisis de espectroscopia infrarroja (FTIR) se evidenció bandas características asociadas a estructuras de las antocianinas. Finalmente, la capacidad antioxidante del microencapsulado se determinó mediante la técnica DPPH, obteniendo un valor de 9,91 micromol equivalente de trolox por gramo. Esta investigación contribuye con información científica en el ámbito de la microencapsulación de compuestos bioactivos que son de interés en la industria alimentaria.

PALABRAS CLAVE: papa clon 12-4-35, compuestos bioactivos, microencapsulación, secado por aspersión, actividad antioxidante.

ABSTRACT

The loss of biodiversity and the underutilization of native crops in favor of commercial potatoes are undervalued, despite the nutritional value of potatoes with purple or red flesh, thereby limiting the development of natural alternatives with antioxidant capacity. In this context, the potato (Solanum tuberosum L.) clone 12-4-35, characterized by its pigmented skin and flesh, represents a potential alternative due to its anthocyanin and polyphenol content. The purpose of this research was to evaluate the antioxidant capacity of the extract from potato clone 12-4-35. To achieve this, the extraction of bioactive compounds was optimized using a factorial design, evaluating different sample-to-solvent ratios and extraction times. The highest-yield conditions corresponded to a 1:20 ratio for 60 minutes, yielding an anthocyanin concentration of 90,16 milligram of cyanidin-3-glucoside per one hundred grams and a polyphenol concentration of 697,55 milligram of gallic acid equivalent per one hundred grams. Subsequently, the extract was microencapsulated via spray drying using maltodextrin as the microencapsulating agent, achieving a microencapsulation efficiency of 67,17 percent. Furthermore, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis revealed characteristic bands associated with anthocyanin structures. Finally, the antioxidant capacity of the microencapsulated powder was determined using the DPPH technique, obtaining a value of 9,91 micromole of Trolox equivalent per gram. This research contributes scientific information to the field of microencapsulation of bioactive compounds, which are of great interest to the food industry.

KEY WORDS: potato clone 12-4-35, bioactive compounds, microencapsulation, spray drying, antioxidant activity.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Justificación

Los tubérculos andinos constituyen un alimento básico en la dieta de las diversas regiones del Ecuador. Dentro de estos, la papa (*Solanum tuberosum* L.) ocupa el séptimo lugar en la producción nacional, con aproximadamente 36 mil hectáreas cultivadas en 12 provincias (Cuichán et al., 2014). Pese a su éxito comercial, la demanda actual se concentra en pocas variedades, desplazando a especies nativas conservadas por milenios que hoy enfrentan el riesgo de extinción (Monteros & Pallo, 2009). Esta pérdida de biodiversidad afecta especialmente a las papas de pulpa colorida, cuyas tonalidades moradas o azules son producto de una alta concentración de antocianinas presentes tanto en su piel como en la pulpa (Coultate, 1984).

La papa clon 12-4-35 proviene del pedigrí HSO 198 (Chaucha amarilla) x Leona negra. Esta presenta una pulpa de color negro intenso con un borde blanco diferenciado y su corteza es bicolor (negro con blanco), lo cual indica un alto contenido de antocianinas y polifenoles. Al respecto, Lachman & Hamouz (2005) señalan que las variedades con pigmentación morada o roja poseen una capacidad antioxidante hasta tres veces superior a las variedades blancas o amarillas. No obstante, Castañeda et al. (2009) advierten que la inestabilidad de estos extractos es un inconveniente para su uso práctico, ya que son altamente sensibles a factores como la luz, el pH, la temperatura y el oxígeno, los cuales tienden a degradarlos, afectando su eficacia y vida útil en productos funcionales.

Ante estas limitaciones, surge la necesidad de conservar las propiedades bioactivas del extracto del clon de papa nativa 12-4-35. En este contexto, Rocha et al. (2023) destacan la microencapsulación mediante secado por aspersión como una alternativa eficaz para proteger los compuestos polifenólicos y mejorar su estabilidad fisicoquímica. Asimismo, Flores et al. (2023) demostraron que este método permite obtener microcápsulas estables con una alta retención de antocianinas, facilitando su incorporación en la industria alimentaria. Sin embargo, Faraj et al. (2024), señalan que existe limitada evidencia científica sobre cómo las variables del proceso, el material de pared, la temperatura de entrada y el rendimiento del secado afectan directamente la capacidad antioxidante final del extracto.

La falta de conocimiento científico dificulta determinar la funcionalidad y la aplicabilidad industrial del clon de papa nativa 12-4-35 una vez microencapsulada. Por ello, resulta imprescindible realizar un estudio que evalúe la capacidad antioxidante del extracto obtenido mediante secado por aspersión, determinando tanto su estabilidad como la eficiencia del proceso. Dicha investigación se justifica por el valor nutricional, tecnológico y socioeconómico de este genotipo, así como por la necesidad de preservar sus antioxidantes mediante técnicas de conservación adecuadas.

1.1.2. Papas nativas

Las papas nativas heredadas de antiguos habitantes de los Andes, son el resultado de un proceso de selección, domesticación y preservación ancestral. En Ecuador, existen aproximadamente 350 variedades de papas nativas que se cultivan en pequeñas parcelas sobre los 3000 m s.n.m., donde se evita el uso de fertilizantes y pesticidas (Guerrero et al., 2015). Las variedades nativas se encuentran en peligro de extinción, especialmente aquellas de pulpa de colores, debido a que los consumidores urbanos desconocen sus beneficios nutricionales y a la falta de oportunidades en el mercado actual (Monteros-Guerrero, 2016).

El aprovechamiento de las papas nativas como un producto con alto potencial comercial se basa en su diferenciación, ofreciendo una experiencia sensorial única (color, sabor y forma) y propiedades nutricionales superiores; teniendo una estrategia ideal para competir en los mercados modernos (Reinoso & Thiele, 2005). Asimismo, Naraikina (2025) destaca que las papas nativas son valoradas por científicos y agricultores tanto por sus propiedades organolépticas, como su valor nutricional y agrícola, debido a que son resistentes a sequías y, además, sirven para la creación de nuevas variedades mejoradas.

1.1.3. Importancia de las papas nativas

Las papas presentan un valor nutricional significativo para el bienestar del consumidor; sin embargo, este beneficio está sujeto a múltiples factores como el tipo de suelo, la madurez del tubérculo, las condiciones ambientales, el almacenamiento y las técnicas de cultivo, los cuales determinan la concentración de compuestos químicos beneficiosos (Oviedo, 2005).

En general, los tubérculos de la papa son mundialmente reconocidos por su alto contenido de almidón y su papel como fuente energética vital, las variedades nativas trascienden este rol convencional para posicionarse como alimentos de una complejidad nutricional superior

(Dome et al., 2020). Monteros et al. (2011) señalan que gracias a su mayor contenido de sólidos y a la presencia de pigmentos naturales con propiedades antioxidantes (como carotenoides, flavonoides y antocianinas), estas se convierten en opciones nutricionalmente más completas y con un sabor distintivo.

1.1.4. Usos de las papas nativas

Las poblaciones preincaicas, además de emplear la papa como fuente de alimentación, le atribuían diferentes usos adicionales. En el ámbito medicinal, se aplicaba de forma cruda para sanar huesos rotos y para prevenir el reumatismo; o bien, se consumía mezclada con otros alimentos para mejorar la digestión. Asimismo, como el tubérculo cumplía una función cronológica, pues su ciclo de cultivo servía como unidad para medir el tiempo (Pallo-Paredes et al., 2021).

La papa es un alimento muy versátil, consumido tanto de forma fresca como procesada. Según Tene (2018), señala que su procesamiento genera una amplia gama de derivados, desde productos de consumo directo, como chips, purés, prefritos congelados y papas deshidratadas, hasta insumos industriales, entre los que destacan la harina, el almidón y las dextrinas.

Más allá de su uso como alimento, la papa posee aplicaciones diversas que abarcan la medicina y la industria debido a su perfil nutricional. Según Adams (2012), este tubérculo contiene antioxidantes y vitaminas que actúan contra el deterioro celular. Asimismo, Bustillos-Siñani et al. (2018) destacan que la cáscara es una fuente importante de vitamina C; además, la presencia de fibra y almidón en el tubérculo ayuda a la salud digestiva y contribuye a prevenir problemas de colesterol.

1.1.5. Conservación de las papas nativas

Las papas nativas enfrentan una amenaza de extinción debido al desplazamiento por variedades más productivas y a un acceso limitado al mercado. Para revertir esta situación, el INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) bajo el Programa Nacional de Raíces y Tubérculos (PNRT) y el Centro Internacional de la Papa (CIP), se han propuesto rescatar este recurso mediante el fortalecimiento de cadenas de valor. Asimismo, con la colaboración de empresas privadas se han desarrollado productos innovadores, como las hojuelas de papas de colores, diferenciándose de los snacks convencionales (Monteros & Reinoso, 2010).

1.1.6. Origen de papa clon 12-4-35

Figura 1. *Papa clon 12-4-35*

Tabla 1. *Origen de la papa clon 12-4-35*

Genotipo	Pedigrí
12-4-35	HSO 198 (Chaucha amarilla) x Leona negra

Nota: Información obtenida de Garófalo (2005).

1.1.7. Características de la papa clon 12-4-35

La papa clon 12-4-35, se cultiva en la comunidad de Andahualo, parroquia San Andrés del cantón Píllaro. Este tubérculo presenta una forma oblonga (redonda alargada) con ojos poco profundos; su corteza es bicolor (negra con blanco) y posee una pulpa de color negro intenso con un borde blanco bien definido (Pallo-Paredes et al., 2021). En cuanto a sus propiedades, destaca por un contenido de materia seca del 22,01%, azúcares reductores de 0,15% y un alto rendimiento. Además, se adapta favorablemente a suelos arcillosos profundos y muestra resistencia media a la enfermedad lancha o tizón tardío (Garófalo, 2005).

1.1.8. Características agronómicas de la papa clon 12-4-35

Tabla 2. Características agronómicas de la papa clon 12-4-35.

Variable	Descripción
Días de floración	55 - 75
Días de cosecha	150
Hábito de crecimiento	Semi recto
Resistencia a la lancha	Medianamente
Vigor de la planta	Vigorosa
Cobertura de la planta	Coposa

Altura de la planta (m)	1.20 – 1.50
Número de tubérculos por planta	20 -25
Tipo de brotación	Múltiple
% Tubérculo grueso	60
% Tubérculo mediano	30
% Tubérculo fino	10

Nota: Información obtenida de Montesdeoca, comunicación personal (2026).

1.1.9. Alimentos funcionales

En términos generales, se define a los alimentos funcionales como aquellos que ofrecen beneficios agregados para la salud más allá de su valor nutritivo primordial. Por consiguiente, estos productos incorporan ingredientes con la capacidad de producir efectos positivos en el organismo frente a diversas afecciones, ya que no solo buscan optimizar sus propiedades nutricionales y sensoriales, sino también aportar compuestos bioactivos que favorezcan al bienestar integral del consumidor (Zapata, 2020). Estos alimentos se desarrollan mediante la integración de compuestos bioactivos como: probióticos, prebióticos, compuestos fenólicos, vitaminas o lípidos en matrices alimentarias específicas (Arias et al., 2018).

Asimismo, la diversidad de especies vegetales permite realizar estudios de compuestos bioactivos para evaluar el potencial funcional de materias primas usadas como alimentos. Estos componentes pueden ser integrados de manera natural, modificados o mejorados, con el objetivo de promover beneficios para la salud (Vieira da Silva et al., 2016). Para sustentar los beneficios de los alimentos funcionales al ser consumidos, la ciencia emplea indicadores que miden sus efectos en el organismo. Schneeman (2002) menciona la importancia de analizar los cambios en la flora intestinal y el sistema inmune; por otro lado, Rafter (2002) enfatiza que el valor preventivo de estos alimentos debe medirse por su capacidad para minimizar factores de riesgo específicos en enfermedades como la osteoporosis y el cáncer.

1.1.10. Alimentos ricos en antioxidantes

En concordancia con lo descrito por Bisbal et al. (2020), muchos alimentos contienen altos niveles de antioxidantes; entre ellos destacan frutas y hortalizas de colores variados, como los arándanos o los tomates, cuyas propiedades contribuyen a minimizar el daño celular y el estrés oxidativo ocasionado por los radicales libres. Como expresa Parcheta et al. (2021), estos compuestos naturales abarcan desde nutrientes tradicionales, como las vitaminas A, C y E,

hasta una amplia gama de fitoquímicos de alta relevancia funcional. Entre estos últimos destacan los polifenoles (como ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y ligninas), así como los carotenoides, tocoferoles, tocotrienoles y ciertos aminoácidos y péptidos. En consecuencia, su presencia es común en una gran variedad de especies vegetales, notándose especialmente en semillas oleaginosas, en una extensa gama de cereales, plantas aromáticas y especies frutales.

Entre estas fuentes nutricionales, la papa (*Solanum tuberosum* L.), se posiciona como uno de los aportes más significativos en la dieta humana; de hecho, en diversas regiones, su contribución de polifenoles solo es superada por el consumo de tomate (Lachman & Hamouz, 2005). Los principales antioxidantes presentes en el tubérculo son: polifenoles, carotenoides, tocoferoles, ácido ascórbico y selenio, los cuales han demostrado ser eficaces para inhibir la acumulación de colesterol y fortalecer de las paredes vasculares. Esto reduce el riesgo de padecer enfermedades coronarias y otros trastornos metabólicos relacionados con el estrés oxidativo (Gulcin, 2020).

1.1.11. Antioxidantes

En términos generales, los antioxidantes son compuestos capaces de retardar o inhibir los procesos de oxidación celular. Su ingesta a través de una dieta balanceada contribuye a la salud metabólica, dado que diversas matrices vegetales, como frutas, verduras y hierbas, destacan por su densidad en compuestos bioactivos, incluidos fenoles como el ácido gálico (Dumanovic et al., 2021). Estos compuestos se utilizan ampliamente en productos alimenticios para mitigar el estrés oxidativo, el cual se define como el desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad de defensa del organismo, lo que previene el desarrollo de enfermedades crónicas - degenerativas. (Fuentes et al., 2015).

El sistema de defensa biológico contra el daño oxidativo se clasifica en dos grupos principales. El primero comprende los antioxidantes endógenos o enzimáticos, que constituyen la defensa natural sintetizada por el propio organismo. Estas enzimas actúan sinérgicamente para transformar sustancias tóxicas en elementos inofensivos; sin embargo, cuando existe un exceso de toxinas, el cuerpo no puede neutralizarlas en su totalidad, lo que provoca la formación de moléculas altamente reactivas llamadas radicales libres (Sinopoli et al., 2019). El más perjudicial es el radical hidroxilo, que actúa como un agente corrosivo capaz de deformar y

atacar las partes vitales de las células, así como a las proteínas, grasa e incluso el ADN (Benítez-Estrada et al., 2020).

El segundo lo conforman los antioxidantes exógenos, que son fundamentales cuando el primer sistema se satura. Estos están formados por sustancias obtenidas principalmente a través de la alimentación, conocidas como depuradores, que permiten neutralizar a los radicales libres antes de que ocasionen daños. En este grupo se encuentran las vitaminas C y E, además de compuestos naturales de las frutas y verduras, como los flavonoides y carotenoides. En conjunto, estos elementos protegen el organismo evitando la generación y propagación de los radicales libres (Zamora, 2007).

1.1.12. Estrés oxidativo

El estrés oxidativo ocurre cuando la concentración de radicales libres supera la capacidad de respuesta del sistema antioxidante del organismo, lo que produce severos daños celulares. El estrés oxidativo es el principal causante del deterioro celular, debido a que los radicales libres tienen la capacidad de reaccionar en milisegundos con biomoléculas como lípidos, proteínas y el ADN (Donaldson, 1996). Estas reacciones químicas generan lesiones irreparables, que pueden derivar en daños en el tejido y, eventualmente, en la muerte celular (Chaudhary et al., 2023).

El deterioro celular ocasionado por el estrés oxidativo es responsable de la aparición de varias enfermedades crónico-degenerativas, relacionadas directa o indirectamente con la exposición a los radicales libres. Algunos ejemplos de estas enfermedades son: Alzheimer, Parkinson, hipertensión, diabetes mellitus, diversos tipos de cáncer, artritis reumatoide, así como daños en la salud visual, renal y pulmonar. Además, este proceso acelera el envejecimiento celular, la aparición de arrugas y la dermatitis (Delgado et al., 2010).

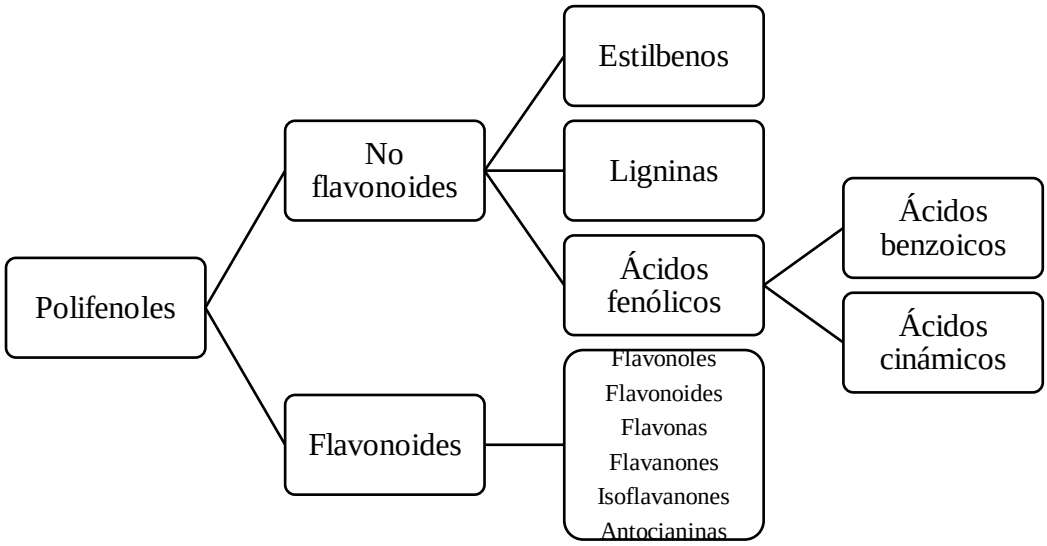
El daño oxidativo se puede prevenir mediante moléculas antioxidantes, las cuales estabilizan los radicales libres y contrarrestan sus efectos dañinos al donar electrones. Estas defensas se clasifican en endógenas (producidas por el propio organismo) y exógenas (obtenidas de fuentes externas) (Delgado et al., 2010). No obstante, factores como el tabaquismo, la radiación UV, la contaminación y una mala alimentación pueden saturar el sistema defensivo, lo que impide neutralizar los radicales libres. Por tal razón, una dieta saludable rica en proteínas y antioxidantes, complementada con actividad física, fortalece las defensas del organismo y mitiga los daños por el estrés oxidativo (González de Mejía et al., 2021).

1.1.13. Polifenoles

De acuerdo con Castro et al. (2016), los polifenoles (PF) representan una extensa familia de metabolitos secundarios de origen vegetal, caracterizados por una estructura química que contiene uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a anillos aromáticos. Estos grupos actúan como donantes de átomos de hidrógeno, lo que permite neutralizar especies reactivas de oxígeno y nitrógeno mediante reacciones de terminación, lo que impide la propagación de nuevas especies radicales.

Además, estos compuestos poseen la capacidad de quelar metales e inhiben su participación en los procesos catalíticos que generan radicales libres. Debido a estas propiedades, los polifenoles han cobrado una relevancia científica notable, destacando por su capacidad para elevar el valor funcional de la dieta. Los PF se dividen en cinco familias principales: flavonoides, ácidos fenólicos, lignanos, estilbenos y otros polifenoles, las cuales abarcan diversos subtipos funcionales (Jin et al., 2022).

Figura 2. *Clasificación de los polifenoles*



Nota: Adoptado de Huerta et al. (2022).

Aunque los polifenoles no se consideran esenciales para el funcionamiento básico del cuerpo, actúan como agentes bioactivos cruciales con efectos protectores en sistemas orgánicos. Estos compuestos presentan una actividad antioxidante, así como propiedades antiinflamatorias, quimioprotectoras y neuroprotectoras demostradas tanto *in vivo* como *in vitro*. De esta manera, su aporte a la salud humana es significativo, considerando que sus principales fuentes dietéticas

incluyen frutas, verduras y bebidas derivadas de plantas como el té, café, vino tinto y jugos de frutas, así como el chocolate, semillas, frutos secos y cereales integrales (Huerta et al., 2022).

La pigmentación de la piel y pulpa de la papa está determinada por la concentración de compuestos fenólicos, específicamente de antocianinas. El principal ácido fenólico que se encuentra en las papas es el ácido clorogénico, el cual representa aproximadamente el 80% del contenido fenólico total; el porcentaje restante está compuesto por ácido cafeico, ácido cinámico y ácido ferúlico, los cuales se encuentran en menores concentraciones (Burgos et al., 2013). Por otro lado, el color de la piel o pulpa puede estar parcial o completamente pigmentado: las antocianinas varían según el color. Las variedades de color rojo tienen mayoritariamente glucósidos acilados de pelargonidina y las de color morado integran además glucósidos de malvidina, petunidina, peonidina y delfinidina (Villanueva-Tiburcio et al., 2023).

1.1.13.1. Beneficios de los polifenoles

Los polifenoles actúan como agentes protectores del organismo, cuya función principal es mitigar el daño celular provocado por el estrés oxidativo. Aunque este proceso ocurre de forma natural, su falta de control puede dañar los tejidos; por ello, los polifenoles neutralizan las sustancias oxidantes y la inflamación interna, lo que contribuye a prevenir patologías crónicas a largo plazo. En cuanto al metabolismo y el sistema cardiovascular, estos compuestos preservan la flexibilidad y resistencia de las arterias, lo cual favorece la circulación sanguínea y la reducción de la presión arterial. Asimismo, facilitan la gestión eficiente de la glucosa, reduciendo el riesgo de desarrollar diabetes o problemas de sobrepeso (Ciupei et al., 2024).

Adicionalmente, los polifenoles contribuyen a la prevención de enfermedades degenerativas y protegen órganos vitales como el cerebro, donde preservan la integridad de las neuronas para asegurar el correcto funcionamiento de la memoria y el aprendizaje a largo plazo. En relación con la prevención del cáncer, estos compuestos actúan inhibiendo la proliferación de células cancerígenas o la angiogénesis necesaria para la formación de tumores. Sin embargo, debido a su alta sensibilidad, se degradan fácilmente por la exposición a la luz, al calor o a los ácidos del estómago. Asimismo, su rápida absorción resulta en la expulsión por la orina antes de que puedan ejercer beneficios en los órganos. Por tal razón, resulta fundamental emplear la técnica de microencapsulación, la cual recubre estos compuestos asegurando que mantengan su integridad y alcancen de forma efectiva el interior de nuestro cuerpo (Amondarain et al., 2013).

1.1.14. Antocianinas

Las antocianinas pertenecen a la familia de los flavonoides. Se encuentran en diversas estructuras, como flores y frutos en mayor concentración, aunque también pueden estar presentes en granos, hojas y tallos, brindándoles pigmentaciones rojas, púrpuras y azules. Estructuralmente, son glucósidos de antocianidinas, lo que significa que están formadas por una antocianidina unida a uno o varios azúcares (como glucosa o galactosa); esta unión permite que sean más estables e hidrosolubles. Actualmente, su aplicación como colorantes naturales ha ganado relevancia en la industria alimentaria debido a la creciente preocupación por la salud pública y el rechazo a los pigmentos sintéticos, los cuales han sido restringidos en diversos países por su asociación con trastornos de hiperactividad y afecciones neuronales. En este contexto, Estados Unidos mantiene un control riguroso, permitiendo el uso de colorantes de fuentes específicas como el rábano, el repollo morado o la uva (Garzón, 2008).

No obstante, la estabilidad de las antocianinas es un desafío en la industria debido a su alta sensibilidad frente a factores críticos como la temperatura, el pH y el entorno químico. El nivel de acidez es un factor crucial, ya que estas moléculas son estables y presentan un color rojo intenso solo en ambientes muy ácidos, volviéndose incoloras o degradándose rápidamente al acercarse a la neutralidad. Asimismo, las altas temperaturas rompen su estructura, mientras que la exposición al oxígeno acelera su oxidación. Finalmente, aunque una alta concentración de pigmentos puede ayudar a que se protejan entre sí, la presencia de agua libre facilita su deterioro; esto justifica la utilización de tecnologías como la microencapsulación para aislarlas de agentes externos y prolongar su vida útil (Garzón, 2008).

1.1.14.1. Beneficios de las antocianinas

Se ha determinado que el consumo de antocianinas ofrece beneficios para la salud, particularmente en la prevención de enfermedades vinculadas al estrés oxidativo, tales como enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares. Dentro de las funciones metabólicas de los flavonoides, destacan las antocianinas por su capacidad para optimizar la función endotelial y reducir la presión arterial. Al respecto, investigaciones sobre el consumo de papas moradas cocidas (con un aporte de 288 mg de antocianinas) demuestran una reducción significativa en la rigidez arterial. Este efecto es crucial, ya que mejora la elasticidad de los vasos sanguíneos, previniendo el daño sistémico en órganos y reduciendo el riesgo de insuficiencia renal o accidentes vasculares (Tsang, 2018).

En el ámbito metabólico, las antocianinas actúan como agentes antiinflamatorios de gran utilidad para personas con diabetes o trastornos inflamatorios crónicos, favoreciendo el control glucémico y mitigando la inflamación sistémica. Asimismo, su ingesta se asocia con mejoras en la agudeza visual, al proteger los tejidos oculares del desgaste oxidativo inducido por la luz o el envejecimiento, manteniendo la integridad de las estructuras frente a factores ambientales (Miyazawa, 1999).

Por otra parte, se ha demostrado que las antocianinas poseen efectos antitumorales mediante la inhibición de la proliferación de células cancerígenas, específicamente en órganos como el colon y el estómago, al intervenir en las distintas etapas del desarrollo de la enfermedad. Finalmente, el impacto de estos flavonoides se extiende al sistema nervioso, donde ejercen un rol neuroprotector fundamental al resguardar las neuronas del daño oxidativo. Diversos estudios sugieren que la suplementación con extractos ricos en antocianinas puede revertir déficits de memoria y actuar como un factor preventivo frente al deterioro cognitivo, disminuyendo así el riesgo de padecer enfermedades como el Alzheimer y el Parkinson (Aguilera-Ortiz et al., 2011).

1.1.15. Microencapsulación

Esta técnica permite recubrir o encerrar partículas pequeñas de compuestos bioactivos y nutrientes dentro de una película polimérica, transformando sustancias líquidas en formas sólidas. Además de conferir nuevas propiedades, mejora la estabilidad de ingredientes sensibles como minerales, vitaminas, enzimas, aceites esenciales y compuestos bioactivos, protegiéndolos durante el almacenamiento, procesamiento y consumo (Suárez Diéguez et al., 2019). En un mercado global con una demanda creciente de alimentos funcionales y nutricionales, la microencapsulación permite satisfacer las altas expectativas del consumidor actual (Esquivel et al., 2015).

De acuerdo con su morfología y estructura interna, las micropartículas obtenidas mediante esta técnica se clasifican en: microcápsulas y microesferas. Las microcápsulas son sistemas heterogéneos que constan de un núcleo, que contiene la sustancia de interés y está rodeado por una capa delgada de polímero. Por el contrario, las microesferas representan sistemas matriciales en los cuales el principio activo se encuentra distribuido de forma homogénea, ya sea disuelto o suspendido, dentro de la red del polímero encapsulante (Zárate et al., 2021).

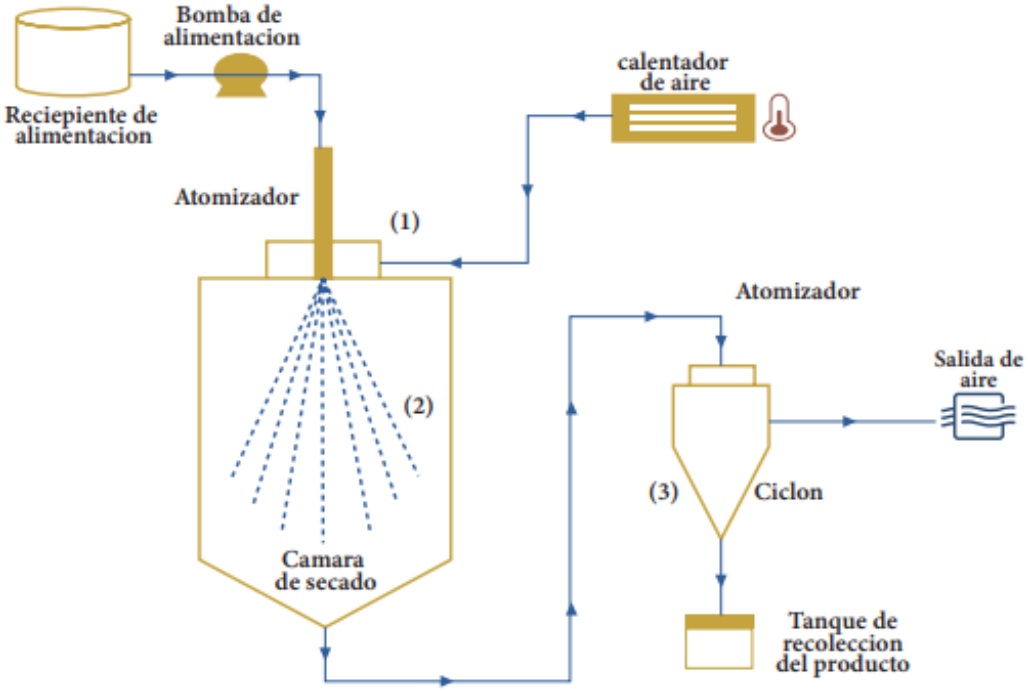
Entre los beneficios más destacados de la microencapsulación se encuentran la preservación de la integridad y funcionalidad de los compuestos bioactivos frente a factores ambientales adversos, tales como la exposición al calor, las variaciones de pH, la luz y el oxígeno. Asimismo, esta técnica tiene la capacidad de enmascarar sabores u olores y también facilita la liberación programada, controlada y específica del compuesto en el organismo; esto optimiza su biodisponibilidad como sucede con la liberación intestinal de nutracéuticos y contribuye a prolongar la vida útil de los productos (Granados-Conde et al., 2019; Garzón, 2023).

1.1.16. Secado por aspersión

El secado por aspersión es una técnica ampliamente utilizada en el campo de la microencapsulación de compuestos bioactivos, fundamentada en su capacidad para transformar mezclas líquidas ya sean soluciones, emulsiones o suspensiones en polvos finos. En la actualidad, este proceso constituye el estándar industrial predominante debido a su bajo costo, simplicidad operativa y elevado rendimiento. Además, destaca por su excelente escalabilidad industrial y su capacidad de generar micropartículas de alta calidad, así como por su versatilidad al emplear diversos materiales de pared y su eficiencia en la protección de compuestos lábiles, tales como proteínas y microorganismos (Tangarife et al., 2021).

El proceso de microencapsulación mediante la técnica de secado por aspersión se basa en tres pasos fundamentales (Figura 2). La etapa inicial es la atomización, donde la mezcla del metabolito y el polímero se dispersa en gotas finas. En la segunda etapa, las gotas entran en contacto con el aire caliente, iniciando la fase de secado; aquí, la temperatura de entrada oscila entre 150 y 200 °C, mientras que la de salida se mantiene entre 50 y 80 °C. Por último, en la etapa de recolección, la eliminación de la humedad ocurre cuando el agua sale del producto hacia el aire por diferencia de presión y el calor entra al producto por la diferencia de temperaturas. El secado concluye cuando el polvo y el aire alcanzan la misma temperatura; finalmente, las partículas se separan del aire húmedo mediante un ciclón para obtener el polvo final en el tanque de recolección (Corrêa et al., 2019).

Figura 3. Mecanismo de secado por aspersión



Nota: La figura representa el proceso de secado por aspersión siendo: (1) Atomización, (2) Conversión de gota a partícula y (3) Recolección del producto. Tomado de *Microencapsulación por secado por aspersión: Revolucionando la industria* (p.36), por O. López et al., 2024, Unach.

1.1.17. Sustancias utilizadas en el recubrimiento en la microencapsulación

La microencapsulación es un proceso que suele utilizar materiales de recubrimiento de diversas naturalezas como los polisacáridos; algunos ejemplos de estos son la goma arábiga, maltodextrina, los alginatos, agar, pectina o el chitosán. Asimismo, se emplean proteínas creadas por medio de suero de leche, soja, caseína o gelatina y, en ocasiones, se utilizan mezclas híbridas con lípidos o polímeros semisintéticos (Huertas, 2010). De acuerdo con lo señalado por Gharsallaoui (2007), estas sustancias son utilizadas debido a que ofrecen buenas propiedades de solubilidad, formación de película protectora, compatibilidad con los compuestos activos y estabilidad durante el almacenamiento, factores clave para preservar la integridad del núcleo microencapsulado.

La maltodextrina como material de pared es muy utilizado debido a su alta solubildad en agua y a su baja viscosidad, siendo este ultimo importante para el secado por aspersion, permitiendo fluir sin taponar las boquillas del equipo. Tambien es capaz de formar una matriz sólida alrededor de los compuestos bioactivos protegiendolos de la degradación y ademas soporta las temperaturas de entrada usandassin sufrir pardeamiento. Sin embargo, no puede estabilizar

componentes aceitosos, lipofílicos o valátiles antes del proceso de secado. Para mejorar las propiedades de la maltodextrina comom material de pared se sugiere combinarlo con otros polimeros como la goma Arábiga o proteinas o con otros polisacaridos como la inulina (Xiao et al., 2022).

1.1.18. Método de DPPH

Según Guija-Poma et al. (2015), el método conocido como DPPH se basa en el uso del radical libre estable 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo para establecer la capacidad antioxidante de diversos compuestos, extractos o alimentos. De esta forma, cuando entra en contacto con una sustancia con actividad antioxidante que puede ceder un electrón o un átomo de hidrógeno al radical DPPH, este experimenta una variación de color, pasando del violeta intenso a tonalidades más claras.

Este cambio cromático se mide por medio de espectrofotometría, registrando la disminución de la absorbancia, generalmente en un rango de 515 a 520 nm. Por consiguiente, esta variación permite calcular el porcentaje de radicales neutralizados, lo que facilita la estimación de la eficacia antioxidante del material evaluado. Este método es ampliamente utilizado en distintas investigaciones de alimentos debido a su facilidad de aplicación, rapidez, bajo costo y alta reproducibilidad (Vázquez-Ovando et al., 2022)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la capacidad antioxidante del extracto de la papa *(Solanum tuberosum* L*)* clon 12-4-35 microencapsulado mediante secado por aspersión y su potencial como ingrediente bioactivo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Extraer las antocianinas de la papa *(Solanum tuberosum* L*)* clon 12-4-35.
- Obtener el microencapsulado del extracto de las antocianinas de la papa *(Solanum tuberosum* L*)* clon 12-4-35 mediante secado por aspersion.
- Evaluar la capacidad antioxidante del extracto microencapsulado obtenido mediante la técnica DPPH (2,2 difenil- 1- picrilhidracilo).

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

El presente trabajo de titulación se llevó a cabo con un enfoque experimental en los laboratorios académicos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, de la Universidad Técnica de Ambato. Los reactivos, materiales y equipos empleados durante la investigación se detallan de forma sistemática en la Tabla 1.

Tabla 3. *Reactivos, materiales y equipos para la ejecución del Proyecto de investigación.*

Material	Cantidad
Material Vegetal	
Papa clon 12-4-35	2500 g
Reactivos de laboratorio	
Reactivo de Folin-Ciocalteu	5 g
DPPH	2 g
Trolox	2 g
Fenolftaleína	10 ml
Hidróxido de sodio	5 g
Carbonato de sodio 7.5%	10 g
Ácido cítrico	300 ml
Ácido gálico	10 ml
Etanol 96%	3 L
Maltodextrina	70 g
Agua Destilada	10 L
Material de laboratorio	
Balón de aforo (100 ml)	3
Vasos de precipitación (100 ml)	3
Vaso de precipitación (2000 ml)	1
Probeta plástica (100 ml)	3
Probeta de vidrio (30 ml)	
Gradilla	1
Mortero y pistilo	1
Bolsas plásticas herméticas ZIP	3

Placa de 96 posillos	1
Matraces	2
Papel aluminio	1
Papel absorbente	1
Espátula	1
Varilla de vidrio	1
Tubo falcon (50 ml)	20
Botellas ámbar (100 ml)	13
Micropipeta de 2 -50 μL y 100 – 1000 μL	2
Caja de puntas 2 -50 μL y 100 - 1000 μL	30
Equipos de laboratorio	
Deshidratador Gander Mountain CD160	1
Balanza analítica	1
Refractómetro digital	1
Potenciómetro Metter Toledo	1
Balanza de humedad Citizen MB 200	1
Molino Daewoo DCG362	1
Plancha de calentamiento de 4 posiciones	1
Agitador magnético	1
Termómetro digital	1
Espectrofotómetro DR-5000 UV-Vis. Hash	1
Espectrofotómetro Infrarrojo JASCO FT/IR-4100	1
Spray Dryer B-290 - B	1
Rotavapor IKA (RV 8 V-C)	1
Centrífuga Rotina 380	1
Licuadora	1

Fuente: (Elaboración propia, 2026)

2.2. Métodos

2.2.1 Recolección del material vegetal

La papa *(Solanum tuberosum* L.) clon 12-4-35 se adquirió en el centro de acopio de la Asociación de Productores Agrícolas del Rubro Papa "CONPAPA" (AGROPAPA), ubicada en la calle 7 tratados y Espectador, Av. 7 Tratados, perteneciente a la parroquia Montalvo, cantón Ambato, provincia de Tungurahua. La materia prima fue cultivada en la comunidad de Andahualo, en el cantón Píllaro, a una altitud de 3046 m s.n.m.; se seleccionaron tubérculos sanos, libres de gusanos y moho. Posteriormente, estos se almacenaron en fundas herméticas, protegidos de la luz y a temperatura ambiente, garantizando la integridad de las papas.

2.2.2. Preparación y deshidratado del material vegetal

Las papas *(Solanum tuberosum* L.) clon 12-4-35, seleccionadas bajo criterios de madurez y calidad, se tomaron como referencia los parámetros de la norma NTE INEN 1516:2023, considerando que este material genético tiene características análogas a las variedades nativas mencionadas en el literal (a) de la normativa. Luego, fueron sometidas a un proceso de limpieza con agua potable y agitación; este procedimiento aseguró la eliminación de impurezas superficiales y restos de tierra acumulados en las yemas axilares (ojos) de la papa. Se trabajó con el tubérculo entero para maximizar la retención de compuestos bioactivos presentes tanto en la pulpa como en la piel.

Posteriormente, las muestras se cortaron en forma de hojuelas uniformes para facilitar el deshidratado. Este proceso se realizó a 57°C durante 8 horas en un deshidratador por convección (Gander Mountain, modelo: CD160). Las hojuelas obtenidas se trituraron en un molino (Daewoo, modelo: DCG362) hasta obtener una harina de granulometría fina. Finalmente, el producto se tamizó para asegurar la homogeneidad del tamaño de partícula y se almacenó en bolsas plásticas herméticas como barrera contra la luz y la humedad, garantizando así la estabilidad de sus propiedades para su posterior uso.

2.2.3. Determinación de pH

La determinación de pH y acidez titulable se llevó en el material vegetal fresco. Se utilizó el tubérculo íntegro (pulpa y piel), triturado previamente para asegurar la homogeneidad de la muestra. Se determinó el pH siguiendo la metodología indicada en la norma, **NTE INEN-ISO 1842 (2013)**, mediante un potenciómetro digital SevenCompact de Mettler Toledo. El procedimiento consistió en la inmersión del electrodo en una solución preparada con 5 g de la

muestra y 45 mL de agua destilada, registrando los valores una vez alcanzados el equilibrio electroquímico para asegurar la consistencia y reproducibilidad de los datos (Moreno & Deaquiz, 2016).

2.2.4. Determinación de acidez titulable

Para la determinación de la acidez titulable a partir de la materia vegetal fresca, se siguió el procedimiento establecido en la norma, **NTE INEN-ISO 750 (2013)**; además, se usó un titulador potenciométrico modelo G20 – Titrator Compact de Mettler Toledo. El procedimiento inició con el acondicionamiento del electrodo mediante el lavado con agua destilada. Posteriormente, se prepararon las soluciones mediante la dilución de 5 g de muestra en 45 mL de agua destilada.

La titulación se llevó a cabo utilizando una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N. Se usaron dos gotas de fenolftaleína como indicador y se adicionó el titulante de forma controlada hasta alcanzar un pH de 8,3, registrando el volumen consumido y el pH tras cada adición. El volumen del titulante corresponde al punto de equivalencia (pH 8,1) se calculó mediante interpolación lineal.

El porcentaje de acidez se determinó mediante la fórmula siguiente:

$$\%\textbf{Acidez titulable} = \frac{A * \mathrm{B} * \mathrm{C}}{\mathrm{D}} * 100$$

Ecuación 1. Determinación de acidez titulable.

Donde:

A: Volumen de NaOH (ml) gastado en la titulación.
B: Normalidad de la solución NaOH usad en la titulación.
C: Peso miliequivalente del ácido (meq).
D: Peso en gramos de la muestra utilizada en la titulación.

(Moreno & Deaquiz, 2016).

2.2.5. Determinación de sólidos solubles del material vegetal

Los sólidos solubles se determinaron en el material vegetal fresco, siguiendo la norma **NTE INEN-ISO 2173 (2013),** mediante un refractómetro digital, modelo ATAG Pocket. El procedimiento inició con la limpieza del prisma con agua destilada; posteriormente, se colocaron de dos a tres gotas de la muestra de la papa entera triturada (o del sobrenadante

filtrado en el caso del deshidratado) sobre el lente para registrar el valor en °Brix. Para la muestra deshidratada, se aplicó la dilución previamente descrita, ajustando el valor final mediante el factor de dilución correspondiente. Con el fin de asegurar la precisión y confiabilidad de los resultados, todas las mediciones se realizaron por triplicado. (Moreno & Deaquiz, 2016).

2.2.6. Extracción de compuestos bioactivos (polifenoles y antocianinas)

La extracción de los compuestos bioactivos de la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35, se realizó mediante la metodología descrita por Llerena (2024). El proceso se inició con el material previamente deshidratado, etapa fundamental para asegurar la recuperación de los compuestos bioactivos presentes tanto en la pulpa como en la piel del tubérculo. La extracción se llevó a cabo utilizando un solvente constituido por etanol al 96% y ácido cítrico 1 N en una proporción 85:15. Esta mezcla garantiza la estabilidad de los analitos: el etanol actúa como solvente polar que maximiza la solubilidad de los polifenoles, mientras que el ácido cítrico acidifica el medio, estabilizando las antocianinas frente a la degradación.

Para la ejecución de los tratamientos, se pesaron 5 g de la muestra deshidratada y molida, los cuales se mezclaron con el solvente empleando relaciones de 1:20 y 1:30 durante periodos de 30 y 60 minutos. El efecto de estas variables se analizó mediante un diseño factorial 2^2, con la finalidad de determinar la influencia y las variaciones resultantes de la interacción entre la relación sólido-solvente y el tiempo de extracción.

Tabla 4. *Variables experimentales para la extracción de compuestos bioactivos.*

Variable independiente (Factores)	Variable dependiente (Respuestas)
Relación Sólido: solvente: 1:20 y 1:30	Concentración de sólidos
Tiempo de extracción: 30 y 60 minutos	Concentración de antocianinas/polifenoles

Nota: El disolvente empleado consiste en una mezcla de etanol 96% y ácido cítrico 1N en una proporción de 85:15. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

Tabla 5. *Niveles experimentales evaluados mediante el diseño factorial* 2^2.

Factor A (Relación sólido-disolvente)	Factor B (Tiempo)

	30 min (t_1)	**60 min (t_2)**
1:20 ($\boldsymbol{A_1}$)	A_1B_1	A_1B_2
1:30 ($\boldsymbol{A_2}$)	A_2B_1	A_2B_2

Nota: El factor A representa la relación sólido-solvente, mientras el factor B representa el tiempo de extracción. La simbología $\mathbf{A_1}$ o $\mathbf{A_2}$ define la proporción entre el material vegetal y el disolvente (etanol 96% + ác. Cítrico 1N). Finalmente, la letra B representa el tiempo y la combinación AB representa la interacción entre ambos factores. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

Tabla 6. *Tratamientos para la optimización de la extracción de compuestos bioactivos.*

Tratamientos (T)	**Factor A (Relación S:D)**	**Factor B (Tiempo)**
1	1:20	30 min
2	1:20	60 min
3	1:30	30 min
4	1:30	60 min

Nota: Todos los tratamientos se realizarán a la temperatura controlada de 78°C (punto de ebullición del etanol), bajo agitación constante. Asimismo, con el fin de asegurar la repetibilidad todos los tratamientos se realizarán por triplicado. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

Siguiendo el procedimiento de Llerena (2024), los tratamientos se sometieron a calentamiento hasta alcanzar la temperatura de ebullición del solvente (78 °C), bajo agitación magnética constante a una velocidad de 5000 rpm en una plancha de calentamiento magnética. Una vez cumplido el tiempo de extracción programado, las muestras se trasvasaron a tubos de 50 mL, para su centrifugación a 4000 rpm durante 15 min. Posteriormente, se recuperó el sobrenadante de cada tratamiento para los análisis de cuantificación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Con el fin de evitar la degradación y garantizar la estabilidad de los analitos, los extractos obtenidos se almacenaron en frascos de vidrio ámbar bajo refrigeración a 4 °C.

2.2.7. Determinación de antocianinas del extracto de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35.

Obtenidos los extractos de la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35, se procedió a la cuantificación de antocianinas siguiendo la metodología de Abdel-Aal (1999), Para ello se empleó un espectrofotómetro UV-Vis, el cual permite medir la intensidad de la luz absorbida (absorbancia) de la muestra a una longitud de 535 nm, valor que corresponde al máximo de

absorción de las antocianinas en medio ácido. Finalmente, con los resultados obtenidos, se calculó la concentración aplicando la siguiente ecuación:

$$C\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{A * MW * DF * 1000}{\varepsilon * 1}$$

Ecuación 2. Concentración de antocianinas

Donde:

C: la concentración de antocianinas expresadas en mg/L.
A: la absorbancia del material vegetal más el disolvente.
MW: peso molecular de la malvidina -3-o-glucósido.
DF: factor de dilución.
$\boldsymbol{\varepsilon}$**:** la absortividad molar de la malvidina -3-o-glucósido.

(Llerena, 2024)

2.2.8. Determinación de polifenoles totales de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35

Como parámetro complementario de caracterización y con el objetivo de sustentar la estabilidad de la matriz antioxidante de la papa, se determinó el contenido de polifenoles totales. La determinación del contenido total de polifenoles de los extractos de la papa clon 12-4-35 se realizó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, el cual se basa en la reducción de los ácidos fosfotúngstico y fosfomolíbdico en medio alcalino, siguiendo las pautas metodológicas de Fernández et al. (2021).

Para la cuantificación de polifenoles totales, se utilizó una microplaca de 96 pocillos. En cada pocillo se pipetearon 20 μL del extracto de la muestra y se adicionaron 100 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1N); la mezcla se dejó en reposo durante 5 minutos a una temperatura ambiente (20-25 °C) para permitir la reacción inicial. Posteriormente, se añadió 75 μL de carbonato de sodio al 7,5%, alcanzando un volumen final de 200 μL por pocillo.

La microplaca se incubó en condiciones de oscuridad durante 2 horas con la finalidad de que la reacción colorimétrica se estabilizara por completo. Transcurrido este tiempo, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis a una longitud de onda de 765 nm. Todas las mediciones se realizaron por triplicado para asegurar la reproducibilidad de los resultados

(Vasco et al., 2009). Finalmente, mediante la ecuación de la curva de calibración del ácido gálico, se determinó el contenido de polifenoles expresado como ácido gálico.

El contenido de polifenoles totales será expresado en mg de ácido gálico por g de papa, utilizando la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{mg\ GAE/g = \frac{GAE * V}{W}}$$

Ecuación 3. Determinación de contenido fenólico total

Donde:

$\boldsymbol{mg\ GAE/g}$**:** miligramos de GAE por cada gramo extraído seco
$\boldsymbol{GAE}$**:** masa de contenido corregido GAE (mg/ml)
$\boldsymbol{V}$**:** volumen total de la muestra (ml)
W: peso de la muestra (g)

2.2.9. Determinación de sólidos totales del extracto de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35.

Para la obtención de los sólidos totales del extracto papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35, se utilizó el método indirecto mediante la determinación de humedad. Se empleó una balanza analizadora de humedad, la cual registra la pérdida de peso de la muestra producida por la evaporación del agua mediante calentamiento infrarrojo o halógeno. A partir del porcentaje de humedad obtenido por el equipo, se calculó el contenido de sólidos totales, aplicando la fórmula definida por Rodríguez (2012):

$$\%\boldsymbol{STT} = \textbf{100 - \%humedad}$$

Ecuación 4. Determinación de sólidos totales

2.2.10. Análisis estadístico

Para la optimización del proceso de extracción, se aplicó un diseño experimental factorial 2^2, evaluando los cuatro tratamientos de extracción por triplicado para garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados. Este modelo estadístico permitió evaluar simultáneamente los efectos principales y la interacción de las variables independientes: relación sólido-líquido (1:20 y 1:30) y tiempo de extracción (30 y 60 minutos), sobre el contenido de sólidos totales, polifenoles y antocianinas. El uso de este diseño maximiza la eficiencia experimental,

permitiendo identificar si el volumen del solvente o el tiempo de exposición favorecen la recuperación de solutos desde la matriz vegetal hacia el extracto.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a una comparación de medias con un nivel de significancia del 95% ($p < 0.05$), utilizando el software estadístico Minitab 19. Este análisis permitirá determinar diferencias significativas e identificar el tratamiento óptimo basado en la mayor concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante (Gavilánez, 2021).

2.2.11. Evaporación de disolvente

Una vez determinado el mejor tratamiento basado en la mayor concentración de compuestos activos, se procedió a realizar en cantidades superiores hasta obtener 1,5 L de sobrenadante, el cual se almacenó en un frasco ámbar para prevenir la fotodegradación de las antocianinas y polifenoles. Posteriormente, el extracto se llevó al rotavapor equipado con una bomba al vacío, condensador y baño maría con agua destilada. Se establecieron condiciones de operación de 71 °C y una velocidad de rotación de 230 rpm, logrando así la eliminación eficiente del solvente y la obtención de un extracto concentrado de mayor densidad (Alexandre, 2019).

Del concentrado resultante, se tomaron 3 mL para determinar el porcentaje de humedad mediante una balanza termogravimétrica. Este parámetro es crítico para la formulación del material de pared en la etapa de microencapsulación. Finalmente, el valor de la humedad se restó del 100% para determinar el contenido de sólidos totales.

2.2.12. Microencapsulación de polifenoles y antocianinas mediante secado por aspersión

El proceso de microencapsulación se llevó a cabo mediante secado por aspersión con el objetivo de obtener un polvo fino constituido por microesferas que protegen los compuestos bioactivos del extracto de la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35. Se preparó una mezcla utilizando el extracto concentrado y maltodextrina como matriz polimérica en una relación de 20:80, respectivamente. Esta preparación se complementó con agua destilada en un 30% respecto al total de los sólidos, para dispersar completamente los compuestos. La solución se mantuvo en agitación constante hasta lograr su completa homogeneización.

Posteriormente, la mezcla se alimentó a un atomizador Mini Spray Dryer bajo condiciones operacionales controladas: una presión de -50 mbar, una temperatura de entrada de 150 °C y

una temperatura de salida de 81 °C. Estos parámetros garantizaron la formación eficiente de las cápsulas y la estabilidad térmica de los pigmentos. Este proceso, permite proteger los compuestos bioactivos frente a factores ambientales, facilitando su conservación y asegurando una liberación controlada en aplicaciones posteriores (Sotomayor et al.,2017).

2.2.13. Rendimiento del proceso de microencapsulado

El rendimiento del microencapsulado (R) se determinó mediante la relación porcentual entre la masa del polvo obtenida en el colector del atomizador y la masa total de sólidos iniciales presentes en la solución de alimentación (extracto de papa clon 12-4-35 y maltodextrina). Este parámetro es fundamental para evaluar la eficiencia técnica del Mini Spray Dryer y la viabilidad de las condiciones de operación establecidas (150 °C entrada/ 81 °C salida). El cálculo se realizó aplicando la siguiente ecuación:

$$\%\ \boldsymbol{Rendimiento} = \frac{\boldsymbol{Masa\ sólidos\ obtenidos}\ (\boldsymbol{g})}{\boldsymbol{Masa\ sólidos\ alimentado}\ (\boldsymbol{g})} * \mathbf{100}$$

Ecuación 5. Determinación de la eficiencia de la microencapsulación.

(López et al., 2024)

2.2.14. Determinación cuantitativa de la eficiencia de microencapsulación

La eficiencia de la microencapsulación (extracto-maltodextrina) se determinó mediante la cuantificación de polifenoles totales y superficiales, utilizando el espectrofotómetro UV-Visible. Para este procedimiento, se realizaron dos preparaciones distintas:

- Tubo A: extracción superficial

En un tubo falcón se añadieron 0,2 g de polvo microencapsulado y se adicionaron 10 ml de etanol al 96%. Posteriormente, se agitó constantemente por aproximadamente 10 minutos para lavar los compuestos no encapsulados de la superficie sin romper la matriz de la maltodextrina. Luego, se centrifugó a 4000 rpm durante 5 minutos, se recuperó el sobrenadante y se cuantificó el contenido fenólico mediante el método de Follin-Ciocalteu descrito anteriormente (adición de reactivo de Folin y carbonato de sodio al 7,5 %). Se realizaron dos réplicas y se dejaron en incubación en oscuridad por 90 minutos (Sotomayor et al., 2017). Finalmente, las muestras se llevaron al espectrofotómetro a una longitud de onda de 765nm y los resultados se emplearon en la ecuación de la eficiencia de microencapsulación.

- Tubo B: extracción total

En un segundo tubo falcón se añadieron 0,2 g de polvo microencapsulado y se adicionaron 10 ml de agua destilada. La mezcla se sometió a agitación mecánica para asegurar la completa disolución de la matriz de maltodextrina y la consecuente liberación de compuestos bioactivos internos. Tras la centrifugación y recuperación del sobrenadante, se procedió con el método de Follin-Ciocalteu bajo las mismas condiciones descritas anteriormente. Las muestras se incubaron en condiciones de oscuridad por 90 minutos antes de realizar las lecturas en el espectrofotómetro a 765 nm.

Finalmente, los valores obtenidos se emplearon en la ecuación de la eficiencia de microencapsulación.

$$\%\boldsymbol{EE} = \frac{\boldsymbol{CT_{agua}} - \boldsymbol{CS_{etanol}}}{\boldsymbol{CT_{agua}}} * \mathbf{100}$$

Ecuación 6. Determinación de la eficiencia de la microencapsulación.

Donde:

%EE: eficiencia de microencapsulado

$\boldsymbol{CT_{agua}}$**:** concentración total de fenoles en la microesfera

$\boldsymbol{CS_{etanol}}$**:** concentración de fenoles en la superficie de la microesfera

2.2.15. Determinación cualitativa de la eficiencia por Espectrofotometría Infrarroja

Se utilizó esta técnica de espectrofotometría infrarroja (FTIR); según Cabra (2017), esta técnica presenta una alta eficiencia para la evaluación de las características físicas y químicas de compuestos. Por lo tanto, se empleará para identificar y comparar los diferentes espectros de los componentes presentes en los extractos de la papa. El análisis se aplicó en los extractos en tres formas: sin encapsular, encapsulados y polimerizados con dextrina, con el fin de identificar sus estructuras químicas y observar como la polimerización o encapsulación afectan su composición.

2.2.16. Evaluación de la capacidad antioxidante del extracto microencapsulado mediante DPPH

La evaluación de la capacidad antioxidante del microencapsulado se llevó a cabo en el Laboratorio de Vinculación de la Universidad Estatal de Bolívar, empleando el método del radical libre DPPH. Esta metodología se fundamenta en la cuantificación de la capacidad de la muestra para actuar como antioxidante al reducir el radical DPPH, lo cual se evidencia

mediante la decoloración de la muestra. El procedimiento inició con la preparación de la muestra, se pesó 500 mg del microencapsulado y se añadió 5 ml de etanol al 70%. La mezcla se homogenizó en un agitador vortex durante 10 min y, posteriormente, se sometió a un baño ultrasónico por 10 min con agua destilada y la solución se llevó a la centrifuga a 6500 rpm por 10 min. Se recolectó el sobrenadante y se aforo hasta un volumen final de 25 ml. Una vez preparada la muestra se preparó una solución DPPH 0,06 mM con etanol, para luego preparar 1950 µL de solución DPPH más 50 µL de la muestra preparada, agitamos e incubamos a temperatura ambiente en lugar oscuro por 35 min. Transcurrido este tiempo se registró las absorbancias de las muestras a una longitud de onda de 515 nm con un espectrofotómetro UV-Vis de micro volumen (Thermo Scientific NanoDrop).

Para determinar la actividad antioxidante se realizará mediante la curva de calibración utilizando Trolox (antioxidante estándar) en diferentes concentraciones en el rango de 200 a 1000 µmol/L (Lopa et al., 2021)

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Perfil fisicoquímico inicial

La recolección de los tubérculos de la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35, se realizó en la Parroquia Montalvo, perteneciente al Cantón Ambato. Este clon destaca por su intensa pigmentación morada oscura (apariencia negra) en la pulpa y cáscara, lo cual es un indicador de un perfil elevado de antocianinas y polifenoles (Lachman & Hamouz, 2005). Este material genético se encuentra actualmente bajo investigación por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias (INIAP), categorizada como una línea con potencial de liberación.

En la Tabla 7 se presenta los resultados comparativos obtenidos en los análisis realizados en la muestra fresca. Los mismos que fueron realizados en el Laboratorio de Control de Análisis de Alimentos (LACONAL).

Tabla 7. *Características fisicoquímicas de la papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35.*

Parámetros	Unidad	Resultado
pH	-	6,66
Sólidos solubles	°Brix	6,60
Acidez titulable	% ácido cítrico	0,12

Nota: Los datos representan el promedio de tres réplicas experimentales de la materia fresca. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

Los parámetros fisicoquímicos determinados en la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35 indican una adecuada aptitud tecnológica para su posterior transformación. El valor de pH fue de 6,66, lo cual clasifica el tubérculo como un alimento de baja acidez (pH > 4.5) y lo ubica dentro del rango característico de los tubérculos que han alcanzado su madurez óptima. Al respecto, Meza et al. (2018), reportaron valores de pH de papa clones que varían entre 6,58 y 6,93 para cultivares destinados al consumo fresco.

En cuanto a la acidez titulable, se obtuvo un valor de 0,12 ratificando la madurez fisiológica de tubérculo. Según Obregón y Repo (2013), este comportamiento se debe a que, los ácidos orgánicos (cítrico y málico), varían durante el crecimiento; por ello, en las etapas tempranas del desarrollo se encuentran menos concentrados, presentando valores de acidez más bajos entre 0,03-0,09, los cuales se incrementan conforme el tubérculo madura.

Por otra parte, el contenido de sólidos solubles registró un valor de 6,60°Brix. La acumulación de estos compuestos depende del tiempo de almacenamiento, incrementando conforme avanza el tiempo; no obstante, para fines de un proceso de deshidratación un contenido controlado de azúcares reduce el riesgo de pardeamiento (Salomão et al., 2022). El contenido de sólidos solubles del clon 12-4-35 fue superior al reportado por Zambrano et al. (2010), donde se reportaron rangos de 4,13 y 4,80. En relación con la deshidratación con un contenido mayor de sólidos solubles puede influir un mayor rendimiento, aunque se debería evaluar conjúntame con los parámetros de humedad y materia seca.

3.2. Determinación de los parámetros óptimos para la extracción de antocianinas

Para determinar las condiciones óptimas de extracción de las antocianinas a partir de la papa (*Solanum tuberosum* L.) clon 12-4-35, se evaluó el efecto del tiempo de extracción y la relación sólido-solvente. En Tabla 8, se detallan las concentraciones de antocianinas obtenidas, para cada uno de los cuatro tratamientos del diseño factorial 2^2, incluyendo sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 8. *Concentración de antocianinas de cada tratamiento.*

Tratamiento	Factor A x B	Réplicas	Antocianinas mg/100g	Desviación estándar
1	1:20 x 30 min	1	39,15	0,45
		2	39,60	
		3	40,05	
2	1:20 x 60 min	1	88,55	1,63
		2	91,81	
		3	90,13	
3	1:30 x 30 min	1	50,75	0,38
		2	51,15	
		3	51,50	
4	1:30 x 60 min	1	59,09	0,86
		2	59,86	
		3	58,15	

Nota: Cada tratamiento se lo realizo por triplicado y el tiempo de extracción se tomó una vez alcanzado el punto de ebullición del etanol (78, 37°C). **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

Con base a los resultados obtenidos, el mejor tratamiento fue el número 2 (relación sólido-solvente 1:20 durante 60 minutos), el cual alcanzó la mayor concentración de antocianinas, con un valor de 91,81 ± 1,63 mg/100g en la segunda réplica. De manera comparable, Aranda (2018) reportó que en el proceso de extracción de la papa Yana-shungo se obtuvo el mayor rendimiento de antocianinas utilizando una relación 1:20 durante un tiempo de 60 minutos, empleando ácido clorhídrico como solvente. Sin embargo, como señalan Zainal et al., (2025), el ácido cítrico empleado en la presente investigación puede ofrecer un mayor rendimiento debido a que este ácido provoca la ruptura de la pared celular y de la vacuola, lo que permite extraer y liberar el pigmento celular hacia el medio.

Por el contrario, el tratamiento 1 (Relación sólido: solvente 1:20 durante 30 minutos) presentó un rendimiento más bajo, acumulando apenas 39,60 ± 0,45 mg/100g. Este comportamiento sugiere que un mayor tiempo de contacto favorece la difusión de los pigmentos desde la matriz vacuolar hacia el solvente. Asimismo, al evaluar el tratamiento 3 a los mismos 30 minutos, pero con una relación 1:30, se observó que, al aumentar la cantidad de solvente, la concentración de antocianinas se incrementó significativamente de 39,60 mg/100g a 51,13 mg/100 g. De acuerdo con Bacca Narváez et al. (2025), un incremento controlado en la proporción de solvente promueve la solubilización de los solutos debido al gradiente de concentración que se establece entre el interior de la célula vegetal y el solvente externo.

No obstante, este comportamiento no es lineal y depende también del tiempo de exposición. Según Li et al. (2019), las antocianinas en tubérculos de pulpa pigmentada se encuentran ligadas a la estructura celular, lo que convierte al tiempo en un factor crítico para su liberación. Para este estudio, se determinó que los 60 minutos fueron óptimos para maximizar la recuperación de los pigmentos sin degradarlos. Por otra parte, se evidenció una interacción importante: para el tratamiento 4 (relación de 1:30 a los 60 minutos), se obtuvieron valores bajos en comparación con el tratamiento 2 (una relación 1:20) durante el mismo tiempo. Esta tendencia sugiere que, aunque el tiempo de 60 minutos es adecuado para la matriz del clon de papa, una dilución excesiva (1:30) prolongada puede aumentar la susceptibilidad de los pigmentos a la degradación química, mientras que una relación más concentrada (1:20) favorece la estabilidad del extracto.

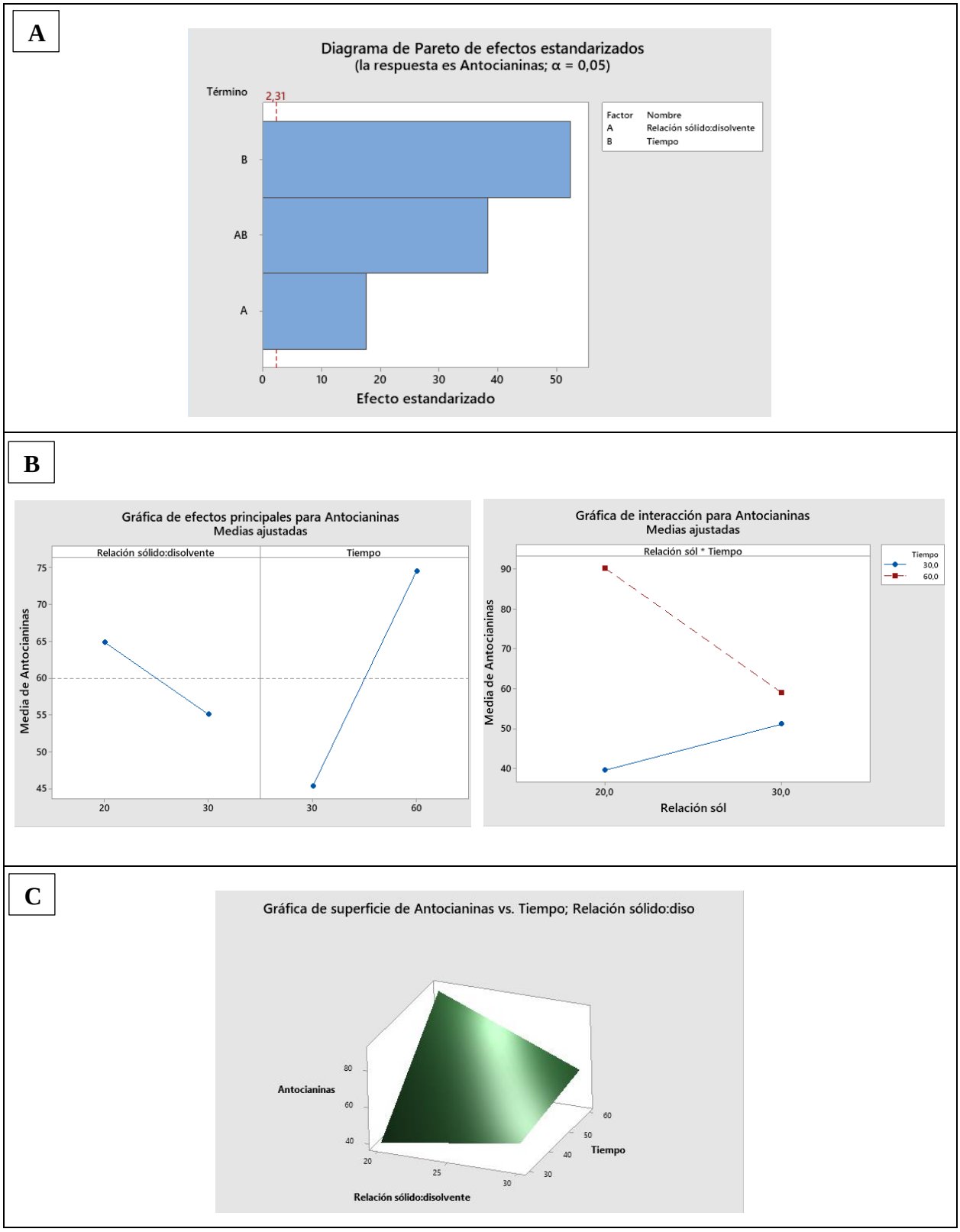
Finalmente, como señalan Slavu et al. (2020), las antocianinas son compuestos altamente sensibles y el calor prolongado rompe su estructura química (anillos de flavilio). Esta sensibilidad explica la disminución observada en el tratamiento 4 (T4) frente al tratamiento 2

(T2), debido a que al trabajar con una relación de solvente más diluida (1:30), el material vegetal experimentó una mayor exposición a los efectos térmicos. Esto aceleró la degradación térmica, superando la velocidad de difusión del pigmento, lo cual coincide con los estudios de Cacace & Mazza (2003), quienes mencionan que la extracción tiene un límite; una vez que el solvente ya no puede absorber más color, se alcanza un equilibrio. Si se sigue aplicando calor después de este punto, en lugar de incrementar el rendimiento, el pigmento se oxida o sufre reacciones de polimerización, lo que explica por qué en el T4 la concentración de antocianinas bajo en lugar de incrementarse.

3.2.1. Análisis estadístico de los factores de extracción de antocianinas

A continuación, se detalla el análisis estadístico del diseño factorial 2^2, mediante el análisis de varianza ANOVA (Anexo 4). Se incluyen el diagrama de Pareto, el estudio de los efectos principales e interacciones, la gráfica de superficie y la optimización de respuesta, herramientas que permiten evaluar la influencia de los factores tanto de forma individual como su interacción sobre la concentración de antocianinas de la papa clon 12-4-35.

Figura 4. *Resultados del análisis estadístico del diseño factorial* 2^2 *con los parámetros optimizados para la extracción de antocianinas de la papa clon 12-4-35.*



Nota: El panel **(A**) muestra el Diagrama de Pareto para la identificación de factores significativos; **(B)** Gráficas factoriales principales y de interacción; y **(C)** Gráfica de superficie de respuesta para la optimización de las condiciones de extracción. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

El análisis estadístico completo del proceso de extracción, representado en la Figura 4, demuestra que todas las variables independientes estudiadas y sus interacciones son significativas para la recuperación de antocianinas. En el diagrama de Pareto (Figura 4A), se observa que tanto la relación sólido: solvente, el tiempo y sus interacciones presentan una influencia significativa sobre el contenido de antocianinas; sin embargo, el factor B (tiempo) constituye el parámetro de mayor influencia, al superar ampliamente el límite de significancia ($\alpha = 0,05$). Esto indica que el tiempo de extracción es un factor determinante. Este comportamiento se atribute a que a una exposición inicial favorece la liberación del pigmento desde las vacuolas, y a tiempos prolongados provoca a una degradación térmica especialmente en las antocianinas que son más termosensibles (Setyawan & Kartini, 2023).

Por otro lado, la interacción AB constituye el segundo efecto más significativo, lo que demuestra la existencia de una codependencia entre ambos factores. Es decir que el tiempo sobre la respuesta está condicionado por el factor relación; por tanto, existen combinaciones específicas que maximizan la recuperación de polifenoles, mientras que otras las minimizan. Al respecto, Velásquez-Barreto & Velezmoro-Sánchez (2022) indican que la concentración recuperada de polifenoles es el resultado de la combinación de ambos factores. De este modo, si se mantiene constante el volumen del solvente bajo un tiempo excesivo, se genera la saturación del medio, por el contrario, una mayor proporción de solvente en un tiempo de contacto inadecuado impide la liberación de los compuestos.

Asimismo, el factor A (relación sólido: solvente), es de menor significancia, sin embargo, actúa como regulador del proceso. Según Bacca Narváez et al. (2025), este comportamiento se debe a que, si bien un incremento en el volumen del solvente genera un gradiente de concentración que favorece la solubilización los compuestos bioactivos, una relación excesiva puede provocar una sobredilución saturando la transferencia de masa y limitando la eficiencia de extracción.

En las gráficas factoriales (Figura 4B), se observa que la relación presenta una tendencia negativa, ya que al aumentar la proporción de disolvente las antocianinas se pueden degradar. Por el contrario, con respecto al tiempo de extracción se evidencia una pendiente positiva, lo que indica que, a mayor tiempo, el contenido de antocianinas aumenta. Tal como indican Kim et al. (2022), los efectos principales actúan de manera individual, generando una influencia propia en la variable de respuesta.

Además, en la gráfica de interacciones (Figura 4B), se muestra que las líneas no son paralelas, lo que indica una fuerte interdependencia entre los factores. El punto máximo de extracción de antocianinas (91,81 mg/100 g) se obtiene a un tiempo de 60 minutos (línea roja), con un incremento drástico en la respuesta cuando se utiliza una relación 1:20. Sin embargo, al emplear una relación 1:30 durante el mismo tiempo, la concentración de antocianinas disminuye. Como señalan Kim et al. (2022), cuando las líneas en una gráfica de interacción se cruzan, el efecto de un factor depende del nivel en que se encuentre el otro; por lo tanto, no se pueden analizar el tiempo y la relación de manera aislada.

Por último, en la gráfica de superficie de respuesta (Figura 4C), se puede observar un modelo predictivo tridimensional en el cual se analiza cada factor estudiado. Este gráfico muestra un pico máximo que representa la zona de óptima respuesta, posicionada en los niveles de 60 minutos y una relación 1:20. Asimismo, la inclinación pronunciada hacia los 30 minutos ratifica lo observado en la gráfica de efectos principales, lo que demuestra que el tiempo de transferencia de masa fue insuficiente para extraer completamente las antocianinas de la papa analizada. Como ratifican Rheem et al. (2019), la gráfica de superficie de respuesta es un modelo geométrico tridimensional en el que el vértice o punto más alto representa las condiciones ideales de operación para el proceso.

Tabla 9. *Comparación de medias de la concentración de antocianinas mediante la prueba de Tukey.*

Tiempo*Relación sólido: solvente	N	Media (mg/100g)	Agrupación
60 20	3	90,16	A
60 30	3	59,03	B
30 30	3	51,13	C
30 20	3	39,60	D

Nota: las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

En la Tabla 9, se observa el análisis de las interacciones mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0,05$), se demostró que la combinación del factor tiempo a 60 minutos y la relación de 1:20 (sólido: disolvente) es el tratamiento óptimo, alcanzando la mayor concentración de antocianinas de (90,16 mg/100 g). Este resultado es estadísticamente diferente al ubicarse como el único integrante del grupo A. Debido a que cada tratamiento se

encuentra en un grupo distinto (letra distinta), se confirma que las combinaciones son estadísticamente diferentes entre sí. Por otro lado, los resultados obtenidos a los 30 minutos fueron los más bajos del estudio; la diferencia entre los grupos C y D indica que, si bien una mayor cantidad de solvente favorece ligeramente la extracción en tiempos cortos, esta no compensa la falta de tiempo de exposición necesaria para la difusión de los compuestos.

Tabla 10. *Optimización de respuesta para la concentración de antocianinas.*

Solución	Relación sólido: disolvente	Tiempo	Antocianinas ajuste	Deseabilidad compuesta
1	20	60	90,16	0,97

Fuente: (Elaboración propia, 2026)

La optimización de respuesta (Tabla 10), ratifica que la combinación de un tiempo de 60 minutos y una relación de 1:20, maximiza la extracción de antocianinas, con una deseabilidad compuesta de 0,97. Este valor, al ser cercano a 1, indica que los parámetros seleccionados cumplen de manera casi ideal con el objetivo de maximización establecido en diseño experimental. El rendimiento de antocianinas obtenido (90,16 mg/100 g) es consistente con lo reportado para papas de pulpa morada en la región andina. Al respecto, Untuña (2013) reportó contenidos de antocianinas que oscilan entre 40 y 152 mg/100 g. Similarmente, Balladares (2018) encontró contenidos de 49,48 a 252,77 mg/100 g en variedades pigmentadas. Esta variabilidad se debe a que el contenido de metabolitos secundarios está influenciado por el genotipo, las condiciones climáticas de cultivo y de manera crucial, por la eficiencia de los parámetros de extracción.

3.3. Determinación de los parámetros óptimos para la extracción de polifenoles

Para determinar las condiciones óptimas de extracción de los polifenoles a partir de la papa (*Solanum tuberosum* L.) clon 12-4-35, se evaluó el efecto del tiempo de extracción y la relación sólido-solvente. En la Tabla 11 se detallan las concentraciones de polifenoles obtenidas, expresadas en mg de equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de muestra, para cada uno de los cuatro tratamientos del diseño factorial 2^2, incluyendo sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 11. *Concentración de polifenoles de cada tratamiento.*

Tratamiento	Factor A x B	Réplicas	Polifenoles mg/100g	Desviación estándar
1	1:20 x 30 min	1	482,26	0,45
		2	485,15	
		3	479,40	
2	1:20 x 60 min	1	697,74	1,63
		2	694,80	
		3	700,10	
3	1:30 x 30 min	1	375,20	0,38
		2	371,61	
		3	368,95	
4	1:30 x 60 min	1	602,55	0,48
		2	607,32	
		3	604,18	

Nota: Cada tratamiento se lo realizo por triplicado y además el tiempo de extracción se tomó una vez alcanzado el punto de ebullición. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

Los datos presentados en la Tabla 11 sobre la concentración de polifenoles totales muestran una tendencia directamente proporcional al tiempo de extracción, alcanzando su valor máximo en el tratamiento 2 (60 minutos con una relación de 1:20). Este comportamiento se justifica por el fenómeno de transferencia de masa, el cual requiere un tiempo de contacto suficiente para que el solvente difunda hacia la matriz celular y solubilice los compuestos fenólicos contenidos en las vacuolas.

Al comparar los resultados con otras investigaciones, la papa clon 12-4-35 presenta un potencial antioxidante competitivo frente a otras variedades andinas. En una evaluación de doce genotipos de papas nativas, se encontró que el contenido de polifenoles totales varía desde 345 a 2852 mg/100 g en muestras sin pelar (Ah-hen, Fuenzalida et al., 2012), lo cual evidencia una acumulación predominante de estos compuestos en la cáscara de los tubérculos.

Por otro lado, se observa que en la relación 1:30 a los 60 minutos, la concentración tiende a disminuir levemente en comparación con la relación 1:20. Este comportamiento se debe a que, a pesar de que un mayor volumen de solvente maximiza el gradiente de concentración inicial,

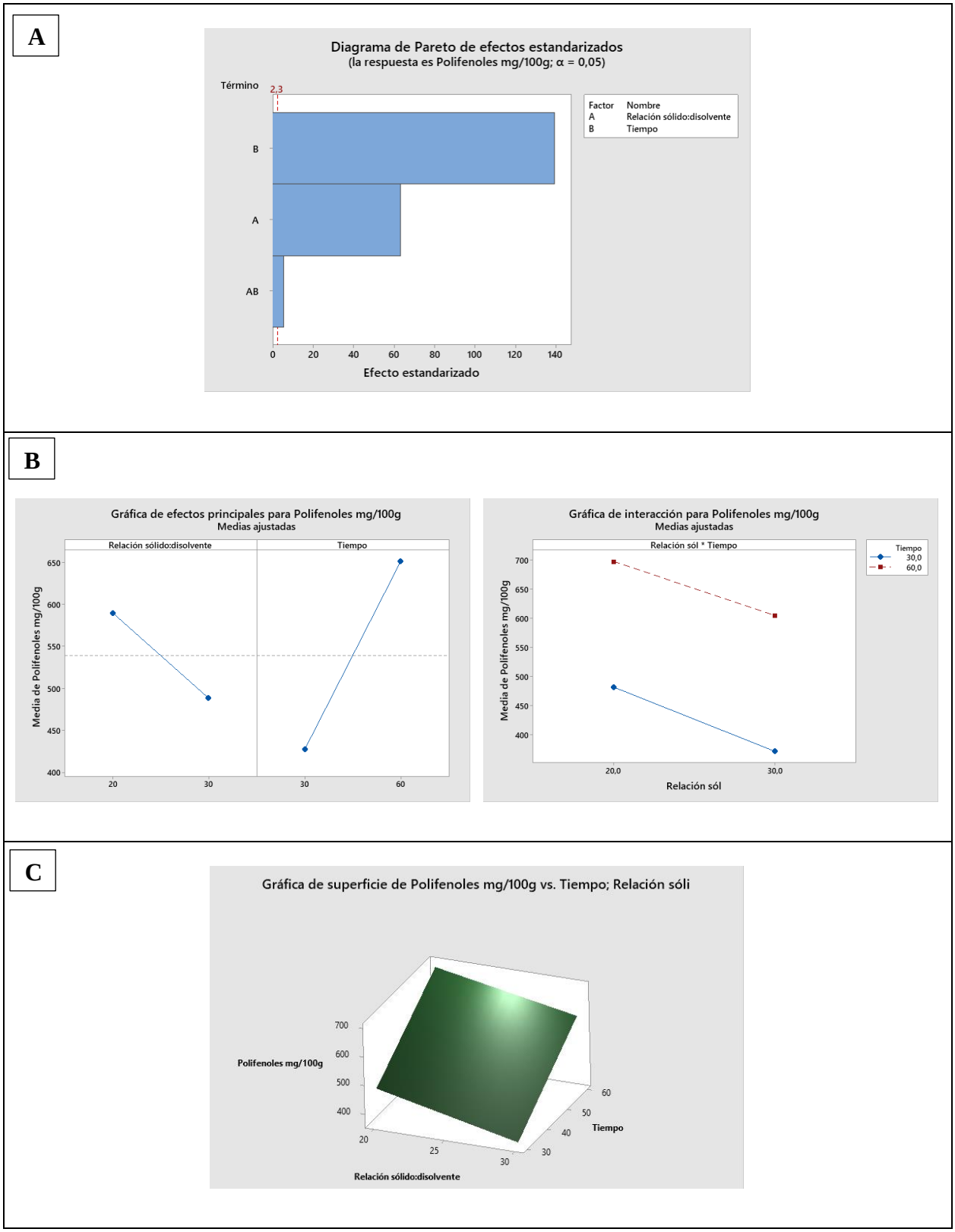
una dilución excesiva diluye los compuestos ya extraídos una vez agotada la matriz. Como mencionan Bacca Narváez et al. (2025), en matrices de papa, una vez alcanzado el equilibrio térmico, el incremento del solvente no aumenta proporcionalmente la extracción e, incluso, puede facilitar la degradación de los compuestos por una exposición prolongada a factores ambientales durante el proceso.

Finalmente, al contrastar los resultados obtenidos, se observa una mayor concentración de polifenoles totales en comparación con las antocianinas. Esto se debe a que los genotipos de papas andinas contienen diversos ácidos fenólicos, especialmente el ácido clorogénico, el cual representa entre el 45% y 90% del contenido polifenólico total (Andre et al., 2007).

3.3.1. Análisis estadístico de los factores de extracción de polifenoles

A continuación, se detalla el análisis estadístico del diseño factorial 2^2, mediante el análisis de varianza ANOVA (Anexo 5). Se incluyen el diagrama de Pareto, el estudio de los efectos principales e interacciones, la gráfica de superficie de respuesta y la optimización de la respuesta, herramientas que permiten evaluar la influencia de los factores tanto de forma individual como su interacción sobre la concentración de polifenoles en la papa clon 12-4-35.

Figura 5. *Resultados del análisis estadístico del diseño factorial* 2^2 *con los parámetros optimizados para la extracción de polifenoles de la papa clon 12-4-35.*



Nota: El panel **(A)** muestra el Diagrama de Pareto para la identificación de factores significativos; **(B)** Gráficas factoriales principales y de interacción; y **(C)** Gráfica de superficie de respuesta para la optimización de las condiciones de extracción. **Fuente:** (Elaboración propia, 2026)

El análisis estadístico de la extracción de polifenoles mediante el diseño factorial permitió identificar los factores críticos del proceso. En la Figura 5A, correspondiente al diagrama de Pareto, se observa que tanto el tiempo como la relación sólido: solvente y su interacción sobrepasan la línea de significancia ($\alpha = 0,05$); sin embargo, el tiempo B es el factor con el mayor efecto estandarizado, lo que indica que la duración de contacto entre el solvente y la matriz es la variable que más influye en la liberación de compuestos fenólicos. Según Setyawan & Kartini, 2023 este comportamiento es característico en la extracción de metabolitos secundarios, donde la transferencia de masa depende estrechamente del tiempo.

Por otro lado, la interacción A constituye el segundo efecto más significativo para polifenoles a diferencia de las antocianinas la interacción AB ocupo el segundo lugar. Esto se debe a que las antocianinas son compuestos más termolábiles y no depende únicamente a la disponibilidad del solvente si no a la interdependencia entre la relación sólido: solvente y al tiempo de extracción, una combinación inadecuada puede acelerar la degradación de estos compuestos.

En las gráficas de efectos principales (Figura 5B), se observa una pendiente positiva pronunciada para el tiempo, lo que confirma que un incremento en la duración del proceso (30 a 60 minutos) mejora el rendimiento. Por el contrario, la relación sólido: solvente se observa una pendiente negativa, indicando que una relación 1:20 es más eficiente que la de 1:30. Por otro lado, la segunda gráfica de interacciones (Figura 5B) revela que el mejor tratamiento se logra a los 60 minutos con una relación de 1:20; lo que sugiere que no se requiere un exceso de disolvente para maximizar la solubilidad si se otorga el tiempo necesario para la difusión.

Finalmente, la gráfica de superficie de respuesta (Figura 5C) corrobora los resultados, mostrando una región de máxima respuesta (área más elevada de la superficie tridimensional) en las coordenadas de 60 minutos y una relación de 1:20. Esta forma de plano inclinado es característica de los modelos en los que los factores actúan de forma sinérgica hacia un punto de optimización. Según señalan Rodríguez et al. (2023), la optimización mediante las gráficas de superficie de respuesta es eficaz para determinar el equilibrio entre el rendimiento y la estabilidad química.

Tabla 12. *Comparación de medias de la concentración de polifenoles mediante la prueba de Tukey.*

Tiempo*Relación sólido: solvente	N	Media (mg/100g)	Agrupación
60 20	3	697,55	A
60 30	3	604,68	B
30 20	3	482,27	C
30 30	3	371,92	D

Nota: las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Tabla 12 se muestra la prueba de Tukey, la cual revela diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados al no compartir ninguna letra entre sí. El tratamiento perteneciente al grupo A (60 minutos y 1:20 de relación) presentó una mayor concentración de polifenoles con 697,55 mg/100g., superando a los demás grupos. Al evaluar la diferencia entre el grupo A y el B, se observa que, aunque el tiempo es el mismo, una relación (1:20) más concentrada favorece a una mejor interacción molecular con los solutos de la papa. Por otro lado, el grupo D registró el nivel más bajo con apenas 371,92 mg/100g, lo que ratifica que, a un tiempo corto y una dilución alta, la extracción es menos eficiente. Finalmente, al pertenecer cada tratamiento a un grupo de significancia distinto en la prueba de Tukey demuestra que el proceso es altamente sensible a los cambios en las variables de operación.

Tabla 13. *Optimización de respuesta para la concentración de polifenoles.*

Solución	Relación sólido: disolvente	Tiempo	Polifenoles mg/100g ajuste	Deseabilidad compuesta
1	20	60	697,55	0,99

Fuente: (Elaboración propia, 2026)

La optimización de respuesta para la concentración de polifenoles, detallada en la Tabla 13, identifica como solución óptima una relación 1:20 y un tiempo de 60 minutos. Este modelo presenta una deseabilidad compuesta de 0,99, un valor que confirma la precisión del diseño y asegura que las condiciones seleccionadas permiten una máxima recuperación de estos compuestos. El valor optimizado de 697,55 mg/100g es superior a diversas variedades comerciales. Al respecto, Natividad-bardales et al. (2023) mencionan que los polifenoles en papas nativas ecuatorianas pueden alcanzar concentraciones superiores dependiendo de la altitud y del manejo del cultivo.

3.4. Microencapsulado de antocianinas y polifenoles

Tras determinar que la mejor combinación para la extracción de antocianinas y polifenoles, siendo de una relación de 1:20 por 60 minutos en ambos casos, se procedió a la obtención del extracto concentrado mediante evaporación rotatoria (rotavapor) a 70°C. Esta etapa es crucial debido a que el control de la temperatura evita la degradación térmica de los compuestos bioactivos. Carchi-Tandazo et al. (2024) señalan que el uso de evaporadores al vacío es preferible para preservar la estabilidad de los analitos, ya que permite la eliminación del solvente a temperaturas menores que el punto de ebullición estándar.

El microencapsulado se realizó a partir de una solución de maltodextrina y extracto con una relación de 20:80, con el fin de equilibrar la viscosidad de la alimentación al equipo y la protección de los compuestos. Se manejó una temperatura de entrada de 150°C y temperatura de salida de 81°C, parámetros que se encuentran dentro de los rangos óptimos reportados para matrices vegetales. Una temperatura de entrada de 150°C es suficiente para evaporar el agua de forma casi instantánea; al respecto, Arrazola et al. (2014), indican que las temperaturas de entrada de 150°C hasta 170°C favorecen una microencapsulación eficiente y evitan la pérdida de compuestos activos. Por otra parte, la temperatura de salida de 81°C es la que realmente refleja la temperatura del producto final; valores cercanos a los 80°C aseguran una baja actividad de agua y estabilidad microbiológica.

En estudios comparativos, Aranda, (2018) microencapsuló las antocianinas de papas nativas con maltodextrina (20:80) utilizando temperaturas de entrada de 180°C y salida de 90°C. Asimismo, Ramos (2019) empleó temperatura de entrada de 150°C y salida de 90°C en la microencapsulación de antocianinas utilizando maltodextrina como material de pared, con lo cual se obtuvo una eficiencia de encapsulación de 90,78%.

Finalmente, la microencapsulación mediante el método de secado por aspersión permitió atomizar la mezcla para crear microesferas. La precisión en el control de temperaturas del equipo permitió obtener un polvo fino y homogéneo, formado por partículas esféricas con tamaños que oscilan entre 10 y 50 µm, lo que minimizó las pérdidas por adherencia a la cámara de secado y optimizando el rendimiento del producto final (Simon Brown et al., 2016). Según la ecuación 5, se obtuvo un rendimiento del 92,69%, considerando que una fracción del producto queda atrapada en el equipo y no es posible recuperarla (Song et al., 2025).

3.3.5 Eficiencia de microencapsulado (%EE)

La eficiencia de la microencapsulación constituye un parámetro determinante en la evaluación del proceso, ya que nos permite conocer si el compuesto bioactivo se encuentra correctamente encapsulado. Para ello se empleó dos metodologías el análisis cuantitativo y la cualitativa.

3.5.1. Eficiencia cuantitativa del microencapsulado

El análisis de la eficiencia del microencapsulado es crucial para confirmar la correcta integración y protección del compuesto activo en la matriz. Según los cálculos derivados de la ecuación 6, se alcanzó una eficiencia de 67,16% (ver Tabla 14). Este resultado indica que aproximadamente dos tercios del contenido fenólico total fueron retenidos y protegidos dentro de la matriz polimérica. Por otro lado, el valor restante de 32,84% corresponde a los compuestos fenólicos superficiales, lo cual está asociado a factores como las condiciones operativas, la capacidad de carga y la afinidad de la matriz con el extracto de la papa.

Tabla 14. *Eficiencia de microencapsulación de la papa clon 12-4-35.*

Muestras	Concentración mg GAE/100g	Eficiencia (%)
Contenido total disuelto en agua	613,64	67,16
Contenido superficial disuelto en etanol	201,50	

Fuente: (Elaboración propia, 2026)

Como menciona Ríos-Aguirre & Gil-Garzón (2021), la eficiencia de microencapsulación está determinada en gran medida por el agente encapsulante; el uso de polímeros con propiedades limitadas puede generar matrices porosas que facilitan la migración de los fenoles hacia la superficie. En este sentido, Saénz et al. (2009) sostienen que la eficiencia tiende a ser moderada cuando no existe una interacción fuerte entre el polímero y los compuestos bioactivos. Asimismo, la estabilidad de la emulsión inicial es fundamental: una proporción adecuada de polímero permite una cobertura total del compuesto bioactivo, mientras que la formación de gotas diminutas facilita que la matriz rodee el compuesto de forma más eficiente y homogénea.

Con respecto a las condiciones de operación, Zakarian y King (1982) señalan que la temperatura en el proceso de secado por aspersión es crucial; una evaporación excesiva del solvente puede derivar en el encogimiento de la partícula, lo que provoca grietas en la membrana que dan lugar a la liberación y posterior degradación del ingrediente encapsulado.

Por lo tanto, la temperatura de alimentación influye en la fluidez y viscosidad de la emulsión, lo que afecta la capacidad de atomización y define la formación de la corteza; de modo que, si estas variables no están optimizadas, se reduce la protección y calidad del producto.

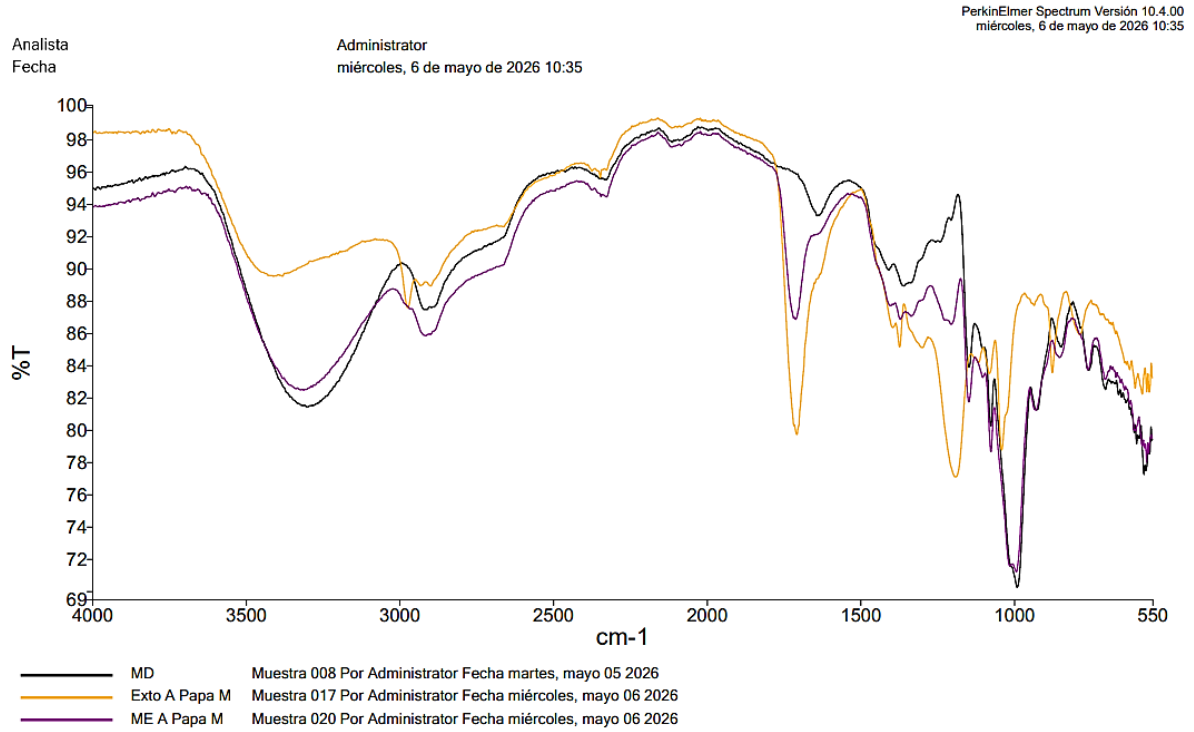
En concordancia, estudios realizados por Tolun et al. (2016) muestran que, en un proceso de secado por aspersión a cuatro temperaturas de entrada (120℃, 140℃, 160℃ y 180℃), se obtiene una microencapsulación más eficiente a los 140℃. A temperaturas inferiores (120℃) **se** presentaba una menor cantidad de compuestos fenólicos, mientras que temperaturas superiores (160℃ – 180℃), los compuestos sufren una degradación térmica.

3.5.2. Eficiencia cualitativa del microencapsulado mediante espectrofotometría Infrarroja

Desde el punto de vista de Ravichai & Muangrat (2019), la técnica de espectrofotometría infrarroja se fundamenta en la interacción de la luz con la muestra cuando atraviesa la misma, una parte de la energía se transmite y otra es absorbida. Esta absorción genera un espectro compuesto por bandas que se sobreponen o aparecen de forma continua. Estas señales son el resultado de vibraciones especificas en los enlaces químicos principalmente C-H, C=O, O-H y N-H los mismos que son la base de las moléculas orgánicas.

Las antocianinas en su forma elemental constan de dos anillos aromáticos conectados por una cadena de tres carbonos y habitualmente se encuentra unidas a uno o más azúcares mediante enlaces de glucosídicos (Enaru et al., 2021). Por lo tanto, por medio de la espectroscopía infrarroja se analizaron y compararon los distintos espectros correspondientes a maltodextrina, el extracto no microencapsulado y el extracto microencapsulado, con el fin de evaluar la eficiencia en el proceso de microencapsulación.

Figura 6. *Comparación del espectro infrarrojo de la maltodextrina, no microencapsulado y microencapsulado de la papa clon 12-4-35.*



En la Figura 6 se presenta el espectro FTIR en el rango de 4000 cm-1 a 550 cm-1, donde se encuentran superpuestas las curvas tanto de la maltodextrina (MD), no microencapsulado (Exto A Papa M) y microencapsulado (ME A Papa M). El análisis comparativo de estas bandas permite evidenciar las modificaciones estructurales asociadas al proceso de microencapsulación, así como las posibles interacciones entre los compuestos fenólicos del extracto y la matriz.

En el rango espectral de 3200-3400 cm-1, se observa una banda ancha e intensa, especialmente en las curvas de microencapsulado y de la maltodextrina. Esta señal corresponde a las vibraciones de estiramiento de los grupos hidroxilo (O-H), lo cual es característico de compuestos fenólicos y polisacáridos (Westfall et al., 2020). Por otra parte, las bandas localizadas entre 2920-2935 cm-1 corresponden a vibraciones de tensión de los enlaces C-H, provenientes de los grupos metilo (-CH3) y metileno (-CH2-) presentes en carbohidratos; esta señal es predominante en la maltodextrina debido a su elevada proporción de polisacáridos. En el microencapsulado, la presencia de esta señal confirma el predominio de la matriz sobre el núcleo encapsulado y demuestra que el proceso de secado no degradó la matriz (Modragón, 2020).

Un cambio crítico en el perfil espectral se aprecia en la región 1700-1600 cm-1, esta zona se asocia a las vibraciones de estiramiento de los grupos carbonilo C=O, señales típicas de los anillos aromáticos de los flavonoides, ácidos fenólicos y antocianinas presentes en la papa. En la curva del microencapsulado, esta banda experimenta una marcada disminución en su intensidad y se superpone de forma casi simétrica con la maltodextrina (Westfall et al., 2020).

Así mismo, las señales observadas en la región de 1400-1450 cm-1 corresponden a las vibraciones de enlaces dobles C=C, asociadas a polisacáridos y compuestos orgánicos de la matriz vegetal. La zona más representativa del espectro se ubica en el rango de 1200-900 cm-1, asignada a las vibraciones por enlaces glucosídicos C-O-C y C-O, la cual constituye la huella dactilar de los polímeros de glucosa de la maltodextrina. Finalmente, en la región menor a 900 cm-1, se detectan bandas de menor intensidad asociadas a enlaces C-H fuera del plano de los anillos aromáticos y carbohidratos (Westfall et al., 2020).

Según indican Barragán-Condori et al. (2018), los espectros FTIR presentan bandas asociadas a diferentes vibraciones que sugieren una estructura compatible con compuestos tipo antocianina. En particular, en el rango de 1850-1650 cm-1 se identifican grupos carbonilo (C=O), entre 1600-1475 cm-1 se observan señales asociadas a anillos aromáticos y, en la región de 3600-3200 cm-1, se encuentran grupos hidroxilo (-OH). Por otro lado, el análisis comparativo demuestra que el microencapsulado tiene un comportamiento espectral cercano a la maltodextrina, lo que diverge notablemente del extracto libre; este escenario es ideal en procesos de secado por aspersión exitosos. La atenuación y el enmascaramiento en la región 1630 cm-1 corroboran que los antioxidantes fueron recubiertos de manera óptima. De igual manera, las interacciones por puentes de hidrógeno en las regiones con grupos hidroxilo validan el acoplamiento entre los fitocompuestos y el agente encapsulante (Rahmani et al., 2022).

3.6. Evaluación de la actividad antioxidante del microencapsulado

Con respecto a la actividad antioxidante se realizó en el microencapsulado de la papa (*Solanum tuberosum* L.) clon 12-4-35, se obtuvo un valor de 9,91 µmol Trolox/L detallado en la Tabla 15.

Tabla 15. *Actividad antioxidante del microencapsulado de la papa clon 12-4-35.*

Muestra	Actividad antioxidante (µmol Trolox/g)
Microencapsulado de la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35	9,91

Fuente: (Elaboración propia, 2026)

Al comparar estos resultados con lo expuesto por Nemś et al. (2015), quienes registraron valores entre 10,29 y 15,68 µmol Trolox/g en variedades de pulpa morada (tales como Congo y Valfi Blue), se observa que el clon de papa analizado obtuvo una actividad antioxidante ligeramente inferior. Esta diferencia puede atribuirse a la variedad específica del tubérculo y a las condiciones operativas implementadas durante el proceso de microencapsulación.

Por otro lado, este valor supera de forma notable a la variedad Herbie 26, la cual registró apenas 4,38 µmol Trolox/g. Asimismo, Barragán-Condori et al. (2024), evaluaron la actividad antioxidante en genotipos de pulpa blanca, amarilla, roja y morada, y obtuvieron valores entre 0,2123 y 3,0948 µmol Trolox/g; lo que demuestra que tales variedades comerciales poseen un poder antioxidante inferior al del clon estudiado.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La presente investigación permitió evaluar la capacidad antioxidante del extracto de papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35 microencapsulado mediante secado por aspersión, evidenciando que la maltodextrina como matriz permitió proteger los compuestos bioactivos presentes en el extracto principalmente antocianinas y polifenoles. Asimismo, la eficiencia de encapsulación y la conservación de la capacidad antioxidante evaluada mediante el método DPPH demostraron que el proceso fue efectivo manteniendo las propiedades funcionales del extracto.
- Se extrajeron las antocianinas y polifenoles de la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35 mediante la aplicación un diseño factorial 2^2, lo que permitió optimizar las variables del proceso de extracción. Las mejores condiciones se obtuvieron con una relación sólido: disolvente de 1:20 y un tiempo de 60 min. Bajo estas condiciones el contenido máximo de antocianinas fue de 90,16 mg C3G/100g y polifenoles de 697,55 mg GAE/100g. Estos resultados demuestran que tanto la pulpa como la cáscara de este clon contribuye una fuente importante en compuestos bioactivos para su aprovechamiento.
- Se logró llevar a cabo la microencapsulación del extracto de papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35 mediante la técnica de secado por aspersión, utilizando maltodextrina como agente microencapsulante, la cual actuó como matriz protectora para reducir la degradación térmica de los compuestos. Asimismo, mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) se comprobó el éxito del proceso al confirmar que el extracto quedó atrapado dentro de la matriz. Estos resultados demuestran que las condiciones operativas del equipo, tales como la temperatura y flujo de alimentación, fueron óptimas para proteger y estabilizar los compuestos bioactivos.
- La evaluación de la capacidad antioxidante mediante le método DPPH evidenció que el extracto microencapsulado de papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35, presentó una actividad antioxidante de 9,91 µmol Trolox/g, valor que se encuentra dentro del rango reportado para papas de pulpa pigmentada. Aunque se observó una ligera disminución de la actividad antioxidante posterior al proceso de microencapsulación los resultados continúan siendo relevantes, lo que indica que la maltodextrina permitió conservar los compuestos bioactivos.

4.2. Recomendaciones

- Evaluar los parámetros fisicoquímicos adicionales, como el contenido de almidón, azúcares reductores y cenizas, con el fin de complementar la caracterización del tubérculo y su relación con la presencia y estabilidad de los compuestos bioactivos.
- Emplear diferentes tipos de solvente para la extracción, tales como ácido clorhídrico, ácido acético, ácido tartárico para obtener una mayor extracción y estabilidad de compuestos bioactivos presentes en la papa (*Solanum tuberosum* L) clon 12-4-35.
- Continuar con estudios de microencapsulación utilizando distintos agentes encapsulantes o combinaciones d estos, como goma arábiga, gelatinas de bajo peso molecular y ciclodextrinas, mezclas de maltodextrina con goma arábiga, almidones modificados con sustitución lipofílica, aislados de proteína de suero lácteo, con el fin de evaluar su efecto sobre las propiedades de las partículas microencapsuladas, la retención del color y la eficiencia de la microencapsulación.
- Complementar la evaluación de la capacidad antioxidante con otras metodologías como ABTS, ORAC o FRAP, con el fin de tener una evaluación más amplia y precisa del potencial antioxidante del extracto microencapsulado.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

Abdel-Aal, M. (1999). A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats. Journal of Cereal Chemistry, 73(C), 350-354. Obtenido de A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats. Journal of Cereal Chemistry, 73(C), 350-354.: http://www.aaccnet.org/publications/cc/1999/May/Pages/76_3_350.aspx

Adams, M. (2012). Famous Potatoes: The Impact of Potatoes on the History of the World. Universidad Concordia.

Aguilera-Ortiz, M., Reza-Vargas, M. C., Chew-Madinaveitia, R. G., & Meza-Velázquez, J. A. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Biotecnia*, *13*(2), 16–22. https://www.redalyc.org/pdf/6729/672971155002.pdf

Ah-hen, K., Fuenzalida, C., Hess, S., Contretas, A., & Vega-gálvez, A. (2012). Antioxidant capacity and total phenolic compounds of twelve selected potato landrace clones, grown in southern-chile. Chilean journal of agricultural research., 72, 3-9.

Alexandre, R. (2019). SuberSkin – plant defensive polymers in wound healing. *Universidad ova de Lisboa, January*, 1-17.

Amondarain, M., Bentancur, B., Costa, B., Olivera, N., Pereyra, B., & Ríos, C. (2023). El rol de los polifenoles en la salud [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibrí: Repositorio Institucional de la Universidad de la República. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/46620/1/G100-2023.pdf

Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., Herrera, M. D. R., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., et al. (2007). Andean potato cultivars (Solanum tuberosum L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. Journal of agricultural and food chemistry, 55(2), 366-78.

Aranda, C. (2018). Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de papas nativas (Solanum. Spp) variedades Puca-shungo y Yana-shungo (Bachelor's tesis). *Universidad Técnica de Ambato.*

Arias Lamos, D., Montaño Díaz, L. N., Velasco Sánchez, M. A., & Martínez Girón, J. (2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. Tecnura, 22(57). https://doi.org/10.14483/22487638.12178

Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de Berenjena (Solanum Melongena L.) Mediante secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. Información Tecnologica, 25(3), 31-42. https://Doi.Org/10.4067/S0718-07642014000300006

Bacca Narvaez, A. J., Vásquez García, A., Rodríguez, I., & España Muñoz, J. (2025). Técnica de extracción y su selección según el compuesto bioactivo de interés en residuos de frutas y verduras. Una revisión. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).

Balladares Moyano, V. P. (2018). *Evaluación del contenido de antocianinas y capacidad antioxidante en papas nativas (Solanum tuberosum L.) de pulpa pigmentada cultivadas en la provincia de Tungurahua* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional UTA: https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e80dbc8c-3cee-4fa2-9d17-51e5e8bf8f35/content

Barragán-Condori, M., Aro Aro, J. M., Huamaní Meléndez, V. J., & Cartagena Cutipa, R. (2018). Antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del mio–mio (Coriaria ruscifolia L). Revista de Investigaciones Altoandinas, 20(4), 419-428. http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.419

Bedoya-Cataño, J. F., Ramón-Palacio, C., Gil-Garzón, M. A., & Ramírez-Sánchez, C. (2022). Extracción de antioxidantes de los arándanos (Vaccinium corymbosum): efecto de solventes verdes sobre polifenoles totales, capacidad antioxidante y comportamiento electroquímico. TecnoLógicas, 25(53).

Benitez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V., Puga-Díaz, R., & Quintero-Guitiérrez, A. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscenica: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 1-9.

Burgos, G., Amoros, W., Muñoa, L., Sosa, P., Cayhualla, E., Sanchez, C., Díaz, C., & Bonierbale, M. (2013). Total phenolic, total anthocyanin and antioxidant capacity of native potato cultivars with purple flesh. Journal of Food Composition and Analysis, 30(2), 62-29. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.12.001

Bustillos Siñani, L., Rojas Pardo, A., Fernández Chávez, C., & Aparicio Porres, J. J. (2018). Identificación de variedades de papa nativa (Solanum sp.) producidas en tres

comunidades del municipio de Tiahuanaco. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 5*(2), 117-124.

Cabra, J. R. V. (2017). Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. Revista Ontare, (5), 3.

Cacace, J. E., & Mazza, G. (2023). Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. Journal of Food Engineering, 59(4), 379-389. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00497-1

Carchi-Tandazo, T. A., Gonzaga-Abad, J. D., & Bravo_Aguilar, M. S. (2024). Innovación en la tecnología de evaporación al vacío para la recuperación de solventes en la industria química y alimentaria: revisión bibliográfica. Revista veritas de Difusipon Científica, 5(2), 152-165. https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i2.152

Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. de L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. Food Chemistry, 113(4), 859–871. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.001

Castro M, Hernández J, Marcilla S, Córdova, Solari F & Chire G. (2016). Efecto del contenido de grasa en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante de Theobroma cacao L." cacao. Ciencia e investigación, 19(1), 19-23.

Ciupei, D., Colisap, A., Leopold, L., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. M. (2024). Polyphenols: *From classification to therapeutic potential and bioavailability. Fods, 13*(24), 4131. 10.3390/foods13244131

Córdoba, M. M. (2021). Análisis de la estabilidad de micro-cápsulas elaboradas con diferentes combinaciones de material de pared, incorporadas en matrices alimentarias. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia,* 1-64. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/42549

Corrêa, L. C., Moldão, M., & Alves, V. D. (2019). Advances in the application of microcapsules as carriers of functional compounds for food products. In Applied Sciences (Switzerland) (Vol. 9, Issue 3). MDPI G. https://doi.org/10.3390/app9030571

Coultate, T. (1984). Alimentos, química de sus componentes: Pigmentos E. Acribia (Ed.). Zaragoza-España

Cuichán, M., Salazar, D., Suárez, M., Villafuerte, W., Orbe, D., &Marquez, J. (2014). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC. INEC, 1, 12. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-

inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014-2015/2014/Informe ejecutivo ESPAC 2014.pdf

Chaudhary, P., Janmeda, P., Docea, AO, Yeskaliyeva, B., Adbull Razis, AF, Modu, B., & Sharifi-Rad, J. (2023). Estrés oxidativo, radicales libres y antioxidantes: Posible interacción en la fisiopatología de las enfermedades humanas. *Frontiers in chemistry, 11*, 1158198.

Delgado-Olivares, L., Bentanzos-Cabrera, G., & Sumaya-Martinez, M. T. (2010). Importancia de los antioxidantes. Investigación y Ciencia, 14(35), 10-15. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icsa/LI_NutriMole/Gabriel_Bet/importancia.pdf

Dome, K., Podgorbunskikh, E., Bychkov, A., & Lomovsky, O. (2020). Changers in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. Polymers, 12(3), Artículo 641. https://doi.org/10.3390/polym12030641

Donaldson, K., Beswick, O. H., & Gilmour, P. S. (1996). Free radical activity associated with the surface of particles: A unifying factor in determining biological activity. Toxicology Letters, 88(1-3), 293-298.

Dumanovic, J., Nepovimova, E., Natic, M., Kuka, K., & Jacevic, V. (2021). The Significance of Reactive Oxygen Species and Antioxidant Defense System in Plants: A Concise Overview. Frontiers in Plant Science, January, 3-10. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969

Enaru, B., Dretcanu, G., Pop, TD, Stănilă, A. y Diaconeasa, Z. (2021). Antocianinas: Factores que afectan su estabilidad y degradación. Antioxidantes, 10(12), 1967.

Esquivel-González, B. E., Martínez, L. O., & Rutiaga-Quiñones, O. M. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 16(2), 180-192.

Faraj, S., Prieto-Rodríguez, M. A., & Morales, M. (2024). Stability and retention of phenolic compounds in spray-dried encapsulated extracts: A comprehensive review. Powder Technology, 438, 119161. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119161

Fernández-Rodríguez, V. E., & Ruiz-López, M. A. (2021). Contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y toxicidad de Solanum ferrugineum (solanaceae) con potencial medicinal. Acta Biológica Colombiana, 26(3), 414-422.

Fuentes-Berrío, L., Acevedo-Correa, D., & Gelvez-Ordóñez, V. (2015). Alimentos funcionales: impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 13(2), 140-149.

Garófalo, J. (2005). *Evaluación de la aptitud combinatoria general específica en 21 progenies de papa (Solanum phureja) para resistencia a "Tizón tardío" (Phytophthora infestans).* Trabajo de Grado presentado como requisito Parcial para Optar al Título de Ingeniero Agrónomo. Quito: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas

Garzón, G.A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta Biológica Colombiana, 13*(3), 27-36. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2008000300002

Garzón, P. J. C. (2023). Revisión sobre la aplicación de la microencapsulación en la industria alimentaria. Revista Alimentos Hoy, 60, 5-8.

Gavilánez Luna, F. (2021). *Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas.* Ediciones Días de Santos.

Gharsallaoui, A., Rademacher, M., & Vandamme, T. (2007). *Microencapsulation: An overview of technologies, mechanisms and applications. In Food Engineering Reviews*.

González de Mejía, E., Rebollo-Hernanz, M., Aguilera, Y., & Martín-Cabrejas, M. A. (2021). Papel de las antocianinas en el estrés oxidativo y la prevención del cáncer en el sistema digestivo. En *Cáncer: Estrés oxidativo y antioxidantes dietéticos* (2.ª ed., Cap. 24, pp. 265-280). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819547-5.00024-9

Guerrero, C., Andrade, M., Pillajo, G., & Hernández, A. (2015). Efecto de la cocción sobre la composición qupimica y capacidad antioxidante de papas nativas (Solanum tuberosum) del Ecuador 2(2). 20-25. Retrieved from http://www.agrocalidad.gob.ec/revistaecuadorescalidad/index.php/revista/article/viewFile/18/34?fbclid=IwAR2SD3mVye_00RaKsSLg7P1_R4GMbevPlB _87PhrN-tLYY5K4EiFwBHedcg

Granados-Conde, C., Torrenegra-Alarcón, M., León-Méndez, G. A. P., Jiménez-Nieto, Y., & Carriazo-Marmolejo, L. (2019). Deshidratación osmótica: Método alternativo de conservación de alimentos. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 17(2), 101-114. https://doi.org/10.24054/limentech.v17i2.323

Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M. Á., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico, 15*(1), 57-60.

Gulcin, I. (2020). Antioxidantes y métodos antioxidants: Una visión general actualizada. *Archivos de toxicología, 94* (3), 651-715.

Kim, S., Son, H., Pang, S. Y., Yang, J. J., Lee, J., Lee, K. H., Lee, J. H., Park, C., & Yoo, H. Y. (2022). Optimization of major extraction variables to improve recovery of anthocyanins from elderberry by response surface methodology. Processes, 9(9), Artículo 1546. https://doi.org/10.3390/pr11010072

Huerta, M., Aguilar, M., & Vásquez, B. (2022). Polifenoles: propiedades y papel en desarrollos biomédicos. Revista de Plásticos Modernos, 123(775), 23-28. https://digital.csic.es/bitstream/10261/308865/1/107_924959.pdf

INIAP. (2015). *Informe de actividades 2015.* INIAP, Quito, Ecuador: Autor

Jin, H. M., Dang, B., Zhang, W. G., Zheng, W. C., & Yang, X. J. (2022). Polyphenol and Anthocyanin Composition and Activity of Highland Barley with Different Colors. Molecules, 27(11), artículo 3411. https://doi.org/10.3390/molecules27113411

Justesen, U., Knuthsen, P., y Leth, T. (1997). Determination of plant polyphenols on Danish foodstuffa by HPLC-UV and LC-MS detection. Cancer Letters, 114(1-2), 165-167.

Lachman J, Hamouz K (2005). Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition -a review. Plant Soil Environ. 51: 477-482

Li, A., Xiao, R., He, S., An, X., He, Y., Wang, C., Yin, S., Wang, B., Shi, X. y He, J. (2019). Research advances of purple sweet potato anthocyanins: Extraction, identification, stability, bioactivity, application, and biotransformation. Molecules, 24(21), 3816. 10.3390/molecules24213816

Lopa. J., Valderrama, M., León, N., Lazo, L., Llerena, J. P., Ballón, C., & Guija-Poma, E. (2021). Evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de tumbo (Passiflora mollissima) y cerezo (Prunus serótina) X1. Horizonte Médico (Lima), 21(3), e1365-e1365.

Llerena Toasa, D. M. (2024). Recuperación de antocianinas a partir de los residuos agroindustriales de la mora de castilla. [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/items/eef27a4a-b9e0-48f1-8459-2391fbdbef1d

Mayoral, J. B., Hernández, M. V., & Silveti-Loeza, A. (2019). Análisis de la actividad antioxidante en la flor de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) mediante las técnicas FRAP y DPPH. RD-ICUAP.

Martínez, F; Gonzales, G; Culebras, J; Muñón, M. (2002). Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Nutrición Hospitalaria. 271-278 p.

Nemś, A., Peksa, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., Kita, A., Drożdż, W. y Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. Food Chemestry, 172, 175-182. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.033

Meza, N. M., Ramírez Guerrero, H. O., & Daboín León, B. M. (2018). Evaluación de características de calidad de clones promisorios y variedades de papa (Solanum tuberosum L.) Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia 35(2), 152-167.

Miyazawa, T., Nakagawa, K., Kudo, M., Muraishi, K., & Someya, K. (1999). Direct intestinal absorption of red fruit anthocyanins, cycyanidin-3-glucoside and cyanidin-3,5-diglucoside, into rats and humans. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(3), 1083-1091.

Modragón, P. (2020). *Infrarrojo* [Cap. 1]. CIATEJ. https://ciatej. repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/720/1/ Infrarrojo Cap 1.pdf

Monteros, C., & Reinosos, I. (2010). *Biodiversidad y oportunidades de mercado para las papas nativas ecuatoriana.* http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3117

Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J. y Reinoso, I. (2011). Papas Nativas de la Sierra Centro y Norte del Ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad. Quito: INIAP.

Moreno, B. L., & Deaquiz Oyola, Y. A. (2016). Caracterización de parámetros fisicoquímicos en frutos de mora (Rubus alpinus Macfad). Acta Agronómica, 65(2), 130-136.

Naraijina, N. V., Zhukova, K. V., Starikov, A. Y., Anisimova, O. K., & Popov, V. N. (2025). Light conditions and cold induced changes in the expression of *Solanum tuberosum* L. ω3-desaturase genes. *Plant Physiology and Biochemistry, 229*(Part E), Artículo 110780. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.110780

Natividad-Bardales, Á. D., Villanueva-Tiburcio, J. E., Chamarro-Gómez, R. E., Cueto-Rosales, C. R., Capcha-Godoy, P. R., Paucar-Tito, J. L., & Mendoza-Aguilar, A. (2023). Efecto del tratamiento térmico y de didestibilidad in vitro en compuestos bioactivos de cuatro

tipos de papa nativas (Solanum tuberosum spp. Andigena). Investigación Valdizana, 18(1), 7-18. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num3_art:3177

NTE INEN-ISO 750 (2013). Productos vegetales y de frutas. Determinación de acidez titulable. Método Potenciométrico de Referencia. Instituto Ecuatoriano De Normalización, 1–9. Recuperado de: https://n9.cl/jxq3w

NTE INEN-ISO 1842 (2013). Productos vegetales y de frutas. Determinación de pH Método pH-metro de Referencia. Instituto Ecuatoriano De Normalización, 1–9. Recuperado de: https://n9.cl/kitbfm

NTE INEN-ISO 2173 (2013). Productos vegetales y de frutas. Determinación De Sólidos Solubles. Método Refractométrico. Instituto Ecuatoriano De Normalización, 1–9. Recuperado de: https://n9.cl/c4f2c

Obregón, A., y Repo, R. (2013). Evaluación fisicoquímica y bromatológica de cuatro variedades nativas de papa (Solanum spp.). Ciencia e Investigación, 16(1), 38-40. https://doi.org/10.15381/ci.v16i1.8634

Oviedo, A. (2005). Estudio de características físico-químicas en clones promisores de papa. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para Optar al Título de Licenciado en Ciencias Químicas. Quito: Pontifica Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Escuela de Ciencias Químicas.

Pallo Paredes, E. L., Guapi Auquillas, A. P., & Mullo Paucar, V. M. (2021). Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahia. Siembra, 8(1), Artículo e2494. https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273

Parcheta, M., Świslocka, R., Orzechowska, S., Akimowicz, M., Choińska, R. y Lewandowski, W. (2021). Desarrollos recientes en antioxidantes eficaces: Estructura y propiedades antioxidantes. *Materials, 14*(8), 1984.

Rafter, J. J. (2002). Scientific basis of biomarkers and benefits of functional foods for reduction of disease risk: cancer. British Journal of Nutrition, 88(S2), S219-S214.

Rahmani, R., Perveen, F., Benhalima, N., Djafri, A., Chouaih, A., Djafri, A., Kanoun, M. B., & Goumri-said, S. (2022). FTIR, NMR and UV – Visible Spectral Investigations, Theoretical Calculations, Topological Analysis, Chemical Stabiliy, and Molecular Docking Study on Novel Bioactive Compound: The 5- (5-Nitro Molecular Docking Study on Novel Bioactive Compound: Th. Polycyclic Aromatic Compounds, 1-22. https://doi.org/10.1080/10406638.2022.2094971

Ramos, E. C. (2019). Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de col morada (Brassica oleracea L.) https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/58a5e7a0-15a4-49ec-ad4a-9fbba90f9bec/content

Ravichai, K., & Muangrant, R. (2019). Effect of different coating materials on freeze drying encapsulation of bioactive compounds from fermented tea leaves wastewater. *Journal of Food Process Engineering, 43*(10), Artículo e14145. 10.1111/jfpp.14145

Reinoso, I. y Thiele, G., (2005). Las papas nativas en el Ecuador. Estudios, cualitativos sobre oferta y demanda. Quito: INIAP.

Rheem, S., Rheem, I., & Oh, S. (2019). Improving the quality of response surface analysis of an experiment for coffee-supplemented milk beverage: II. Heterogeneous third-order models and multi-response optimization. Food Science of Animal Resources, 39(2), 222-228. https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e17

Ríos-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas, 24*(51), e1836. https://doi.org/10.22430/22565337.1836

Rocha-Parra, D. F., García-Ruiz, A., López-Fandiño, R., & Miralles, B. (2023). Encapsulation of bioactive phenolic compounds: A strategy to improve their stability and functionality. Food Chemistry, 405, 134927. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134927 Disponible en PubMed: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37372602/

Rodríguez, R., Mazza, G., Zalazar-García, D., Fernández, A., & Fabani, M. P. (2023). Chapter 8 – Extraction of polyphenols from biological wastes: Optimization and kinetic analysis. In Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products (pp. 161-183). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18961-6.00010-XObtén derechos y contenido

Rosero, A., Espinoza-Montero, P., & Fernández, L. (2020). Recubrimientos comestibles con materiales micro/nanoestructurados para la conservación de frutas y verduras: una revisión. Revista InfoAnalítica, 8 (núm. esp.2).

Ru, W., Pang, Y., Gan, Y., Liu, Q., & Bao, J. (2019). Phenolic compounds and antioxidant activities of potato cultivars with white, yellow, red and purple flesh. Antioxidants, 8(10), 419. doi:10.3390/antiox8100419

Saénz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from pear (Opuntia ficus-indica). *Food Chemistry, 114*(2), 616-622. 10.1016/j.foodchem.2008.09.095

Salomão, H. M., Suchoroncsek, A., Jadoski, S. O., Suchoronczek, A., Hartmann, K. C. D., y Bueno, J. C. M. (2022). Quality of potato tubers according to the storage time. Communications in Plant Sciences, 12, 1-10.

Setyawan, K. N. Y., & Kartini, K. (2023). Optimization of stirring-assisted extraction of anthocyanins from purple roselle (Hibiscus sabdariffa L.) calyces as pharmaceutical and food colorants. Journal of Applied Biology & Biotechnology, 11(5), 91-97. 10.7324/JABB.2023.11510-1

Schneeman, B. O. (2002). Gastrointestinal physiology and functions. British Journal of Nutrition, 88(S2), S159.

Slavu (Ursu), M., Aprodu, I., Milea, S. A., Enachi, E., Râpeanu, G., Bahrim, G. E., & Stânciuc, N. (2020). Thermal degradation kinetics of anthocyanins extracted from purple corn flour extract and heating effect on selected biological functionalities. Food and Bioprocess Technology, 13(9), 1607-1620. 10.3390/foods9111593

Simon Brown, K., Mis Solval, K., Chotiko, A., Alfaro, L., Reyes, V., Liu, C., . . . Sathivel, S. (2016). Microencapsulation of ginger (Zingiber officinale) estract by spray drying technology. LWT-Food Science and Technology, 70, 119-125.

Sinopoli, A., Calogero, G. & Bartolotta, A. (2019). Aspectos computacionales de las antocianidinas y antocianinas: Una revisión. Química de alimentos, 297, 124898.

Song, Y., Gu, Y., Ren, A., Li, X., Wu, S., Gong, Y., & Luo, Y. (2025). Optimization and comprhensive characterization of the microencapsulation process for taro essence. Foods, 11(11), Artículo 1541. https:// doi.org/10.3390/foods14050754

Sotomayor, M. F., & Vargas, D. A. (2017). Optimización de extracción, microencapsulación y evaluación de la capacidad antioxidante de antocianinas de flor de Jamaica (Hibiscus sabdariffa) mediante secado por aspersión (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2017).

Suárez Diéguez, T., González Escalante, E., Reséndiz Martínez, Y., & Sánchez Martínez, D. (2019). La importancia de los aditivos alimentarios en los alimentos industrializados. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Tangarife, D. P. C., Arias, L. P. P., & Zapata, A. M. O. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. Ciencia y tecnología agropecuaria, 22(1), 1-21.

Tene, V. (2018). Diagnóstico de la agrobiodiversidad nativa de papa (Solanum spp.) y maíz (Zea mays l.) en 5 comunidades de la provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum Arabic as two alternative coating materials: *Development and characterization. Journal of Biotechnology, 239*, 23-33. https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001

Tsang, C., Smail, N. F., Almoosawi, S., McDougall, G. J. M., & Al-Dujaili, E. A. S. (2018). La patata rica en antioxidants mejora la rigidez arterial en adultos sanos. Plant Foods for Human Nutrition, 73(3), 203-208. Plant Foods https://doi.org/10.1007/s11130-018-0673-2

Untuña, P. (2013). *Estudio del efecto de la fritura al vacío sobre los atributos de calidad de chips de papa nativa.* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. Quito-Ecuador.

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 Agroindustrales, 9(1), 9-33. https://doi.org/10.23850/24220582.4023

Velásquez-Barreto, F. F., & Velezmoro-Sanchéz, C.E. (2022). MIcroencapsulation of purple mashua extracts using Andean tuber starches modified by octenyl succinic anhydride. *International Journal of Food Science*, 1-13. 10.1155/2022/8133970

Viera da Silva, B., Barreira, J. C. M., & Oliveira, M. B. P. P. (2016) Natural phytochemicals and prbiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. Trends in Food Science and Technology, 50, 142-144. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.007

Villanueva-Tiburcio, J. E., Bravo-Romaina, J. M., Briceño-Yen, H., & Vásquez-Rojas, E. (2023). Contenido de polifenoles totales, antocianinas y actividad antioxidante en arándanos nativos (Vaccinium floribundum H.B.K) de la región andina. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 10(3), 48-55. https://doi.org/10.53287/jdqm6148yi17u

Westfall, A., Sigurdson, G. T., Rodriguez-Saona, L. E., & Giusti, M. M. (2020). Ex vivo and in vivo assessment of the penetration of topically applied anthocyanins utilizing ART-

FTIR/PLS regression models and HPLC-PDA-MS. Antioxidants, 9(6), Artículo 486. https://doi.org/10.3390/antiox9060486

Xiao, Z., Xia, J., Zhao, Q., Niu, Y., & Zhao, D. (2022). Maltodextrina como material de pared para microcápsulas: una revisión. *Carbohydrate Polymers* [Polímeros de carbohidratos], 298, Artículo 120113. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120113

Zainal, Z., Heriadi, H., & Laga, A. (2025). Effectiveness of acidified ethanol extraction in extracting anthocyanin pigments of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 32*(1), 65-74. 10.15193/zntj/2025/142/530

Zakarian, J.A., & King, C. J. (1982). Volatiles loss in the nozzle zone during spray drying of emulsions. Industrial & Engineering Chemistry Process Desing and Development, 21(1), 107-113. https://doi.org/10.1021/i200016a019

Zambrano, J., Quintero, I., Valera, A., Maffei, M., Coraspe, H., & Materano, W. (2010). Evaluación de clones promisorios de papa (Solanum tuberosum L.) en el estado Trujillo. II. Atributos de calidad. Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ), 27(3), 399-417.

Zamora, S. J. D. (2007). Antioxidantes: Micronutrientes en lucha por la salud. Revista chilena de nutrición, 34(1), 17-26. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182007000100002

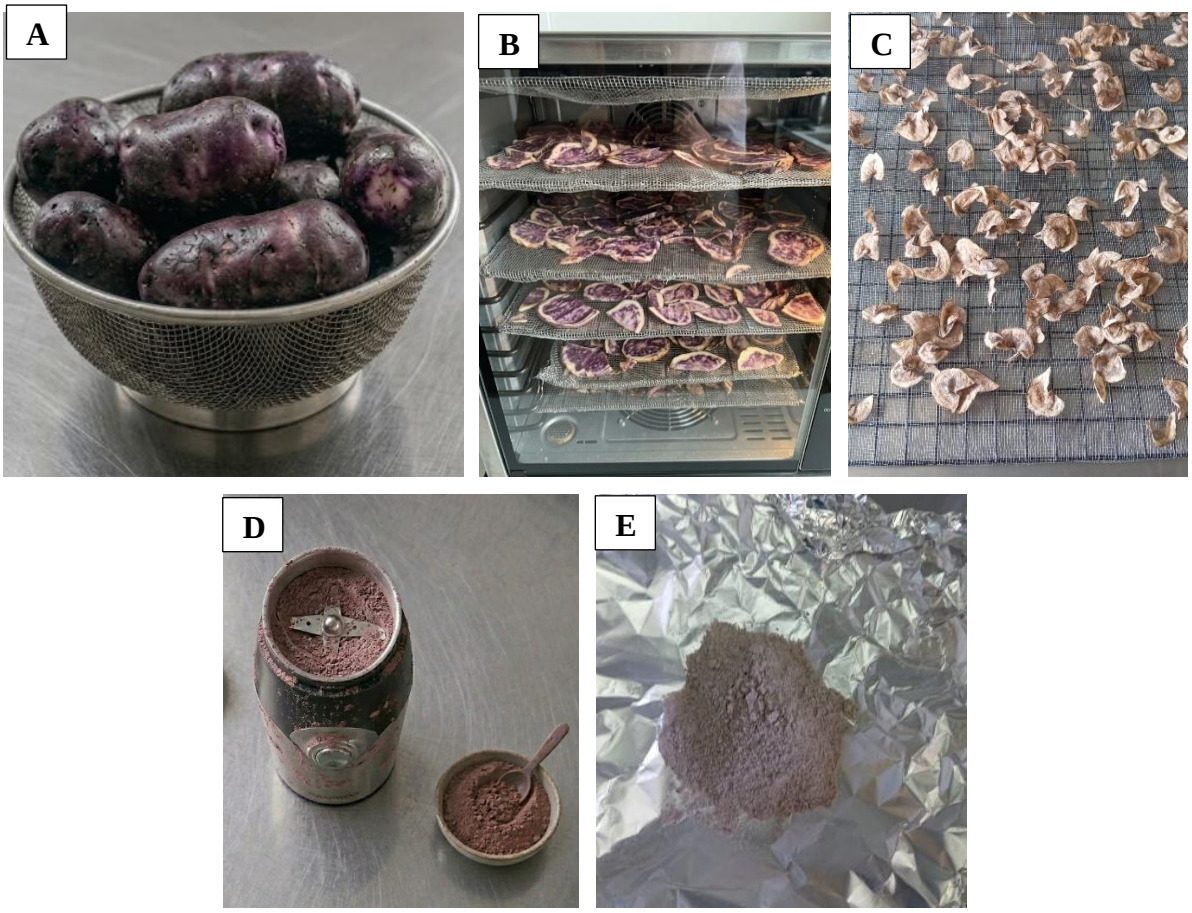
Zapata, A. E. T. (2020). Alimentos funcionales, bases conceptuales y su aplicación en el diseño de planes de alimentación. Biociencias, 15(1).

Zárate, E., Hernández, R. A., & Pérez, J. T. (2021). Microcápsulas y microesferas: una visión a la caracterización integral y aplicación para la liberación de medicamentos biotecnológicos. CienciaUAT, 21-36. https://doi.org/10.29059/cienciauat.v15i2.1472

ANEXOS

Anexo 1. *Recolección de papa (Solanum tuberosum L) clon 12-4-35.*

Anexo 2. *Preparación de la papa (Solanum tuberosum L.) clon12-4-35.*



A. Papa limpia de impurezas, B. Deshidratación de la papa, C. Rodajas deshidratadas, D. Papa triturada, E. Recolección de la papa molida.

Anexo 3. *Análisis de pH, acidez y sólidos solubles.*

A. Acidez, B. Sólidos solubles, C. pH.

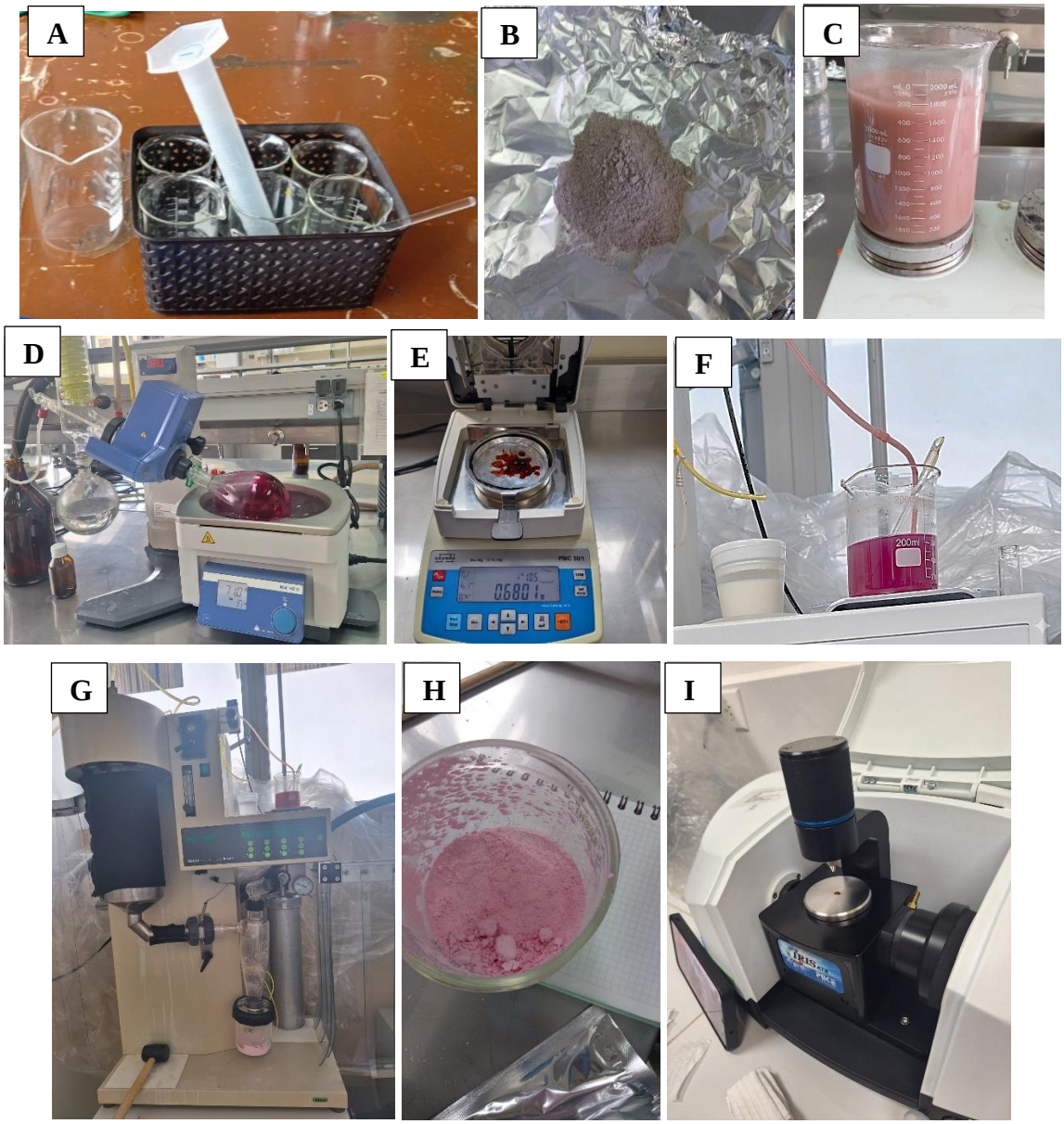
Anexo 4. *Análisis de ANOVA para antocianinas.*

Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	3	4216,61	1405,54	1505,46	0,000
Lineal	2	2851,49	1425,75	1527,11	0,000
A: Relación	1	288,02	288,02	308,50	0,000
B: Tiempo	1	2563,47	2563,47	2745,72	0,000
AB	1	1365,12	1365,12	1462,17	0,000
Error	8	7,47	0,93		
Total	11	4224,08			

Anexo 5. *Análisis de AVOVA para polifenoles.*

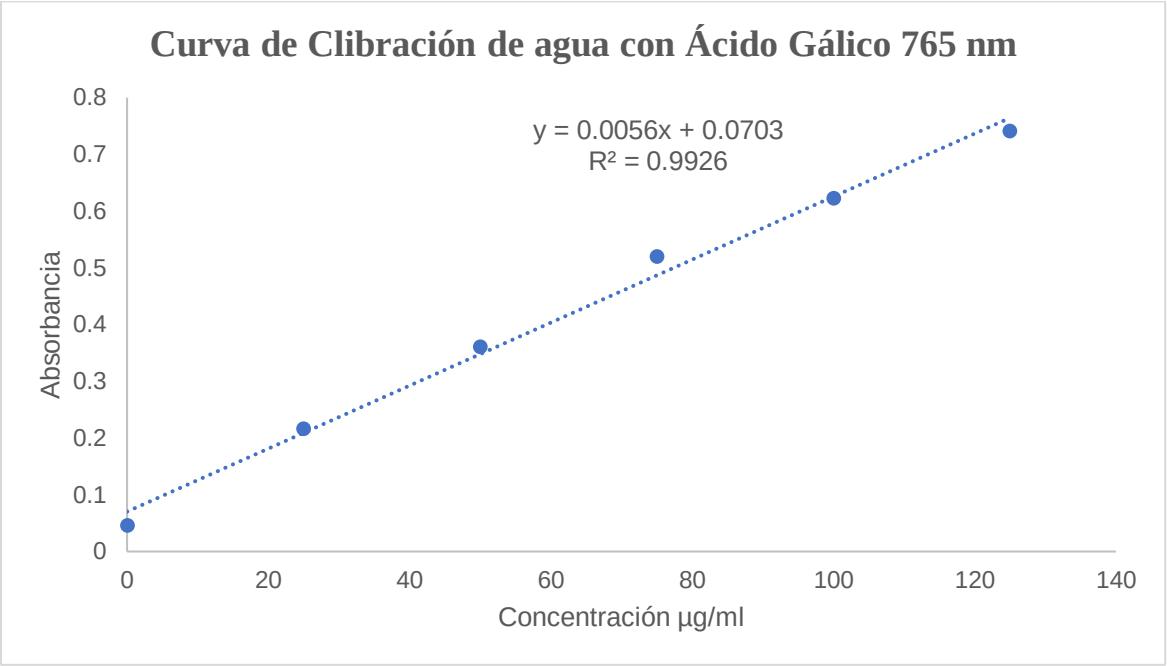
Fuente	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón F	Valor P
Modelo	3	181759	60585	7809,36	0,000
Lineal	2	18127	90763	11699,26	0,000
A: Relación	1	30972	30972	3992,21	0,000
B: Tiempo	1	150555	150555	19406,30	0,001
AB	1	229	229	29,56	0,001
Error	8	62	8		
Total	11	181818			

Anexo 6. *Proceso de extracción, microencapsulación y eficiencia de la microencapsulación de los compuestos bioactivos de la papa.*

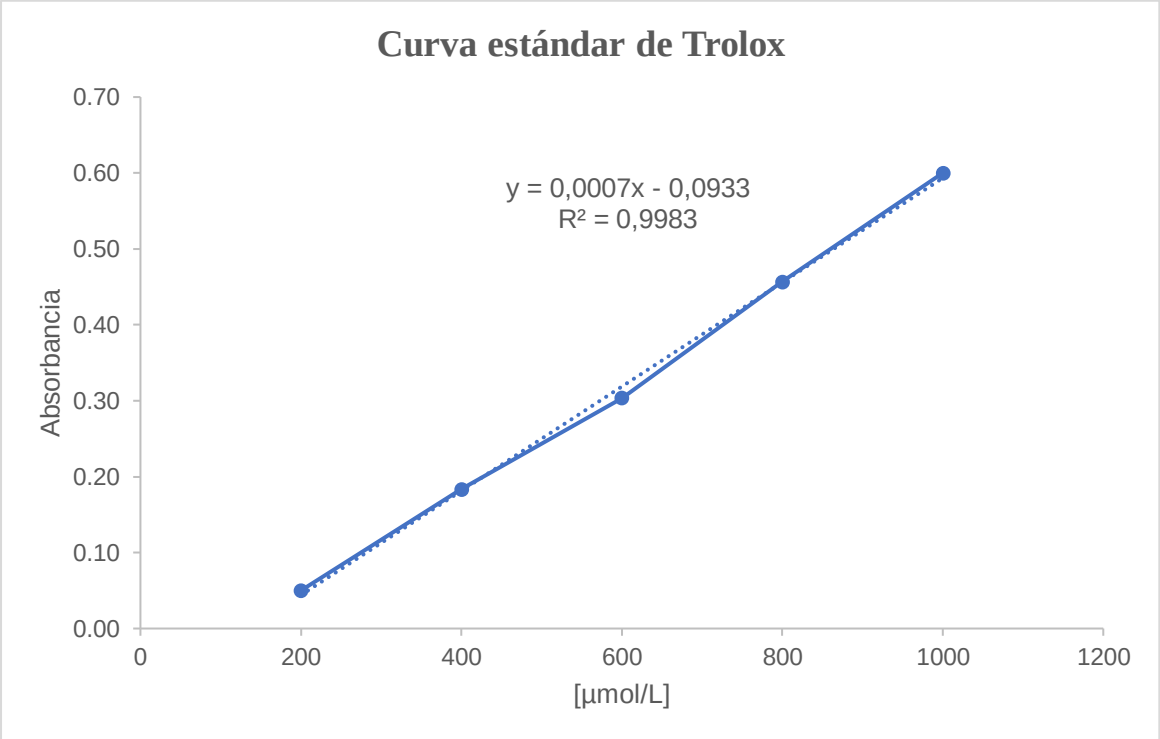


A. Preparación del material, B. Pesaje de la muestra deshidratada, C. Extracción en una plancha de calentamiento, D. Concentración del extracto mediante el Rotavapor, E. Determinación de la humedad del extracto, F. Preparación del extracto con la maltodextrina y agua destilada, G. Microencapsulación mediante secado por aspersión, H. Microencapsulado de la papa. I. Eficiencia del extracto y microencapsulado de la papa.

Anexo 7. *Curva de calibración de Ácido Gálico.*



Anexo 8. *Curva de calibración de Trolox.*



Anexo 9. *Análisis de la actividad antioxidante del microencapsulado de la papa (Solanum tuberosum L.) clon 12-4-35.*

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR | DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	IR-AA
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2026
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS N° 584

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Solicitante	Diana Molina
Muestras	Microencapsulado de papa clon 12-4-35
Código asignado UEB	INV 908
Estado de la muestra	Sólido
Envase de recepción	Funda plástica de cierre hermético con 47g aprox. de contenido de muestra.
Análisis requerido(s)	Actividad Antioxidante
Fecha de recepción	14 de mayo de 2026
Fecha de análisis	14 al 15 de mayo de 2026
Fecha de informe	15 de mayo de 2026
Técnico (s) asignado	MFQM

RESULTADOS OBTENIDOS

Código de laboratorio	Muestra	Análisis	Método de análisis	Unidad	Resultado
INV 908	Microencapasulado de papa clon 12-4-35	Actividad antioxidante	DPPH ((2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo)	µmol ET/ g muestra	9,91 ± 0,00

Los resultados de los análisis corresponden a 3 determinaciones por muestra.

Ing. María Fernanda Quinteros
TÉCNICA DE LABORATORIO DIVIUEB
ELABORADO

Ing. Favian Bayas PhD.
DIRECTOR DIVIUEB
REVISADO

Activar Windows
Ve a Configuración para ac