



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA



CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación del potencial antioxidante del extracto microencapsulado obtenido de los frutos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh mediante secado por aspersión y su formulación para una bebida natural.

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

Autor: Bryan Fernando Arriaga Zambrano

Tutor: Dr. José Homero Vargas López

Ambato - Ecuador

Julio - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Dr. José Homero Vargas López

CERTIFICA:

Que el presente Informe Final del Trabajo de Titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de 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, 17 junio de 2025.



Firmado electrónicamente por:
**JOSE HOMERO VARGAS
LOPEZ**
Validar únicamente con FirmaEC

Dr. José Homero Vargas López

1801978048

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Bryan Fernando Arriaga Zambrano, 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 Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.



Bryan Fernando Arriaga Zambrano

094054384-6

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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



Bryan Fernando Arriaga Zambrano

094054384-6

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:



Presidente del Tribunal



Dr. Orestes Darío López Hernández

175478486-4



Mg. María Daniela Garcés Moncayo

180357158-5

Ambato, 07 de julio de 2025

DEDICATORIA

Primordialmente a Dios por qué a pesar de todo me supo guiar en este camino duro que tuve que enfrentar, quizás cuando sentía que ya no podía más él siempre estaba conmigo y yo no me daba cuenta.

A mi madre, Mirella Zambrano, por ser el alma incansable detrás de cada uno de mis logros. Su esfuerzo silencioso, sus sacrificios constantes y su amor incondicional me sostuvieron en cada momento en que dudé de mí mismo. Ella no solo me dio la vida, sino también la fuerza para enfrentarla. Este logro es tan suyo como mío, porque sin su lucha, su fe y su ternura, yo no estaría aquí. Gracias por enseñarme que, incluso en medio de la adversidad, el amor de una madre puede con todo.

A ella, mi princesa, Nayla la niña que me robó el corazón y la mujer que quiero con mi vida. Estuviste ahí en cada paso, con tu mirada que ilumina mis días y tu amor que me dio motivos para seguir. Esta meta también es tuya, porque sin ti, nada habría sido igual.

A mi tía Martha Zambrano, primo Fabricio Sánchez y Jonathan Sánchez que día a día estuvieron constantemente apoyándome y siguiendo mi trayecto universitario.

A mi niño interior, por haber sostenido la esperanza aún en medio de la incertidumbre, por su fortaleza silenciosa y por no abandonar los sueños a pesar de las dificultades. A él, que enfrentó con valentía los desafíos propios de su tiempo, le dedico este logro como símbolo de crecimiento y reconciliación. Su resiliencia fue el inicio de este camino, y su memoria sigue siendo una fuente constante de inspiración.

Fernando Arriaga, 29

AGRADECIMIENTO

A mi madre, Mirella Zambrano, una madre digna de admirar, la que con esmero se esforzó por darme todo, recuerdo cuando era pequeño ella me decía que vamos a salir de esta y que por mi daría la vida, y eso lo cumplió, esa mujer si es dura, y la amo mucho, no encuentro palabras ni recursos para poder agradecerte todo lo que me has dado madre. Todo lo que me enseñaste, todo lo que me otorgaste lo pongo en práctica día a día madre de mi vida.

A mi padre, que con su ausencia desde los 9 años, la infancia, juventud, la vida fue muy dura, no había un padre a quien contar cosas de “hombres”, tu falta costo mucho y aún duele, pero gracias, gracias por enseñarme a que la vida puede ser tan dura desde tan temprana edad, tu silencio me enseñó que las cosas se hacen con hechos, y no con palabras, como lo hacías tú, gracias porque por ti pude ser fuerte y responsable, aún no soy un buen hombre, pero prometo que hare lo que tú no hiciste, simplemente gracias.

A ella, si a ti Nayla Martinez, otra vez dejo mi corazón aquí, gracias por su presencia significativa a lo largo de este proceso. Tu apoyo, comprensión y compañía fueron determinantes en los momentos más desafiantes, brindándome la motivación y serenidad necesarias para continuar. Tu sensibilidad, tu luz y la forma en que compartiste conmigo cada parte de este camino han dejado una huella imborrable. A ti, cuyo recuerdo permanece como una melodía constante “como aquella canción que nos acompañó y dio color a tantos instantes”, le agradezco profundamente por haber sido inspiración y fuerza en esta etapa de mi vida. Esta meta también es tuya, porque sin ti, nada habría sido igual, nada igual.

A mi niño interno, gracias por cada risa, cada llanto, lo estamos logrando, gracias por hacerme el hombre que hoy en día soy. Te amo mi niño.

Al Dr. Orestes, y al Dr. Homero, por su paciencia, por ser luz, guía y fuerza en este camino; su apoyo vive en mi corazón. ¡son unos cracks! ¡Gracias totales!

A mis amigos, cuya presencia ha sido determinante desde el momento en que llegaron a mi vida. A Patty, Katy, Naty, Nay, Jey y Tiff, por su apoyo y escucha constante. A David, Daniel, Andrés, Cris, Darwin, Patricio y Paul, por su resiliencia, su energía y su singular manera de acompañar. Cada uno representa una amistad genuina y significativa que guardo con profunda gratitud y estima, los quiero mucho mis guambras, llevan un espacio en mí guachito, att. su monito fav.

Fernando Arriaga, 29

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
RESUMEN EJECUTIVO.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1.- MARCO TEORICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Arrayan (<i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) Max Vaugh).....	1
1.1.2. Residuos de la fruta del Arrayan	2
1.1.3. Compuestos bioactivos	3
1.1.4. Antocianinas	4
1.1.5. Estrés oxidativo	5
1.1.6. Beneficios de las antocianinas	5
1.1.7. Polifenoles	6
1.1.8. Antioxidantes.....	7
1.1.9. Potencial antioxidante.....	8

1.1.10.	Beneficios de los polifenoles	9
1.1.11.	Microencapsulación.....	10
1.1.12.	Secado por aspersión	11
1.1.13.	Microencapsulación de antioxidantes y polifenoles.....	12
1.1.14.	Bebidas enriquecidas	12
1.2.	Objetivos.....	13
1.2.1.	Objetivo general	13
1.2.2.	Objetivos específicos	13
1.3.	Hipótesis	14
1.3.1.	Hipótesis nula	14
1.3.2.	Hipótesis alternativa	14
1.4.	Variables	14
1.4.1.	Variables independientes	14
1.4.2.	Variables dependientes	14
	CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA.....	14
2.1.	Materiales	14
2.1.1.	Material vegetal	14
2.1.2.	Reactivos	14
2.1.3.	Materiales de laboratorio	15
2.1.4.	Equipos	15
2.2.	Métodos	16
2.2.1.	Recolección de la planta	16
2.2.2.	Preparación de fruto.....	16
2.2.3.	Determinación de pH.....	16
2.2.4.	Determinación de sólidos solubles	17
2.2.5.	Determinación de Acidez Titulable.....	17

2.2.6.	Extracción de compuestos bioactivos.....	18
2.2.7.	Determinación de antocianinas del extracto de <i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) Max Vaugh.....	19
2.2.8.	Determinación sólidos totales del extracto de <i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) Max Vaugh.....	20
2.2.9.	Análisis de los datos en una base estadística para antocianinas	20
2.2.10.	Determinación de polifenoles totales de <i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) Max Vaugh.....	20
2.2.11.	Análisis de datos.....	21
2.2.12.	Microencapsulación de los compuestos bioactivos mediante secado por aspersió.....	22
2.2.13.	Eficiencia del microencapsulado	22
2.2.14.	Espectrofotometría Infrarroja	23
2.2.15.	Evaluación de la actividad antioxidante por método in vitro	23
2.2.16.	Elaboración de una bebida natural con el microencapsulado de <i>Myrcianthes hallii</i> (O.Berg) Max Vaugh.....	24
2.2.17.	Determinación de las propiedades sensoriales de la bebida natural	25
	CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.1.	Análisis y discusión de los resultados	25
3.1.1.	Diversos tratamientos empleados	25
3.1.3.	Diseño experimental para extracción de polifenoles	32
3.1.4.	Valores óptimos y deseabilidad para la extracción de antocianinas y polifenoles.....	36
3.1.5.	Microencapsulación de los polifenoles y antocianinas.....	38
3.1.6.	Espectroscopía infrarroja – FTIR	38
3.1.7.	Potencial antioxidante.....	40
3.1.8.	Elaboración de bebida natural	41
3.1.9.	Análisis sensorial.....	42

3.2.	Verificación de hipótesis	42
	CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
4.1.	Conclusiones.....	43
4.2.	Recomendaciones	44
	MATERIALES DE REFERENCIA	44
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables (concentración, tiempo) analizadas	18
Tabla 2. Niveles experimentales analizadas por medio del diseño factorial 22.....	18
Tabla 3. Tratamientos y diseño analizados.....	19
Tabla 4. Valores obtenidos de los tratamientos y replicas.	26
Tabla 5. Análisis de Varianza para AntBS	27
Tabla 6. Valor óptimo con relación a los parámetros estudiados.	28
Tabla 7. Análisis de Varianza para Polifenoles.....	32
Tabla 8. Valor óptimo con relación a los parámetros estudiados para polifenoles.	33
Tabla 9. Valores óptimos en relación con la extracción de antocianinas y polifenoles.	37
Tabla 10. Actividad antioxidante para el extracto y microencapsulado.....	41
Tabla 11. Formulación estándar de la bebida natural de Arrayan (<i>Myrcianthes hallii</i>).	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Pareto en la extracción de antocianinas en base seca de la fruta del Arrayan.	29
Figura 2. Efectos principales en la extracción de antocianinas en base seca de la fruta del Arrayan.	30
Figura 3. Gráfica de interacción para la extracción de antocianinas en base seca de la fruta del Arrayan.....	31
Figura 4. Superficie de respuesta en la extracción de antocianinas de la fruta del Arrayan.	32
Figura 5. Diagrama de Pareto en la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.	34
Figura 6. Efectos principales en la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan. .	35
Figura 7. Gráfica de interacción para la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.	35
Figura 8. Superficie de respuesta en la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.	36
Figura 9. Superficie de respuesta de la interacción entre antocianinas y polifenoles. ..	37
Figura 10. Curvas de los espectros visualizados en el FTIR, donde A es el concentrado del Arrayan, B es el polímero Maltodextrina, y C es el micro encapsulado.	39
Figura 11. Diagrama de las características sensoriales evaluadas en base a la aceptabilidad general.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Curva de calibración de agua con ácidogalico a 765nm.	54
Anexo 2. Curva de calibración de la solución madre Trolox.	54
Anexo 3. Preparación de las muestras para realizar análisis.	55
Anexo 4. Concentración y microencapsulación de los compuestos bioactivos.	55
Anexo 5. Elaboración de bebida fortificada con el microencapsulado.	55

RESUMEN EJECUTIVO

Myrcianthes hallii (O.Berg) Max Vaugh, siendo una planta endémica de los Andés, con una capacidad antioxidante representa una estrategia eficaz para proteger compuestos bioactivos sensibles, como antocianinas y polifenoles, frente a factores ambientales y procesos tecnológicos, resultando fundamental para el desarrollo de alimentos funcionales con alta estabilidad y valor añadido. Los extractos obtenidos de frutos de *Myrcianthes hallii*, fueron microencapsulados mediante secado por aspersión utilizando maltodextrina como agente encapsulante. Se aplicó un diseño factorial *dos al cuadrado* para analizar el efecto de relación sólido, líquido (1:20; 1:25) y tiempo de extracción (30, 45 minutos) sobre la retención de compuestos bioactivos. Los extractos fueron caracterizados mediante espectroscopía FTIR y se determinó su capacidad antioxidante mediante los métodos DPPH. Los resultados mostraron cómo condición óptima para maximizar la concentración de antocianinas y polifenoles fue relación sólido líquido de 1:25, tiempo de extracción 30 minutos. En base a estas condiciones se obtuvo que la capacidad antioxidante del extracto como microencapsulado en factor de dilución 0,025, el *porcentaje de Inhibición DPPH* para el extracto fue 79,506 *por ciento*, microencapsulado 298,0 *por ciento* además del trolox fue 372 más menos 14,52 (micromol) para el extracto y 265,186 más menos 21,79 (*micromol*). Además, evidenciando interacción significativa entre ambos factores, destacando que tiempos prolongados pueden reducir la estabilidad de los compuestos antioxidantes. La microencapsulación permitió conservar eficazmente estos compuestos, esto respalda su aplicación del desarrollo de bebidas funcionales con alto potencial antioxidante y ricos en estos mismos, permitiendo desarrollar una bebida natural, fortificada con los compuestos bioactivos obtenidos.

PALABRAS CLAVES: Antocianinas, polifenoles, compuestos bioactivos, *Myrcianthes hallii*, FTIR (Espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier), DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil).

ABSTRACT

Myrcianthes hallii (O.Berg) Max Vaugh, being an endemic plant of the Andes, with an antioxidant capacity represents an effective strategy to protect sensitive bioactive compounds, such as anthocyanins and polyphenols, against environmental factors and technological processes, being fundamental for the development of functional foods with high stability and added value. The extracts obtained from the fruits of *Myrcianthes hallii*, were microencapsulated by drying by spraying using maltodextrin as an encapsulating agent. A *two squared* factor design was applied to analyze the effect of solid, liquid ratio (1:20; 1:25) and extraction time (30, 45 minutes) on the retention of bioactive compounds. The extracts were characterized by FTIR spectroscopy and their antioxidant capacity was determined by DPPH methods. The results showed how optimal condition to maximize the concentration of anthocyanins and polyphenols was a solid/liquid ratio of 1:25, extraction time 30 minutes. Based on these conditions it was obtained that the antioxidant capacity of the extract as microencapsulated in dilution factor 0.025, the percentage of DPPH Inhibition for the extract was 79.506 percent, microencapsulated 29.280 percent, in addition to the trolox was 372 plus minus 14.52 (micromole) for the extract and 265.186 plus minus 21.79 (micromole). In addition, showing significant interaction between both factors, highlighting that prolonged times can reduce the stability of antioxidant compounds. The microencapsulation allowed these compounds to be effectively preserved, this supports its application of the development of functional drinks with high antioxidant potential and rich in them, allowing the development of a natural drink, fortified with the bioactive compounds obtained.

KEY WORDS: Anthocyanins, polyphenols, bioactive compounds, *Myrcianthes hallii*, FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil).

CAPÍTULO 1.- MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes investigativos

1.1.1. Arrayan (*Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh)

1.1.1.1.Generalidades

El arrayan, científicamente conocido como *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh, es un género vegetal el cual está incluido al orden taxonómico *Myrtaceae*. Este es un arbusto o árbol pequeño nativo de regiones andinas de América del Sur, especialmente en países como Ecuador y Perú. Esta planta ha sido tradicionalmente utilizada en la medicina popular por sus posibles propiedades beneficiosas para la salud (Cunalata et al., 2021).

Los frutos del arrayán son bayas pequeñas de color oscuro, que destacan por su sabor agrídulce y su alto contenido de compuestos fenólicos, los cuales están relacionados con efectos antioxidantes. Esta especie ha generado importancia en varios investigadores, esto debido al potencial de los frutos del arrayán, desarrollando productos naturales con valor funcional, como extractos antioxidantes o alimentos enriquecidos. Sin embargo, a pesar de su uso tradicional, aún se requiere más investigación para aprovechar plenamente sus propiedades nutricionales y bioactivas (Zura et al., 2024).

1.1.1.2. Beneficios del Arrayán (*Myrcianthes hallii*)

En el Arrayan además de su valor nutricional y los compuestos bioactivos que lo caracterizan, este presenta cualidades que lo posicionan como un recurso prometedor en el desarrollo de nuevos productos agroindustriales. Uno de los principales beneficios de esta especie es su versatilidad tecnológica. Gracias a la concentración natural de pigmentos, aromas y componentes fitoquímicos, los extractos derivados de sus frutos pueden utilizarse como ingredientes funcionales, colorantes naturales o agentes conservantes en alimentos, lo que responde a la creciente demanda del mercado por productos más naturales y con menos aditivos artificiales. Esta planta es rica en fitonutrientes, resaltando componentes como los polifenoles, flavonoides, antocianinas y taninos,

siendo estas reconocidas por sus propiedades antioxidantes. Estas moléculas actúan como protectores naturales del organismo, ya que ayudan a la neutralización de los radicales libres, encontrándose implicados directamente al incremento de afecciones crónicas, siendo no transmisibles, tal cual como afecciones cardiovasculares, diabetes, enfermedades neurodegenerativas e incluso ciertos tipos de cáncer (**Andrade et al., 2021**).

Desde una perspectiva de innovación en alimentos, el arrayán representa una oportunidad para diversificar matrices alimentarias, especialmente en productos dirigidos a consumidores interesados en alternativas saludables, sostenibles y con identidad local. Por otro lado, su adaptación a condiciones agroecológicas específicas de la región andina le confiere un valor añadido para el desarrollo territorial y el fortalecimiento de cadenas productivas rurales. El aprovechamiento integral del arrayán, tanto del fruto como de sus subproductos, permitiría promover prácticas agrícolas sostenibles, fomentar la economía local y rescatar especies nativas poco valoradas (**Cunalata et al., 2021**).

Este enfoque más integral de sus beneficios permite considerar al *Myrcianthes hallii* no solo como un recurso con propiedades saludables, sino también como un insumo estratégico para el desarrollo de alimentos innovadores, culturalmente significativos y con potencial de impacto socioeconómico.

1.1.2. Residuos de la fruta del Arrayan

En Ecuador, el desperdicio de alimentos es una problemática significativa. Según **FAO (2025)**, el país pierde anualmente alrededor de 939.000 toneladas métricas de alimentos, lo que representa aproximadamente el 3,62% de la producción total de alimentos. Esta pérdida equivale a un valor económico de USD 334 millones y podría haber alimentado a 1,5 millones de personas.

El *Myrcianthes hallii*, a pesar de sus propiedades nutricionales y funcionales de sus frutos, se observa que en muchos cultivos y zonas silvestres no se realiza una recolección ni aprovechamiento sistemático de esta fruta. Esto resulta en una considerable cantidad de frutos que caen al suelo y se descomponen, generando residuos orgánicos que no son utilizados ni transformados en productos de valor

agregado. Este desaprovechamiento no solo representa una pérdida de recursos naturales con propiedades potencialmente beneficiosas, sino que también evidencia una falta de articulación entre el conocimiento tradicional, el desarrollo científico y las oportunidades de innovación local. Los residuos del arrayán, que incluyen tanto frutos enteros no utilizados como partes no comestibles del fruto (como las cáscaras o semillas), podrían ser empleados en diversas aplicaciones si se implementaran estrategias adecuadas de recolección, procesamiento y valorización **(Cunalata et al., 2021)**.

Además, el manejo adecuado de estos residuos podría contribuir a reducir el impacto ambiental derivado de su descomposición en campo y abrir nuevas posibilidades en sectores como la agroindustria, la cosmética natural o la elaboración de bioinsumos. En este sentido, el desafío radica en visibilizar el potencial oculto de estas frutas subutilizadas y fomentar líneas de investigación y desarrollo que integren a las comunidades productoras, con el fin de rescatar un recurso endémico valioso tanto desde lo económico, así como ecológico y cultural **(Buenaño, 2022)**.

1.1.3. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son sustancias químicas, se encuentran en alimentos de origen vegetal (y algunos de origen animal) que, a pesar de no ser esenciales para el crecimiento, tienen un efecto positivo en la salud humana. Estos compuestos tienen la capacidad de influir en diversos procesos biológicos en el organismo, aportando a la prevención de enfermedades, como pueden mejorar la calidad de vida **(Jha, 2022)**.

Entre los compuestos bioactivos más conocidos se incluyen los flavonoides (como antocianinas), polifenoles, carotenoides, terpenos, alcaloides y glucosinolatos. Muchos de estos compuestos se encuentran en frutas, verduras, especias, hierbas y otros productos naturales. Por ejemplo, los carotenoides, como el betacaroteno y el licopeno, son precursores de la vitamina A y tienen propiedades antioxidantes que se han considerado importantes tanto en la salud de la dermis como la ocular. De igual manera se ha evidenciado efectos antiinflamatorios, antimicrobianos y hasta anticancerígenos en compuestos orgánicos naturales como los terpenos y alcaloides **(Gono, 2022)**.

La creciente demanda de alimentos funcionales ha impulsado el interés por los compuestos bioactivos debido a sus propiedades beneficiosas, que van más allá de los nutrientes tradicionales. Estos compuestos no solo proporcionan valor nutricional, sino que también ofrecen propiedades protectoras contra el envejecimiento celular y mejoran el sistema inmune, la digestión, e incluso la salud mental. Además, los compuestos bioactivos han sido objeto de investigación en el desarrollo de productos nutracéuticos (alimentos con efectos terapéuticos) y suplementos dietéticos **(Jha, 2022)**.

1.1.4. Antocianinas

Las antocianinas son compuestos bioactivos evidenciados en el grupo de los flavonoides, responsables de los colores rojos, morados y azules en muchas frutas, verduras y flores. Estas sustancias son glucósidos de antocianidinas, lo que significa que se componen de una antocianidina unida a un azúcar. Las antocianinas son conocidas principalmente por su potente capacidad antioxidante, permitiendo la neutralización de los radicales libres, donde si estas no se mantienen estabilizadas, y se tienen en exceso, pueden llegar a ser malas para ciertas células y destruyéndose, generando una serie de enfermedades y el envejecimiento prematuro **(Enaru et al., 2021)**.

Al actuar como antioxidantes, las antocianinas son beneficiosas tanto para células, genes, como proteínas de que no haya daño oxidativo, favoreciendo la salud celular y contribuyendo a un envejecimiento más lento. Además de sus propiedades antioxidantes, las antocianinas tienen efectos antiinflamatorios, ya que pueden inhibir la producción de citoquinas y prostaglandinas, moléculas involucradas en las respuestas inflamatorias del cuerpo **(Sinopoli et al., 2019)**.

En frutas y vegetales se han hallado presencia de antocianinas, donde más comúnmente se da es las moras, cerezas, uvas rojas, fresas, arándanos, frambuesas, berenjenas, coles rojas y zanahorias moradas. También están presentes en bebidas como el vino tinto, que obtiene sus antocianinas de las uvas. Estos alimentos a más de las antocianinas también proporcionan otros compuestos bioactivos beneficiosos para la salud **(Kammerer, 2024)**.

1.1.5. Estrés oxidativo

Trata de la fluctuación que se da entre radicales libres presentes y la capacidad del cuerpo para neutralizarlos mediante mecanismos antioxidantes. Los radicales libres son moléculas inestables que contienen uno o más electrones desapareados, lo que las hace altamente reactivas. Esta reactividad les permite interactuar con otras moléculas en el cuerpo, como proteínas, lípidos y ADN, causando daños celulares y alterando las funciones biológicas normales (**Chaudhary et al., 2023**).

Enfermedades como diabetes, neurodegenerativas, cardiovasculares, envejecimiento prematuro, entre otras, son involucradas por el desarrollo del estrés oxidativo, además cabe destacar que el cuerpo, el sistema contiene mecanismos antioxidantes donde se incluyen enzimas y moléculas no enzimáticas, que evitan el daño celular (**Aborode et al., 2022**).

Sin embargo, factores como una dieta inadecuada, la exposición a contaminantes ambientales, el tabaquismo, la radiación ultravioleta y el estrés emocional pueden sobrecargar al sistema y de igual manera no se permitirá la neutralización de estos radicales presentes. Una dieta saludable y alta en proteínas y alimentos con alto porcentaje de antioxidantes, además de estimular el cuerpo a partir de actividad física, puede ser beneficiosa para evitar los efectos del estrés oxidativo (**Rudrapal et al., 2022**).

1.1.6. Beneficios de las antocianinas

Las antocianinas que se encuentran presentes en la clase de flavonoides, son compuestos bioactivos ideales para el consumo presentes en el reino plantae, siendo responsables de los colores rojos, azules y morados. Además de su función estética, las antocianinas poseen numerosos beneficios para la salud, derivados principalmente de sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y protectoras frente a diversas enfermedades crónicas (**Alam et al., 2021**).

En primer lugar, las antocianinas se destacan por su potente actividad antioxidante, siendo estas las causantes de neutralizar todo tipo de radicales presentes en el mismo, siendo perjudiciales para las células y proteínas, como consecuencia de este proceso puede existir enfermedades crónicas y además del envejecimiento prematuro al alterarse las células por acumulación de radicales.

Al reducir este daño oxidativo, las antocianinas protegen la salud celular y contribuyen a un envejecimiento más saludable **(Bakuradze et al., 2019)**.

En segundo lugar, las antocianinas tienen propiedades antiinflamatorias. Estas sustancias pueden inhibir la producción de citoquinas y prostaglandinas, moléculas involucradas en los procesos inflamatorios del cuerpo. Siendo causante de enfermedades como artritis, algunos tipos de cáncer, y enfermedades cardiovasculares. Por lo tanto, el consumo de antocianinas puede ser beneficioso, disminuyendo las inflamaciones presentes y, en consecuencia, disminuir el riesgo de desarrollar estas enfermedades **(Keske et al., 2022)**.

Proteger el sistema cardiovascular es otro de los argumentos positivos que contiene el consumo de alimentos ricos en antocianinas. Se ha demostrado mediante análisis in vitro que las antocianinas protegen a los vasos sanguíneos, favoreciendo la función específica de estos, permitiendo una mejor circulación sanguínea y puede ayudar a reducir la presión arterial. La oxidación del LDL presente en el organismo se prevé gracias a la presencia de antocianinas, además de menorar la presencia de placas de grasa en arterias **(Jang et al., 2023)**.

Las antocianinas también tienen efectos neuroprotectores, ya que pueden proteger las células cerebrales del daño oxidativo y favorecer la función cognitiva. Varios estudios han demostrado que el consumo de alimentos ricos en antocianinas puede mejorar la memoria, la atención y el rendimiento cognitivo, así como reducir el riesgo de enfermedades neurodegenerativas, como el Alzheimer y el Parkinson **(Panchal, 2022)**.

1.1.7. Polifenoles

Los polifenoles son una clase de compuestos bioactivos presente en diversas plantas que tienen una estructura química que contiene múltiples grupos fenólicos. Siendo los causantes de grandes aportes en la ingesta de ellos, atribuidos a los alimentos de origen vegetal. Los polifenoles se dividen en varias categorías, siendo las principales los flavonoides, los ácidos fenólicos y de igual manera los lignanos, entre otros. La función principal de los polifenoles en las plantas es actuar como defensores naturales contra factores ambientales como la radiación ultravioleta, las infecciones y los daños causados por plagas. Además, estos

compuestos desempeñan un papel importante en las plantas en cuanto a la persuasión de insectos y dispersores de semillas debido a sus colores y aromas característicos, permitiendo la polinización **(Berteli et al., 2021)**.

En los seres humanos, los polifenoles no son esenciales para el funcionamiento básico del cuerpo, pero poseen propiedades biológicas activas que tienen efectos protectores en diversos sistemas orgánicos. Se encuentran en alimentos como frutas, verduras, té, vino tinto, chocolate oscuro y frutos secos. Los polifenoles son reconocidos principalmente por su capacidad para actuar como antioxidantes, capturando y reduciendo la presencia de los radicales que se encuentran en el sistema o medio y generen algún daño celular. Además, son conocidos por sus efectos antiinflamatorios y moduladores del metabolismo, y por su capacidad para interactuar con diversos receptores celulares y enzimas que desempeñan un papel en procesos biológicos importantes **(Zheng et al., 2022)**.

La biodisponibilidad de los polifenoles, es decir, su capacidad para ser absorbidos y utilizados por el cuerpo puede depender de varios factores, incluidos la estructura química de cada tipo de polifenol, la forma en que se consume (por ejemplo, crudo o procesado) y la presencia de otras sustancias en los alimentos que puedan influir en su absorción. Aunque los polifenoles no son nutrientes esenciales, su consumo regular a través de la dieta está asociado con efectos positivos en la salud, debido a su capacidad para influir en diversas rutas metabólicas y fisiológicas **(Berteli et al., 2021)**.

1.1.8. Antioxidantes

Tienen la capacidad de equilibrar en el organismo la cantidad de radicales presentes, siendo estas moléculas de carácter reactivas, produciéndose naturalmente en el organismo durante los procesos metabólicos, como la respiración celular, cabe recalcar que este exceso de radicales se puede generar de igual manera por efectos exteriores como la radiación, contaminación, tabaquismo, y sobre todo estrés. Este proceso puede generar daño a células y proteínas, siendo muy inestables y reaccionando con otras moléculas, siendo los principales causantes que pueden generar enfermedades cardiovasculares, o envejecimiento prematuro **(Gulcin, 2020)**.

Se puede evitar el daño oxidativo, gracias a que los antioxidantes permiten la donación de electrones a los radicales presentes en el organismo, se puede equilibrar su reactividad, la superóxido dismutasa entre otras enzimas, son antioxidantes endógenos los cuales pueden ser generados por el propio organismo, además de otros antioxidantes que pueden ser obtenidos por ejemplo de la dieta diaria, siendo estos exógenos. Estos antioxidantes se encuentran principalmente en frutas, verduras, nueces, semillas y productos derivados del té o el café. Además, algunos compuestos de origen vegetal, como los polifenoles, también tienen propiedades antioxidantes potentes, además de ofrecer otros beneficios para la salud, como efectos antiinflamatorios **(Parcheta et al., 2021)**.

El orden entre radicales y antioxidantes se puede dar a partir de una dieta rica en compuestos bioactivos, gracias a este equilibrio se evita las enfermedades y el daño celular. Además de su papel como agentes protectores contra el daño oxidativo, algunos antioxidantes también tienen efectos positivos sobre el sistema inmunológico, la salud cardiovascular, la función cognitiva y la regulación del metabolismo **(Balbuena et al., 2019)**.

1.1.9. Potencial antioxidante

El potencial antioxidante hace referencia a la capacidad que posee una sustancia, compuesto, extracto vegetal o alimento para neutralizar radicales libres y, por tanto, prevenir o reducir el daño oxidativo que estos pueden causar en las células y tejidos del organismo. Este potencial se relaciona directamente con la presencia y concentración de compuestos antioxidantes presentes en la muestra, tales como polifenoles, flavonoides, antocianinas, vitaminas y otros fitoquímicos. La relación de ciertas enfermedades como el envejecimiento celular se encuentra dirigido al exceso de radicales presentes en el organismo, por lo que la evaluación del potencial antioxidante es un indicador importante para estimar los beneficios funcionales y protectores que un alimento o extracto natural podría ofrecer en términos de salud **(Zafar et al., 2023)**.

Para determinar el potencial antioxidante, se emplean distintos ensayos in vitro, entre los cuales destacan los siguientes métodos, el 2,2-difenil-1-picrilhidrazil o DPPH, ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), FRAP (potencial de reducción férrica) y ORAC (capacidad de absorción de radicales de

oxígeno). Estos ensayos miden la capacidad de una muestra para donar electrones o hidrógenos a radicales libres, generando así una reducción de su reactividad. Los resultados obtenidos permiten comparar la eficacia antioxidante entre diferentes compuestos o productos, y se expresan comúnmente en términos equivalentes a antioxidantes estándar como lo es el reactivo Trolox **(Gaber et al., 2023)**.

El potencial antioxidante de un alimento o ingrediente también puede verse influenciado por factores como su origen, madurez, condiciones de procesamiento, almacenamiento y la interacción que se da con los diversos componentes bioactivos. Esta propiedad es valorada en el área investigativo como el desarrollo de alimentos funcionales, especialmente para formular suplementos, nutraceuticos o alimentos enriquecidos con capacidad protectora frente al estrés oxidativo **(Jakubczyk et al., 2020)**.

1.1.10. Beneficios de los polifenoles

La capacidad de tener efectos positivos en el organismo se da a partir de los componentes bioactivos, destacados en plantas, vegetales. Entre sus principales beneficios, se encuentra su potente acción antioxidante, ya que son capaces de estabilizar los radicales presentes, ya que, si estas moléculas se encuentran en exceso, pueden llegar a causar alteraciones en el organismo, tales como daño al medio celular, algunos tipos de cáncer, envejecimiento, o enfermedades neurodegenerativas **(Rana et al., 2022)**.

Además de su efecto antioxidante, los polifenoles poseen propiedades antiinflamatorias, ya que pueden permitir la generación de citoquinas proinflamatorias, además de reducir aquellas enzimas que permiten la inflamación, siendo estos puntos claves, para así menorar enfermedades relacionadas con procesos inflamatorios sostenidos **(Yan et al., 2020)**.

Otro beneficio relevante es su influencia positiva en la salud cardiovascular, ya que contribuyen a mejorar la función endotelial, además de menorar el riesgo en arterias, y mejorar el perfil lipídico, lo cual en conjunto favorece a la salud del sistema circulatorio. En cuanto al sistema nervioso, algunos polifenoles muestran

efectos neuro protectores al preservar la integridad de las neuronas, mejorar la comunicación celular y reducir el daño oxidativo cerebral **(Fraga et al., 2019)**.

También se ha estudiado su efecto positivo sobre la microbiota intestinal, ya que ciertos polifenoles actúan como prebióticos, favoreciendo el crecimiento de bacterias beneficiosas y promoviendo un equilibrio intestinal saludable, que a su vez se relaciona con la mejora del sistema inmune y la salud metabólica. Además, algunos polifenoles poseen actividad antimicrobiana y antiviral, lo que los hace útiles como agentes de defensa natural frente a infecciones. Se encuentran principalmente en frutas, verduras, legumbres, cereales integrales, té, café, vino tinto, cacao y aceite de oliva, por lo que una dieta rica en estos alimentos contribuye de manera significativa al bienestar general **(Yan et al., 2020)**.

1.1.11. Microencapsulación

La microencapsulación es una tecnología que consiste en recubrir o encerrar partículas pequeñas de un compuesto activo dentro de una matriz o cubierta protectora de tamaño microscópico. Este proceso permite proteger, aislar, controlar la liberación o mejorar la estabilidad de ingredientes sensibles como vitaminas, minerales, enzimas, extractos naturales, aceites esenciales, compuestos bioactivos y fármacos. El material que forma la cápsula, conocido como material de pared o agente encapsulante, puede estar compuesto por polímeros naturales o sintéticos, como gomas, almidones, proteínas o lípidos, seleccionados según el tipo de compuesto a encapsular y el uso final deseado **(Calderón, 2022)**.

Uno de los principales objetivos de la microencapsulación es preservar la funcionalidad y actividad de los compuestos encapsulados frente a condiciones adversas, como la exposición al oxígeno, la luz, el calor o el pH. Esto es especialmente importante en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos, donde la estabilidad de los ingredientes activos es crucial para mantener su eficacia. Además, la microencapsulación permite mascarar sabores, olores o colores indeseados, lo cual es útil en formulaciones alimentarias o farmacéuticas **(Ozkan, 2019)**.

Otra ventaja importante de esta tecnología es que permite lograr una liberación controlada o dirigida del compuesto activo en el lugar y momento deseado, lo que

puede aumentar su eficacia y reducir efectos secundarios. Por ejemplo, en el ámbito alimentario y nutracéutico, se puede diseñar una cápsula que libere los compuestos bioactivos en el intestino en lugar del estómago, mejorando su absorción. Existen diversas técnicas de microencapsulación, entre las más utilizadas están el secado por aspersión (*spray drying*), la coacervación, la extrusión y la gelificación iónica, cada una con características específicas que se adaptan a diferentes tipos de compuestos y aplicaciones (Yan, et al. 2022).

1.1.12. Secado por aspersión

El secado por aspersión, o *spray drying*, es una técnica ampliamente utilizada para transformar soluciones, emulsiones o suspensiones líquidas en polvos secos, esto a partir de que se genera una onda de aire caliente, permitiendo la atomización del líquido. Gracias a este medio se puede obtener partículas secas de forma rápida, eficiente y con propiedades deseadas para su conservación, manejo y aplicación en diversos productos. Durante el proceso, la mezcla líquida es introducida en una cámara de secado a través de un atomizador que la convierte en gotas muy finas. Estas gotas entran en contacto inmediato con aire caliente, lo que provoca la evaporación casi instantánea del solvente, generalmente agua, y da lugar a partículas sólidas que se recogen posteriormente (Filkova, 2020).

Esta tecnología es especialmente útil en la microencapsulación de compuestos bioactivos sensibles como antioxidantes, vitaminas, aceites esenciales y extractos naturales, ya que permite protegerlos de factores externos como el oxígeno, la luz o el calor, y así prolongar su vida útil y estabilidad funcional. Para obtener una eficiencia alta de este método, se debe realizar una adecuada elección y proporción del agente encapsulante o polímero, el cual actúa como material de recubrimiento del compuesto activo. En este contexto, uno de los polímeros más empleados es la maltodextrina, un carbohidrato de bajo peso molecular derivado del almidón, que ofrece importantes ventajas como su alta solubilidad en agua, baja viscosidad, buen comportamiento frente a la atomización, capacidad de formar películas protectoras alrededor del núcleo activo y su compatibilidad con alimentos (Samborska et al., 2022).

El uso de maltodextrina como agente encapsulante permite obtener un polvo con buena fluidez, alta estabilidad, sabor neutro y buena capacidad de rehidratación,

lo cual es ideal para aplicaciones en la industria alimentaria, nutracéutica y farmacéutica. Además, la combinación de condiciones adecuadas de temperatura, presión y formulación permite obtener productos microencapsulados de alta calidad, con buen rendimiento y retención de compuestos activos **(Rodríguez, 2021)**.

1.1.13. Microencapsulación de antioxidantes y polifenoles

La microencapsulación de antioxidantes y polifenoles ha generado un impacto positivo, ya que ha permitido la elaboración de productos funcionales, al permitir la protección y aprovechamiento eficiente de estos compuestos bioactivos. En términos generales, esta aplicación tecnológica busca preservar la actividad de sustancias con alto valor biológico que, por su naturaleza química, suelen ser inestables frente a factores como el oxígeno, la luz o el pH. Los antioxidantes, por su capacidad para neutralizar radicales libres, y los polifenoles, por su diversidad estructural y funcional, son componentes clave en la formulación de alimentos como de suplementos, los cuales pueden llegar a ser beneficiosos en el organismo **(Sailema, 2024)**.

1.1.14. Bebidas enriquecidas

Las bebidas enriquecidas son productos líquidos diseñados para aportar, además de su valor nutricional básico, componentes funcionales o bioactivos que pueden generar beneficios adicionales para la salud del consumidor. Estas bebidas se han convertido en una tendencia creciente dentro del mercado de alimentos funcionales, impulsadas por la demanda de productos que no solo hidraten, sino que también contribuyan al bienestar físico y mental. Su formulación incorpora ingredientes como vitaminas, minerales, antioxidantes, polifenoles, aminoácidos, extractos de plantas, probióticos y otros compuestos con propiedades fisiológicas positivas **(Tiwari et al., 2024)**.

El objetivo principal de las bebidas enriquecidas es prevenir o reducir el riesgo de enfermedades crónicas, mejorar funciones específicas del organismo, como la inmunidad, la digestión, la concentración o el rendimiento físico, y responder a estilos de vida más saludables. En este sentido, se han desarrollado bebidas orientadas a diferentes segmentos poblacionales y necesidades específicas, como

bebidas energizantes, relajantes, hidratantes, antienvjecimiento o con acción antioxidante (Viera, 2022).

La incorporación de ingredientes activos en estas bebidas requiere una formulación cuidadosa, ya que muchos compuestos bioactivos son sensibles al calor, la luz o el pH, lo que puede afectar su estabilidad y eficacia. Por esta razón, se recurre a tecnologías como la microencapsulación para asegurar su protección y mantener sus propiedades hasta el momento de consumo. Además, se busca mantener una buena aceptabilidad sensorial en cuanto a sabor, aroma, color y textura, factores que se deben de tener como punto esencial hacia el consumidor (Ahmad, 2019).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el potencial antioxidante del extracto microencapsulado obtenido de los frutos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh mediante secado por aspersión y su formulación para una bebida natural.

1.2.2. Objetivos específicos

- Obtener un extracto microencapsulado rico en compuestos bioactivos de los frutos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh mediante secado por aspersión
- Evaluar la capacidad antioxidante del extracto microencapsulado por el método in vitro (DPPH)
- Elaborar una formulación de una bebida natural a base de los compuestos bioactivos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh optimizando sus propiedades sensoriales.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis nula

A partir del extracto del *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh no se obtendrán compuestos bioactivos para la elaboración de una bebida fortificada con los compuestos microencapsulados.

1.3.2. Hipótesis alternativa

A partir del extracto del *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh se obtendrán compuestos bioactivos para la elaboración de una bebida fortificada con los compuestos microencapsulados.

1.4. Variables

1.4.1. Variables independientes

Relación material vegetal-disolvente: 1: 20; 1: 25

Tiempo de extracción: 30 y 45 minutos

1.4.2. Variables dependientes

Concentración de sólidos totales, antocianinas y polifenoles

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

2.1.1. Material vegetal

- Frutos del Arrayan (*Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh).

2.1.2. Reactivos

- Reactivo de Folin-Ciocalteu
- DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)
- Solución madre Trolox
- Fenolftaleína

- Hidróxido de sodio
- Carbonato de sodio
- Ácido cítrico
- Ácido gálico
- Etanol 96%
- Maltodextrina
- Metanol
- Agua destilada

2.1.3. Materiales de laboratorio

- Balón de aforo
- Vaso de precipitación (500 ml)
- Probeta plástica
- Micropipeta de 2 – 20 μL y 100 – 1000 μL
- Caja de puntas de 2 – 20 μL y 100 – 1000 μL
- Tubos Eppendorf de 2 ml
- Varilla de vidrio
- Mortero
- Crisol de porcelana
- Botella ámbar (1000 ml)
- Placa de 96 pocillos
- Discos de papel filtro
- Toallas de papel
- Matraces Erlenmeyer (500, 1000 ml)
- Papel aluminio
- Fundas ziploc

2.1.4. Equipos

- Balanza de humedad MLS 50-3 – KERN
- Deshidratador por convección
- Potenciometro
- Spray Dryer B-290 – BUCHI
- Rotavapor RV8 – IKA

- Balanza analítica ADVENT UR PRO MODEL AV264C – OHAUS
- Plato calentador con agitación magnética C-MAG-HS 7 – IKA
- Espectrofotómetro ACCUSK AN GO – FISHER SCIENTIFIC
- Centrifuga de alta velocidad Z 36 HK – HERMLE
- Espectrofotómetro de infrarrojo de TF
- Potenciómetro

2.2. Métodos

2.2.1. Recolección de la planta

La recolección de frutos maduros de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh se llevó a cabo en el cantón Mocha, perteneciente a la provincia de Tungurahua, Ecuador. Este sitio está localizado en las coordenadas geográficas 1° 25' 0" de latitud sur y 78° 40' 0" de longitud oeste. Posteriormente, el material vegetal recolectado fue almacenado en recipientes plásticos estériles y conservado a temperatura ambiente para garantizar la integridad de las muestras.

2.2.2. Preparación de fruto

Los frutos fueron sometidos a un proceso de limpieza inicial para eliminar impurezas y residuos externos. Posteriormente, el material vegetal se deshidrató durante un período de 24 horas a una temperatura constante de 140 °F (60 °C) con el propósito de reducir su contenido de humedad. Finalmente, los frutos deshidratados serán triturados hasta obtener un polvo fino, adecuado para su posterior análisis o procesamiento (Chavez, 2016).

2.2.3. Determinación de pH

Para el pH se determinó utilizando un potenciómetro a partir de la muestra vegetal, siguiendo el procedimiento descrito en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 1842 (2013). Según esta metodología, la medición se realizó directamente sobre una solución preparada mediante la mezcla de 5 gramos de la muestra con 45 ml de agua destilada. Este protocolo garantizó la precisión y reproducibilidad del análisis de pH.

2.2.4. Determinación de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles (°Brix) se determinó mediante el uso de un refractómetro digital, siguiendo el procedimiento establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN-ISO 2173 (2013)**. Lo cual aseguró la precisión en la medición de la concentración de sólidos solubles en la muestra.

2.2.5. Determinación de Acidez Titulable

El procedimiento para la determinación de la acidez titulable inicio con el lavado del electrodo del potenciómetro utilizando agua destilada, evitando algún tipo de contaminación y alteración del resultado, esto se realizó hasta estabilizar el registro en un valor de pH cercano a 6. Posteriormente, se preparó la muestra en un matraz volumétrico, mezclando 5 gramos de la misma con 45 ml de agua destilada, asegurando su homogeneización. Se realizó la primera lectura de pH de esta solución.

A continuación, se agregaron 2 gotas de fenolftaleína como indicador y se agregó una solución 0,1 N de hidróxido de sodio (NaOH), con agitación continua, hasta que el potenciómetro registre un pH de 6. Seguidamente, se continuó agregando la solución 0.1 N de NaOH para alcanzar un pH de 7. Finalmente, se agregaron 4 gotas por vez de la misma solución hasta registrar un pH de 8,3. Durante todo el proceso, se registró el volumen de NaOH empleado y el pH obtenido después de cada adición. Para calcular el volumen exacto de solución 0,1 N de NaOH que corresponde a un pH de 8,1, se aplicó el método de interpolación. La acidez titulable se determinó utilizando la siguiente ecuación (1) específica que considere los datos obtenidos durante el procedimiento experimental.

$$A = \frac{(V_1 * N_1 * M) * 10}{V_2} \quad (1)$$

Donde:

A = Gramos de ácido en 1000 mL de producto

V1 = Volumen (mL) de NaOH usados para la titulación de la alícuota

N1 = Normalidad de la solución de NaOH

M = Peso molecular del ácido considerado como referencia

V2 = Volumen de la alícuota tomada para el análisis

(NTE-INEN-ISO 750, 2013)

2.2.6. Extracción de compuestos bioactivos

La técnica empleada por **Llerena (2024)**, se utilizó para la extracción de compuestos bioactivos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh. En este método se empleó como solución extractora una mezcla de etanol y ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) 1N en una proporción 85:15. Para el procedimiento, la muestra deshidratada y triturada (100 gramos) se combinó con el solvente en una relación 1:20 y 1:25 por 30 y 45 minutos, donde estas variables fueron evaluadas a partir del análisis del diseño factorial 2^2 .

Tabla 1. Variables (concentración, tiempo) analizadas

Variable dependiente	Variable independiente
Cc de sólidos	Dis. (Etanol + ác. Cítrico): 1:20 y 1:25
Cc de antocianinas	Tiempo: 30 y 45 minutos

Nota: Cc es la concentración tanto de sólidos como antocianinas, Dis es el disolvente por usar.

Tabla 2. Niveles experimentales analizadas por medio del diseño factorial 2^2 .

Factor A	Factor B	
	30 min (N_1)	45 min (N_2)
1:20 (Rmv-vdi)	Rmv-vdi N_1	Rmv-vdi N_2
1:25 (Rmv-vdi)	Rmv-vdi N_1	Rmv-vdi N_2

Nota. Factor A es el nivel de la relación, el factor B es el nivel tiempo, Rmv-vdi es la relación entre el material vegetal (*Myrcianthes hallii* (o.berg) max vaugh) y el disolvente (Etanol 96% + Ác. Cítrico), N es el tiempo y Rmv-vdi N es la relación entre ambos niveles.

Tabla 3. Tratamientos y diseño analizados.

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

La mezcla fue transferida a una plancha de calentamiento equipada con agitación magnética, donde se mantuvo a una temperatura constante de 60 °C. Posteriormente, se procedió a la filtración para eliminar residuos sólidos, y el extracto que se obtuvo fue concentrado utilizando un rotavapor. Finalmente, el producto fue almacenado en botellas de vidrio ámbar a una temperatura de refrigeración de 4 °C, con el fin de preservar su estabilidad y composición bioactiva (Llerena, 2024).

2.2.7. Determinación de antocianinas del extracto de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh.

Una vez obtenido el extracto de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh, se determinará la concentración de antocianinas gracias al espectrofotómetro, este permitirá la medición de la longitud de onda absorbida por la muestra, a partir de la siguiente ecuación (2) se calculará la concentración de antocianinas, utilizada por (Llerena, 2024).

$$C \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{A * MW * DF * 1000}{\epsilon * 1} \quad (2)$$

Nota. *C* es la concentración de antocianinas expresadas en mg/L; *A* es la absorbancia del material vegetal más el disolvente; *MW* es el peso molecular de la malvidina – 3-*o*-glucósido; *DF* es el factor de dilución; ϵ es la absortividad molar de la malvidina – 3-*o*-glucósido.

2.2.8. Determinación sólidos totales del extracto de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh.

El contenido de humedad del extracto de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh se determinará utilizando una balanza de humedad, el cual permitió la medición de la pérdida de peso por evaporación al someter la muestra a una temperatura controlada. A partir del valor de humedad que se obtuvo, se calculó el porcentaje de sólidos totales presentes en la muestra mediante una ecuación específica. Este cálculo es fundamental el cual permitió evaluar la composición del extracto y garantizar la precisión en su caracterización, como se demuestra a continuación la siguiente ecuación (3):

$$\% \text{ Sólidos Totales} = 100 - \% \text{ Humedad} \quad (3)$$

(Quinaluiza, 2018).

2.2.9. Análisis de los datos en una base estadística para antocianinas

Para el análisis estadístico se realizó por triplicado, de esta forma se evidenció de la mejor forma y más precisa la variable respuesta analizada. Se insertó las variables (Factor A, Rmv-vdi y factor B, tiempo N) a un analizador estadístico (Statgraphics), además de que en el programa estadístico se analizó el ANOVA e interacción para la variable respuesta (concentración de antocianinas) (Gaviláñez, 2021).

2.2.10. Determinación de polifenoles totales de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh.

La cuantificación de polifenoles totales se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu, mediante el uso en microplacas de 96 pocillos. En cada pocillo se añadió 10 μL del extracto más 130 μL de agua destilada y 10 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu. La mezcla se dejó reaccionar en la oscuridad durante 6 minutos. Posteriormente, se incorporó 100 μL de una solución de carbonato de sodio al 7,5 % (p/v), y se incubó la reacción en oscuridad a temperatura ambiente durante 90 minutos. Finalizado el tiempo de incubación, se procedió a medir la absorbancia de las muestras a una longitud de onda de 765 nm utilizando un espectrofotómetro

UV-VIS (Fisher Scientific accuSkan Go). Para la determinación cuantitativa, se elaboró una curva de calibración utilizando ácido gálico como patrón, y los resultados fueron expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por mililitro de muestra ($\mu L\ mg\ EAG/mL$).

El contenido de polifenoles totales fue expresado en gramos equivalentes de ácido gálico por gramo de material vegetal seca (g EAG/g muestra), a partir de los valores obtenidos en la curva de calibración. Para ello, se aplicará la siguiente ecuación (4):

$$TPC = \frac{\text{Concentración de la muestra} \times \%SST}{1g\ de\ base\ seca} \quad (4)$$

Para la determinación del rendimiento de sólidos solubles totales (%SST), fue necesario convertir el volumen de la muestra a litros. Luego dicho valor fue utilizado como base para calcular el contenido total de polifenoles presentes en la muestra.

2.2.11. Análisis de datos

El experimento consistió en la evaluación de diferentes condiciones de extracción, para lo cual se llevó a cabo cuatro tratamientos por triplicado. Los datos obtenidos fueron analizados mediante una comparación de medias con un nivel de significancia del 95 % ($p < 0.05$). Posteriormente, se utilizó un software estadístico lo cual determinó la existencia de diferencias significativas en el contenido de polifenoles extraídos con distintos disolventes, donde se identificó el tratamiento más eficiente. Con base en estos resultados, se aplicó un diseño experimental factorial 2^2 , correspondiente a un total de cuatro tratamientos, con el propósito de evaluar cuáles condiciones de extracción ejercen mayor influencia sobre la variable respuesta. La significancia estadística de cada una de las variables independientes, así como sus posibles interacciones, se determinaron mediante un análisis de varianza (ANOVA), considerando un nivel de significancia del 5 % ($p < 0.05$). Para todos los análisis estadísticos se utilizó la versión de prueba gratuita por 30 días del software *Statgraphics Centurion*.

2.2.12. Microencapsulación de los compuestos bioactivos mediante secado por aspersión

El proceso de microencapsulación se llevó a cabo mediante secado por aspersión, con el objetivo de obtener un polvo fino formado por microesferas que recubrirán los compuestos bioactivos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh. Para ello, se utilizó una mezcla en la que la relación entre el extracto concentrado y la matriz polimérica (maltodextrina) será de 20:80, complementada con agua destilada. La mezcla se agitó continuamente a una temperatura de 45 °C hasta lograr su completa homogeneización. Una vez que se obtuvo la mezcla homogénea, se procedió a su secado por aspersión en un Mini Spray Dryer, bajo condiciones controladas. Se estableció una presión de -50 mbar y se mantendrán temperaturas específicas, con una temperatura de entrada de 150 °C y de salida de 80 – 90 °C, lo cual aseguró la adecuada formación del microencapsulado. Este proceso permitió proteger los compuestos bioactivos de la muestra, facilitando su conservación y potenciando su liberación controlada (Aranda, 2018).

2.2.13. Eficiencia del microencapsulado

Es fundamental determinar la eficiencia del proceso de microencapsulación del extracto concentrado utilizando una matriz polimérica de maltodextrina. Para ello, se llevó a cabo un ensayo en el que, durante un período de 10 minutos, se agitó una mezcla compuesta por 1,5 gramos del microencapsulado y 15 ml de agua destilada. Posteriormente, se midió la absorbancia de la mezcla utilizando un espectrofotómetro UV-VIS, lo que permitió evaluar la liberación de los compuestos bioactivos contenidos en el microencapsulado. El procedimiento se repitió, reemplazando el agua destilada por etanol al 70% en la mezcla, manteniendo constantes las cantidades de microencapsulado y disolvente. Esta comparación permitió determinar la solubilidad y liberación de los compuestos bioactivos en diferentes solventes. Finalmente, la eficiencia del microencapsulado se calculó utilizando una ecuación específica que considere los valores de absorbancia obtenidos en ambas condiciones experimentales, con la ecuación (5) demostrada a continuación:

$$\%EE = \frac{[CT_{agua}] - [CS_{etanol}]}{[CT_{agua}]} * 100 \quad (5)$$

$\%EE$ = Eficiencia de microencapsulación, porcentaje en masa (%)

$[CT_{agua}]$ = Concentración total presente en las microcápsulas ($\frac{mg}{L}$)

$[CS_{etanol}]$ = Concentración superficial en las microcápsulas (mg/L)

(Telenchana, 2019).

2.2.14. Espectrofotometría Infrarroja

La espectroscopía infrarroja (espectroscopía IV) se empleó como técnica analítica para identificar los grupos funcionales presentes en las muestras del extracto de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh, tanto en su estado sin encapsular como en su forma microencapsulada, así como en el polímero utilizado en la microencapsulación (maltodextrina). Esta técnica se basó en la absorción de radiación infrarroja por las moléculas, lo que provocó vibraciones en los enlaces químicos. Las longitudes de onda absorbida correspondieron a las frecuencias de vibración de los grupos funcionales específicos presentes en las muestras. Mediante el análisis de los espectros obtenidos, fue posible caracterizar las estructuras moleculares de los componentes y evaluar las interacciones entre el extracto, el polímero y el proceso de microencapsulación (Moreno, 2024).

2.2.15. Evaluación de la actividad antioxidante por método in vitro

Según la metodología empleada por Bobo et al., (2014), el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrihidrazilo) se utilizó para evaluar la capacidad antioxidante del extracto en estudio. Para la construcción de la curva de calibración, se empleó una solución estándar de Trolox. Se preparó una disolución de metanol: agua en proporción 80:20 como medio de reacción. El ensayo se llevó a cabo en una placa de 96 pocillos, donde se incluirán un blanco compuesto por la disolución metanol-agua y un control reactivo conformado por la solución de DPPH y agua. Se agregó 20 μ L de la disolución estándar de Trolox junto con 180 μ L de la solución de DPPH en los pocillos correspondientes. Asimismo, en otros pocillos, se colocó 180 μ L de la solución de DPPH y 20 μ L del extracto en evaluación. La reacción

se dejó en reposo en condiciones de oscuridad durante 40 minutos a temperatura ambiente lo cual aseguró la estabilización del proceso. Posteriormente, se midió la absorbancia utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 515 nm. Finalmente, se determinó el porcentaje de inhibición de la actividad antioxidante mediante la aplicación de la ecuación (6):

$$\%Inhibición\ DPPH = \left[1 - \left(\frac{A_m - A_b}{A_c - A_b} \right) \right] * 100 \quad (6)$$

Donde:

A_m: Absorbancia de la muestra

A_b: Absorbancia del blanco

A_c: Absorbancia de control

2.2.16. Elaboración de una bebida natural con el microencapsulado de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh.

A manera general, la Norma Técnica Ecuatoriana **NTE INEN 2337 (2008)** define las bebidas no alcohólicas como productos alimenticios que comprenden categorías como jugos, néctares y bebidas refrescantes. Estos productos pueden estar elaborados a partir de agua potable, jugos o concentrados de frutas, y pueden incluir ingredientes como azúcares y/o edulcorantes aprobados, saborizantes, colorantes y conservantes autorizados. La norma establece parámetros físico-químicos específicos (como contenido de sólidos solubles, acidez y pH), requisitos microbiológicos, lo cual permitió garantizar la inocuidad del producto y lineamientos claros de etiquetado, con el fin de asegurar la calidad, transparencia y seguridad del consumidor. A partir de esto la formulación propuesta para la bebida líquida natural se basó en la incorporación de una combinación de ingredientes seleccionados para garantizar su funcionalidad y apego a normativas técnicas. Los componentes incluyeron edulcorantes naturales, como la Stevia, extracto de té, saborizantes naturales de frutas, colorantes permitidos y conservantes, que permitieron asegurar la estabilidad y prolongar la vida útil del producto. El ingrediente activo principal fue el microencapsulado de *Myrcianthes hallii* (O. Berg) Max Vaugh, seleccionado por sus propiedades bioactivas. Los

ingredientes fueron cuidadosamente pesados, mezclados y procesados para obtener una solución homogénea (Pacheco 2022).(Lincango, 2015)

2.2.17. Determinación de las propiedades sensoriales de la bebida natural

La evaluación sensorial del producto final constituidos por la bebida más el microencapsulado de *Myrcianthes hallii* (O. Berg) Max Vaugh se realizó mediante una prueba de cata, la cual fue llevada a cabo por un panel compuesto por 20 participantes, cuyas edades oscilaron entre los 20 y 30 años. A cada panelista se le proporcionó una ficha de evaluación diseñada para registrar sus percepciones respecto a atributos específicos como color, olor, viscosidad, apariencia, sabor y el grado general de aceptación del producto. Para medir la aceptabilidad, se empleó una escala hedónica de cinco puntos, donde el nivel 1 representó “me disgusta mucho”, el nivel 2 representó “no me gusta”, el nivel 3 representó “ni me gusta ni me disgusta” el nivel 4 representó “me gusta” y el nivel 5 indicó “me gusta mucho”. Este enfoque permitió determinar de manera objetiva la aceptación sensorial del producto por parte de los consumidores potenciales (Morales, 2021).

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

3.1.1. Diversos tratamientos empleados

En la siguiente **Tabla 4**, se evidencian los datos obtenidos en la determinación de base seca de cada tratamiento con su debida replica. Donde los factores a analizar fueron la interacción del material vegetal – volumen del disolvente (1:20; 1:25) como el tiempo (30min; 45min), una vez evaluados estos parámetros se evidenció que las condiciones de 1:25 por 30 min generaron un mayor impacto en la extracción de antocianinas.

Tabla 4. Valores obtenidos de los tratamientos y replicas.

T	R	%H	%ST	Abs ($\lambda=540$)	C (g/L)	BS
1	1	77,53	22,47	0,405	0,1815	0,808
	2	77,46	22,54	0,408	0,1830	0,812
	3	77,50	22,50	0,416	0,1866	0,829
2	1	68,57	31,43	0,358	0,1603	0,510
	2	68,53	31,47	0,355	0,1589	0,505
	3	68,48	31,52	0,355	0,1589	0,504
3	1	85,79	14,21	0,614	0,2751	1,936
	2	85,81	14,19	0,612	0,2742	1,932
	3	85,77	14,23	0,613	0,2746	1,930
4	1	41,74	58,26	0,474	0,2122	0,364
	2	41,73	58,27	0,471	0,1830	0,314
	3	41,79	58,21	0,470	0,1866	0,321

Nota: T = Tratamientos, R = Réplicas para cada uno de los tratamientos, %H = Porcentaje de humedad, %ST = Porcentaje de sólidos totales, Abs = Absorbancia, C = Concentración, BS = Base seca de las antocianinas.

Para este análisis se usó un disolvente, el cual fue empleado con etanol al 96% y ácido cítrico al 2.5%, donde **Floríndez (2023)**, indica que esta mezcla permite estabilizar y por consiguiente obtener mayor cantidad del componente bioactivo. Consecuente a este se obtuvo como mejor tratamiento al 3, ya que entre sus réplicas implicadas se encuentra una concentración de antocianinas de un valor de 0,2751g/L, además en base seca se evidencia una cantidad de 1,936 g por cada 100 g de ST.

3.1.2. Diseño experimental para extracción de antocianinas

Los resultados obtenidos como se muestra en la **tabla 5**, con respecto al diseño empleado, el cual fue el factorial 2^2 permitiendo el análisis de las variables y demostrando que existe distinciones significativas entre los tratamientos empleados a partir del análisis del ANOVA (**Yu et al., 2022**), demostrado a continuación.

Tabla 5. *Análisis de Varianza para AntBS*

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Relación	1,25259	1	1,25259	4547,08	0,0000
B: T. ext	2,72749	1	2,72749	9901,13	0,0000
AB	0,670714	1	0,670714	2434,78	0,0000
bloques	0,000277167	2	0,000138583	0,50	0,6281
Error total	0,00165283	6	0,000275472		
Total (corr.)	4,65272	11			

Nota: AntBS, hace relación a la concentración de antocianinas en función de la base seca, T ext, es el factor del tiempo de extracción.

En base a la interacción entre los diversos parámetros analizados, se determinó un valor del 99,9645% en base al valor del R-cuadrada, demostrada en la ecuación 7, siendo este el indicador de la variabilidad del modelo, lo cual se expresa como un modelo bien ajustado y preciso (**Tacilla Culqui, 2025**).

$$R - cuadrada = 99.9645 \% \quad (7)$$

Serigos (2022), indica que el R^2 hace énfasis al coeficiente de determinación, siendo este un valor estadístico, relacionando el ajuste específico del modelo a estudiar, este mismo se puede encontrar en un rango de 0 % a 100 %, donde si se encuentra una regresión del 100 % hace énfasis a que el modelo estudiado desarrolla los datos observados de manera perfecta, siendo preciso y directamente predictivo.

$$AntBs = -10,2663 + 0,602067 * R + 0,220133 * T - 0,0126089 * R * T \quad (8)$$

Siendo R la relación entre el material vegetal y el disolvente, T el tiempo de extracción y AntBs la concentración de antocianinas en base seca, detallados en la ecuación 8, la cual permitirá generar nuevos datos, en un intercambio de parámetros, como lo es R y T.

En la **tabla 6** se encuentra los valores óptimos para determinación de antocianinas, siendo estos los propicios para una mayor extracción de las mismas, siendo como consecuente en la relación el valor de 1:25 y de igual manera el tiempo de extracción de 30 minutos. (**Sánchez & Vargas, 2023**), mencionan que la relación

como el tiempo de extracción son variables que implican una baja o una alta concentración de antocianinas, por ende, recomienda que se realice pruebas con varias concentraciones y varios tiempos de extracción para determinar la mejor.

Tabla 6. *Valor óptimo con relación a los parámetros estudiados.*

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Relación	20,0	25,0	25,0
Tiempo de extracción	30,0	45,0	30,0

En base a los parámetros estudiados gracias al analizador estadístico STATGRAPHICS se pudo obtener el diagrama de Pareto, indicado en la **figura 1**. Donde este es un medio que nos permite identificar como visualizar causas con gran relevancia en el modelo a estudiar (Inácio et al., 2023).

En relación a la **Figura 1**, se indican los factores estandarizados, tanto el tiempo de extracción como la relación implicada en el análisis, además de que muestra la interacción entre ambas. De esta forma se puede observar que el análisis de B, o tiempo de extracción se indica como el más influyente entre los tres factores, esto quiere decir que el tiempo puede ser directamente proporcional a la extracción de antocianinas, de igual manera la relación material vegetal – disolvente expuesta al análisis tiene una influencia en la extracción, pero menor que el tiempo de extracción, y de igual manera la interacción que ocurre del tiempo de extracción con la relación material vegetal – disolvente.

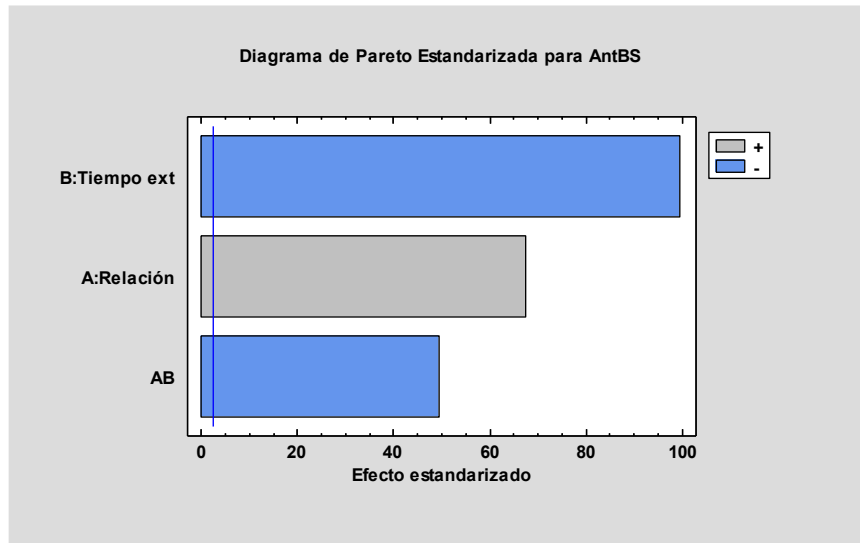


Figura 1. Diagrama de Pareto en la extracción de antocianinas en base seca de la fruta del Arrayan.

Ballesteros et al. (2020), menciona que los efectos principales, se encuentran relacionados individualmente, generando un impacto propio con relación a la variable respuesta. En la **Figura 2**, se demuestra los efectos principales tanto de la relación, como del tiempo de extracción indicando que la tendencia de la relación es positiva, lo que quiere decir que mientras la relación material vegetal – disolvente aumenta el contenido de antocianinas de igual manera será mayor. Ahora bien, con respecto al tiempo de extracción, se puede evidenciar una pendiente negativa, indicando que al aumentar el tiempo de extracción el contenido de antocianinas puede degradar las mismas.

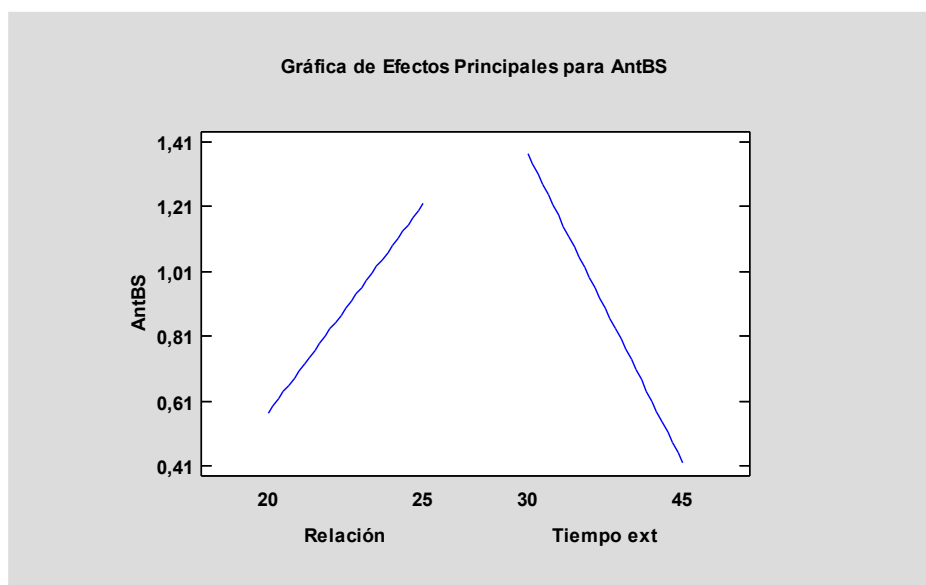


Figura 2. Efectos principales en la extracción de antocianinas en base seca de la fruta del Arrayan.

Ballesteros et al. (2020), indica que la interacción se interpreta como dos factores los cuales se encuentran relacionadas, y estos influyen en la variable respuesta. En la **Figura 3**, se puede evidenciar que existe una interacción entre los parámetros involucrados, ya que ambas líneas no son paralelas, demostrando que cada una depende de la otra, en relación al tiempo de extracción a 30 minutos se evidencia que la concentración de antocianinas aumenta cuando la relación aumenta de 20 a 25, como también en el tiempo de extracción a 45 minutos, aunque es un poco menor la concentración de antocianinas, indicando como mejores factores la relación de 25 y el tiempo de extracción a 30 minutos.

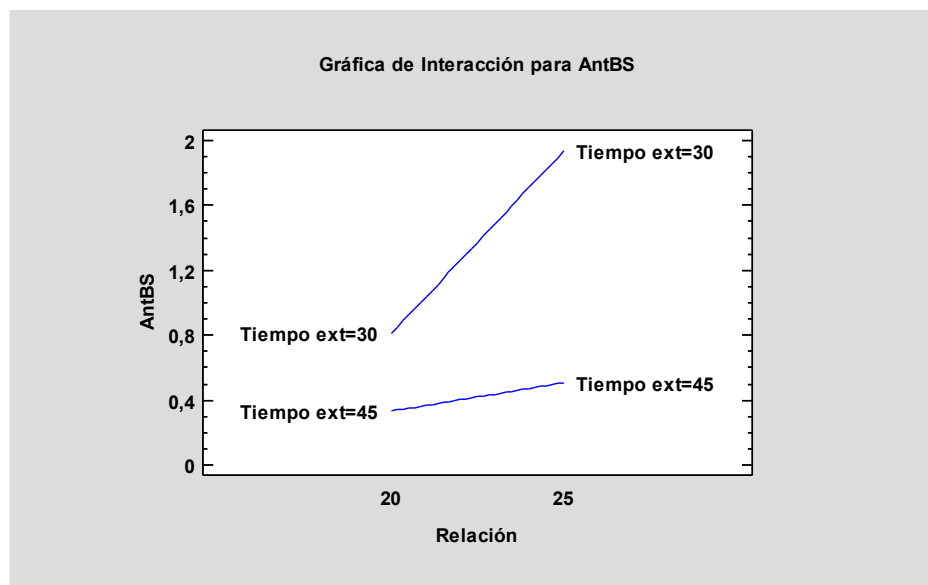


Figura 3. Gráfica de interacción para la extracción de antocianinas en base seca de la fruta del Arrayan.

Pérez Ayma (2021), relaciona a la superficie de respuesta como una figura tridimensional, donde esta indica el efecto de cada factor a estudiar, con respecto a la variable respuesta, demostrando al pico más alto como la mejor combinación. En la **Figura 4**, se demuestra en una gráfica tridimensional, donde se encuentran los factores tiempo de extracción y la relación, con respecto a la variable respuesta que es la concentración de antocianinas en base seca. Este análisis nos demuestra que mientras exista mayor tiempo de extracción la concentración de antocianinas va a disminuir, lo cual no pasa con la relación, en la cual mientras exista mayor relación la concentración de antocianinas va a incrementar, una vez hecho este análisis se demuestra que el pico más alto es el óptimo, en este caso los factores en relación con 25 y tiempo de extracción de 30 minutos.

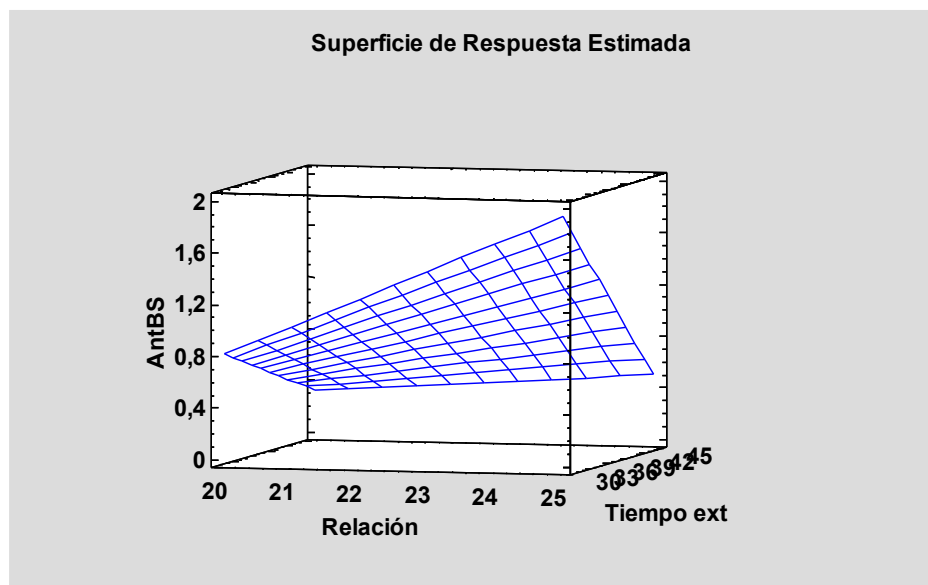


Figura 4. Superficie de respuesta en la extracción de antocianinas de la fruta del Arrayan.

3.1.3. Diseño experimental para extracción de polifenoles

Los resultados obtenidos se muestran en la **tabla 7**, con respecto al diseño empleado, el cual fue el mismo tanto para antocianinas como polifenoles el factorial 2^2 permitiendo el análisis de las variables y demostrando que existe distinciones significativas entre los tratamientos empleados a partir del análisis del ANOVA (Yu et al., 2022), demostrado a continuación.

Tabla 7. Análisis de Varianza para Polifenoles.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Relación	0,0000104533	1	0,0000104533	32,92	0,0012
B: T ext	0,0000353633	1	0,0000353633	111,38	0,0000
AB	0,0000512533	1	0,0000512533	161,43	0,0000
bloques	5,15E-7	2	2,575E-7	0,81	0,4878
Error total	0,000001905	6	3,175E-7		
Total (corr.)	0,00009949	11			

Nota: T ext es el tiempo de extracción, AB es la interacción entre relación y T ext.

Gracias a la interacción generada entre los diversos parámetros analizados, se determinó un valor del 98,0852 % en base al valor del R-cuadrada para polifenoles, demostrada en la **ecuación 9**, siendo este el indicador de la variabilidad del modelo, lo cual se expresa como un modelo bien ajustado y preciso (**Mego Vásquez, 2024**).

$$R - cuadrada = 98,0852 \% \quad (9)$$

Siendo R la relación entre el material vegetal y el disolvente, T el tiempo de extracción y Pol la concentración de polifenoles, detallados en la ecuación 10, la cual permitirá generar nuevos datos, en un intercambio de parámetros, como lo es R y T

$$Pol = -0,0794667 + 0,00450667 * R + 0,00225111 * T - 0,000110222 * R * T \quad (10)$$

En la **tabla 8** se demuestran los valores óptimos para determinación de polifenoles, siendo estos los propicios para una mayor extracción de estas, siendo como consecuente en la relación el valor de 1:25 y de igual manera el tiempo de extracción de 30 minutos, los cuales coinciden con los parámetros para extracción de antocianinas. **Guntero et al. (2015)**, indica que existen diversos procesos para la extracción de polifenoles, como lo es la que se da por microondas (MAE), y además de la por ultrasonido (UAE), ambas extracciones son asistidas, y además en sus estudios realizados se indica que el tiempo de extracción reduce y la extracción es más eficaz en MAE.

Tabla 8. Valor óptimo con relación a los parámetros estudiados para polifenoles.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Relación	20,0	25,0	25,0
Tiempo ext	30,0	45,0	30,0

En la **Figura 5**, se indican los factores estandarizados para polifenoles, tanto el tiempo de extracción como las relaciones empleadas, además de que muestra la interacción entre ambas (AB). De esta forma se puede observar que el análisis de la interacción (AB), es el más influyente a que cada uno por separado, esto quiere decir que el tiempo y la relación en conjunto pueden ser directamente proporcional a la extracción de antocianinas, de igual manera el tiempo de extracción tiene relevancia directa y beneficiosa en la extracción, además de que la relación expuesta es baja y menos significativas, por ende, la combinación es la mejor opción para la extracción de polifenoles.

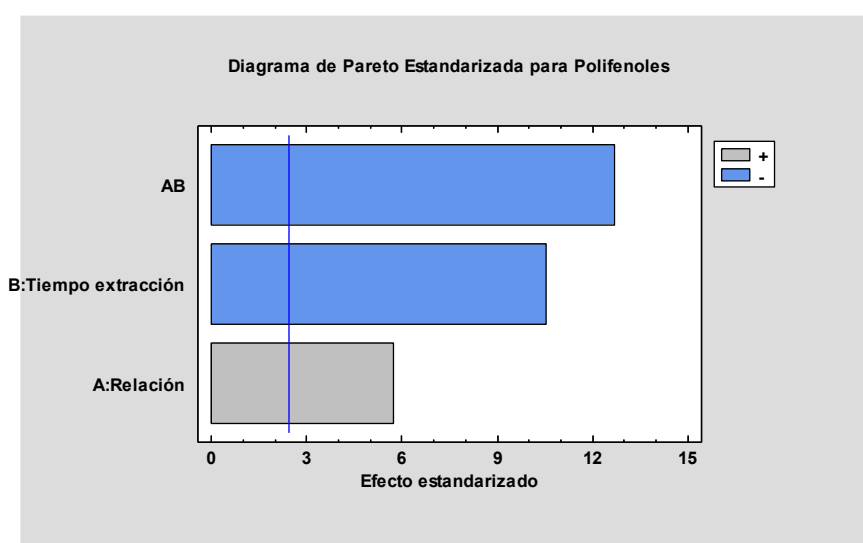


Figura 5. Diagrama de Pareto en la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.

Además de que los efectos principales para polifenoles se demuestran en la **Figura 6**, tanto de la relación, como del tiempo de extracción indicando que la tendencia de ambos influye directamente en la respuesta. Con respecto a las relaciones presentes indican que la pendiente expuesta se demuestra positiva, siendo directamente proporcional ósea que si la relación aumenta el contenido de polifenoles aumentará proporcionalmente, además de que el tiempo de extracción se encuentra disminuyendo, identificada en la recta de pendiente negativa, esto indica que el tiempo puede ser un factor determinante para la extracción de polifenoles ya que pueden llegar a degradarse a mayor tiempo (**Cáceres-Roa et al., 2023**).

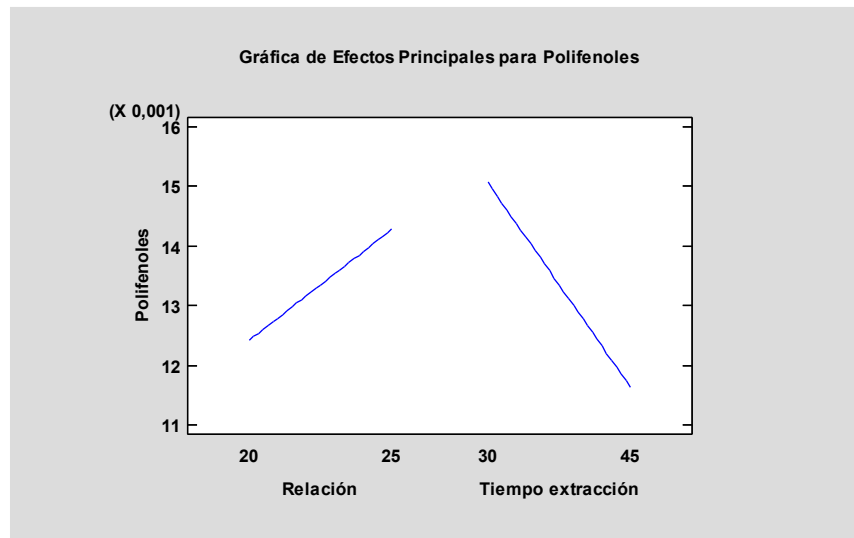


Figura 6. Efectos principales en la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.

Consecuente de los análisis realizados se obtuvo en la **Figura 7** el diagrama de interacción para polifenoles, en el cual se puede evidenciar una interacción presente entre los parámetros estudiados, indicando que la relación de 25 y el tiempo de 30 minutos son los óptimos para la determinación de polifenoles, además de que si el tiempo de extracción se aumenta la determinación no será efectiva ya que a mayor tiempo de extracción los polifenoles se degradan en estas condiciones, demostrando que la extracción de polifenoles va de la mano con ensayos de prueba y error de los dos factores presentes hasta determinar el óptimo y no de forma separada (**Becerra Campos & Monzón Contreras, 2019**).

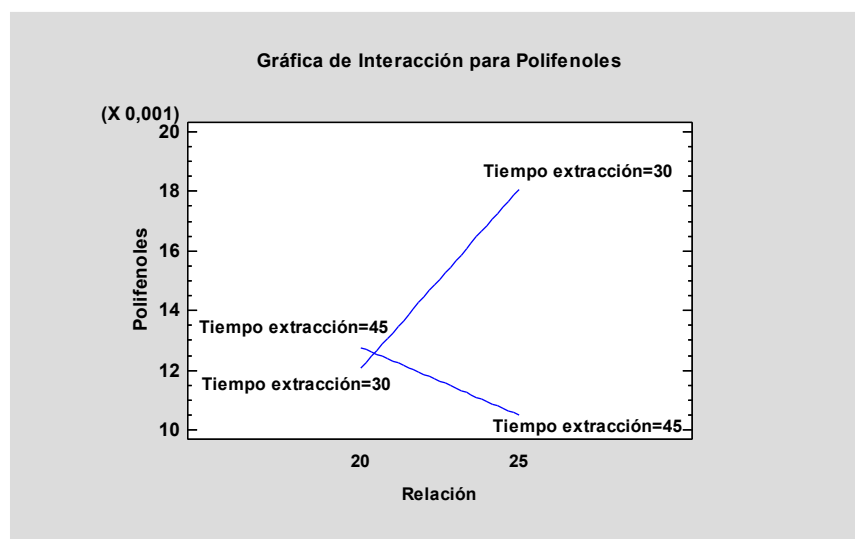


Figura 7. Gráfica de interacción para la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.

A partir de los resultados obtenidos se puede evidenciar en la **Figura 8**, una gráfica tridimensional, donde se encuentran los factores tiempo de extracción y la relación, con respecto a la variable respuesta que es la concentración de polifenoles totales. Indicándonos como punto más alto a la combinación de tiempo de extracción por 30 minutos y relación de 25, para realizar una óptima extracción de polifenoles.

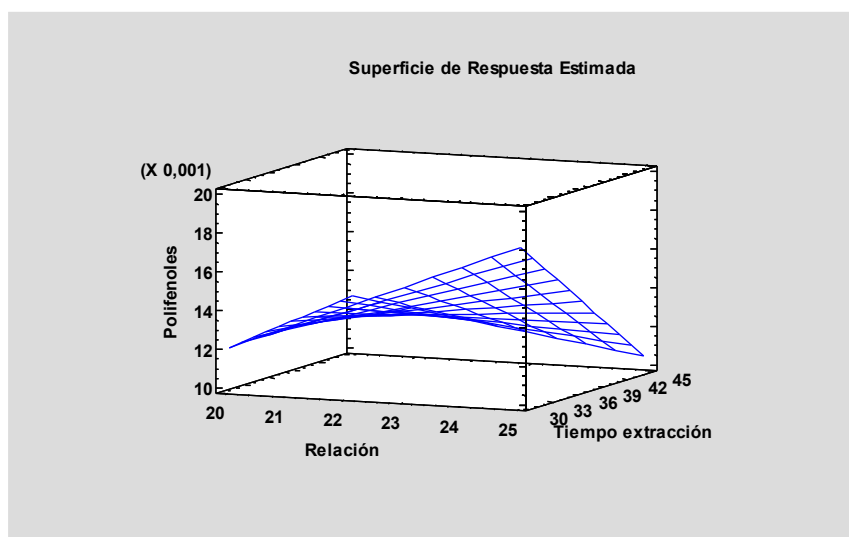


Figura 8. Superficie de respuesta en la extracción de polifenoles de la fruta del Arrayan.

3.1.4. Valores óptimos y deseabilidad para la extracción de antocianinas y polifenoles.

En función de los valores obtenidos para la extracción de antocianinas y polifenoles, se realiza un cruce de variables, como se indica en la **tabla 9**, para de esta forma determinar el valor óptimo que nos permitirá extraer la mayor cantidad de estos compuestos bioactivos, como resultado de la interacción se determinó que los valores propicios son 30 minutos con respecto al tiempo de extracción y 25 haciendo referencia a la relación material vegetal – disolvente, gracias estos valores se puede observar un valor óptimo (**ecuación 11**) de extracción del 0,996779 o del 99,6779 %, demostrando un impacto positivo y beneficioso para la extracción de estos compuestos.

Tabla 9. Valores óptimos en relación con la extracción de antocianinas y polifenoles.

<i>Factor</i>	<i>Bajo</i>	<i>Alto</i>	<i>Óptimo</i>
Relación	20,0	25,0	25,0
Tiempo extracción	30,0	45,0	30,0

$$\text{Valor óptimo} = 0,996779 \quad (11)$$

Gracias a los valores estructurados como valores óptimos en la extracción de antocianinas y polifenoles, se puede identificar los picos en la **figura 9**, determinando la deseabilidad como punto más alto a la interacción entre tiempo de extracción de 30 minutos y la relación expuesta de 25, siendo estos los óptimos para la determinación de antocianinas como polifenoles.

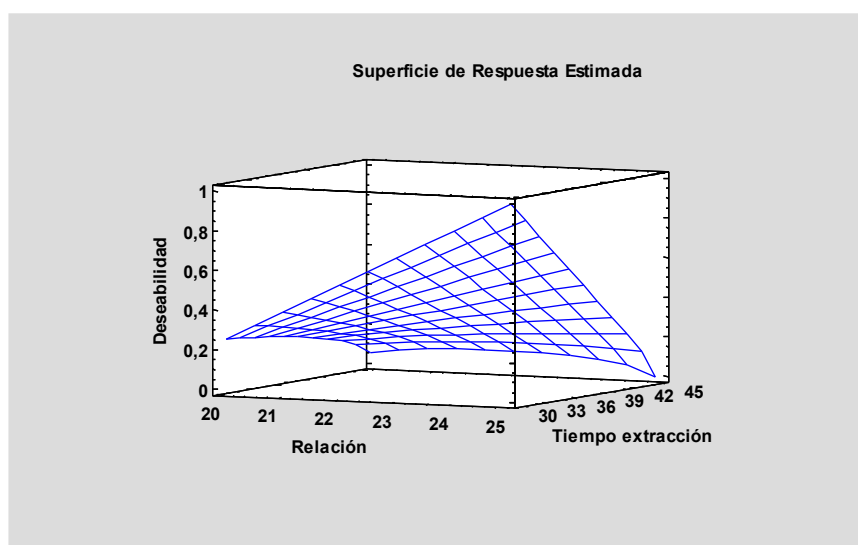


Figura 9. Superficie de respuesta de la interacción entre antocianinas y polifenoles.

3.1.5. Microencapsulación de los polifenoles y antocianinas

Una vez que se obtiene la combinación adecuada para la extracción tanto de antocianinas y polifenoles, se genera una mezcla, la cual esta inmiscuida el concentrado, la matriz polimérica y agua destilada, estos se homogenizan de la mejor manera para así luego microencapsular.

Reyna et al. (2015), menciona que existen diversas formas de microencapsular, como lo es el secado por aspersión, polimerización interfacial, gelificación, coacervación, entre otras, destacando como la más usada y eficaz al secado por aspersión. De igual manera indica que existen diversos agentes encapsulantes, como la maltodextrina, goma arábica, inulina, gelatina, pectinas, quitosano, entre otros, todos estos permiten la misma función, recubrir y sobre todo proteger compuestos bioactivos. Destacando a la maltodextrina como un agente microencapsulante idóneo, y se visualiza con el valor obtenido de la eficiencia de este, con un valor del 87,1 %.

3.1.6. Espectroscopía infrarroja – FTIR

Orsini & Aparicio (2021), indica que la espectroscopía infrarroja como la técnica de FTIR son pruebas que permiten observar el movimiento de las moléculas, permitiendo el reconocimiento de los grupos funcionales presentes en el medio. Las vibraciones demostradas indican los grupos funcionales como los alcoholes, carbonilos, alcanos, aminas, etc. Todos estos dentro de un rango de longitud de onda (cm^{-1}). Demostrando en la **Figura 10** los espectros con su respectivo grupo funcional.

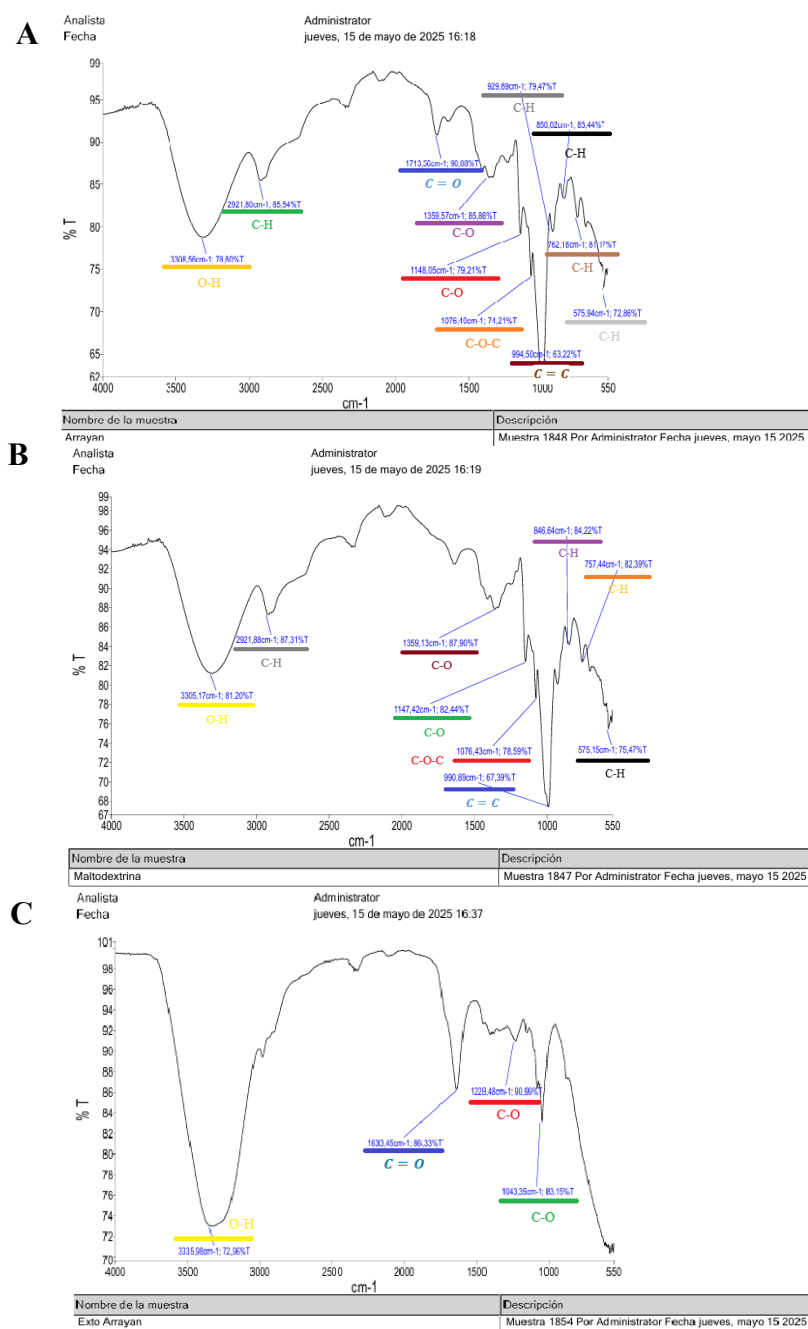


Figura 10. Curvas de los espectros visualizados en el FTIR, donde A es el concentrado del Arrayan, B es el polímero Maltodextrina, y C es el micro encapsulado.

En la **figura 10**, se detallan los espectros para cada uno de los parámetros analizados, como lo es el concentrado, microencapsulado, y de igual manera el polímero, cada uno de estos demuestran los grupos funcionales para la antocianina presente la malvidina – 3-o-glucósido. Gracias al análisis del FTIR, se demuestran los grupos siguientes en cada uno de los puntos. **A)** este es el análisis del

concentrado, encontrándose $C = O$ de $1713,56\text{ cm}^{-1}$, de igual forma los $C - H$ $2921,80 - 929,89 - 850,02 - 762,18 - 575,94\text{ cm}^{-1}$, y del grupo $C - H$ $1359,57$ y $1148,05\text{ cm}^{-1}$. **B)** trata del polímero maltodextrina, encontrándose grupos funcionales como $C - H$, $2921,88 - 846,64 - 757,44 - 575,15\text{ cm}^{-1}$. Al mismo tiempo el grupo $C - O$ de $1359,13 - 1147,42\text{ cm}^{-1}$. **C)** indica el espectro del extracto del arrayan, donde se encuentran grupos funcionales como $C - O$ $1229,48 - 1043,35\text{ cm}^{-1}$ y además el grupo funcional $C = O$ de $16633,45\text{ cm}^{-1}$, cabe destacar que en los tres ítems (A, B, C), se encuentran presentes el grupo $O - H$, estos como los grupos anteriores conllevan una diferencia y es la elongación presente. Esto se puede hacer relación a que en el extracto o la imagen C, el medio está concentrado y además de purificados, a diferencia de los otros dos, además de demostrar que existen más presencia de grupos hidroxilos (**Quispe et al., 2022**).

3.1.7. Potencial antioxidante

Zamora Condori (2024), menciona que para la determinación de la actividad antioxidante existen varias pruebas como lo es ABTS (*2,2 - azinobis - 3 - etilbenzotiazolina - 6 - ácido sulfónico*), FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*), el TRAP (*Total Radical - Trapping Antioxidant Parameter*), DPPH (*2,2 - difenil 1 - picrilhidrazilo*), entre otros. Estas pruebas en general expresan un color violeta, permitiendo expresar los antioxidantes presentes en un nivel de absorbancia de 517 nm , además de que el más usado es el método o prueba de DPPH.

Los resultados obtenidos por medio del potencial antioxidante, descritos en la **tabla 10**, indicando el % de inhibición del DPPH y de igual manera la curva o concentración de la solución madre trolox, para cada uno de estos dos análisis se realiza en el microencapsulado y en el extracto demostrando sus valores determinados. Los valores indicados para el extracto (% de inhibición $79,506\%$ y Curva de trolox $372\text{ }\mu\text{mol}$) y microencapsulado (% de inhibición $29,280\%$ y curva de trolox $265\text{ }\mu\text{mol}$), estos valores evidentemente nos permiten identificar que la capacidad antioxidante del extracto es mayor, esto puede deberse a que el microencapsulado al estar recubierto la capacidad antioxidante se encuentra conservada (**Vita, 2023**).

Tabla 10. Actividad antioxidante para el extracto y microencapsulado.

Muestra	FD	% Inhibición DPPH	Curva trolox (μmol)
Extracto	0,025	79,506	372 $\pm$ 14,52
Microencapsulado		29,280	265,186 $\pm$ 21,79

3.1.8. Elaboración de bebida natural

Chanca Anquipa (2024), menciona que las bebidas naturales generalmente contienen una parte de su parte líquida, pulpa o jugo de alguna fruta. Donde estas bebidas son elaboradas a partir de agua potable, néctar, puede incluir azúcar, o edulcorantes, saborizantes y colorantes de ser necesario. Los datos descritos en la **tabla 11**, nos permiten identificar las cantidades valoradas bajo normativas, y además las que fueron usadas para la elaboración de la bebida, cada uno de estos valores demostraron ser idóneos, indicando una bebida rica en los compuestos bioactivos obtenidos.

Tabla 11. Formulación estándar de la bebida natural de Arrayan (*Myrcianthes hallii*).

Ingredientes	Cantidad bajo normativa		Cantidad usada	Justificación/Límite normativo
Néctar de Arrayán (<i>Myrcianthes hallii</i>)	250mL	(min. 25%)	250mL (min)	Aporta sabor, color Recomendado $\geq$ 25%.
Agua purificada.	690-720 mL		700 ml	Solvente principal.
Extracto microencapsulado.	2-3g (0,2-0,3%)		2g (0,2%)	Aporta antioxidante concentrado.
Edulcorante.	0,2-0,5g (20-50 mg/100mL)		0,2g (20mg/100mL)	Límite máximo según Codex, (0,2-0,5g).
Ácido cítrico.	0,5-1,0g (0,05-0,1%)		0,5g (0,05%)	Acidulante permitido. Máximo 1g (0,1%).
Goma arábiga.	1,0-2,0g (0,1-0,2%)		1,0g (0,1%)	Estabilizante natural. Permisi3n FAO (1-3g/L).

3.1.9. Análisis sensorial

Rojas Mendoza (2024), menciona que el análisis sensorial es un estudio que permite evaluar ciertas características, como el color, olor, sabor, entre otros parámetros, permitiendo interpretar un producto a partir de los catadores, los cuales se deben instruir e indicar los parámetros a analizar, como se demuestra en la **figura 11**. Cada uno de los valores indica un nivel, como lo es 1 “me disgusta mucho”, 2 “no me gusta”, 3 “ni me gusta ni me disgusta”, 4 “me gusta”, 5 “me gusta mucho”. Gracias a estos resultados obtenidos, los cuales fueron determinados por 20 panelistas previamente semi entrenados, indicando cada uno de los parámetros a analizar, gracias a sus resultados, se determinó la aceptabilidad de 4 en base a una media de los 20 panelistas, indicando al producto como bueno.

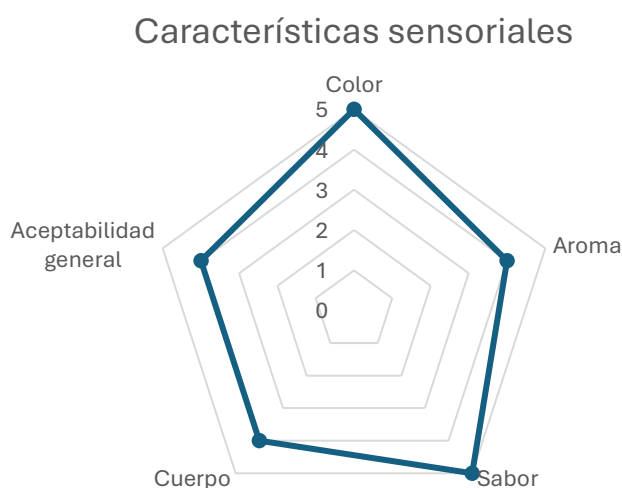


Figura 11. Diagrama de las características sensoriales evaluadas en base a la aceptabilidad general.

3.2. Verificación de hipótesis

Gracias a los análisis realizados de los diversos tratamientos y a la obtención del ANOVA, se pudo observar que:

La hipótesis nula ($H_0 \neq 0$) es rechazada y la alternativa ($H_a = 0$) es aceptada, debido a que los parámetros y condiciones analizadas permitieron la obtención de los compuestos bioactivos, los cuales favorecieron a la elaboración de una bebida natural fortificada con los compuestos microencapsulados obtenidos.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La presente investigación permitió evaluar de manera integral el potencial antioxidante del extracto microencapsulado obtenido a partir de los frutos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh, utilizando el secado por aspersión como método de encapsulación. Los resultados evidenciaron que esta técnica fue efectiva para preservar los compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante, lo que contribuye a la estabilidad funcional del extracto. Asimismo, su incorporación en el desarrollo de una bebida natural demostró ser tecnológicamente viable, manteniendo las propiedades sensoriales y funcionales del producto final. En conjunto, estos hallazgos respaldan el uso del extracto microencapsulado como un ingrediente promotor en la formulación de alimentos funcionales.
- La obtención de un extracto rico en propiedades bioactivos se logró al aplicar un diseño factorial 2^2 empleado por varios tratamientos y replicas, el cual permitió la identificación un concentrado óptimo, esta combinación es la relación 1:25 y 30 minutos de extracción, y de igual manera el secado por aspersión permitió un recubrimiento idóneo, protegiendo a los compuestos bioactivos de la degradación, además de generar un polvo rico en antocianinas y polifenoles, permitiendo enriquecer cualquier alimento.
- Gracias a la evaluación de la capacidad de los antioxidantes presentes, realizada por el método del DPPH, se demostró que el concentrado (extracto) en relación con la inhibición presente es mayor (79,506%) a la del microencapsulado (29,280%), y el análisis del Trolox al concentrado ($372 \pm 14,52$), y el microencapsulado $265,186 \pm 21,79$.
- La elaboración de una bebida natural a base de los compuestos bioactivos de *Myrcianthes hallii* (O.Berg) Max Vaugh, se obtuvo a partir de la obtención de las antocianinas y polifenoles, generando un impacto positivo, otorgando una aceptabilidad general de rango 4 el cual indica “me gusta”, enriqueciendo atributos como el sabor, olor, color, textura, gracias a los ajustes establecidos en su formulación, dando un valor agregado a la bebida.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda, optar por el uso de otros tipos de ácidos, como el acético o el tartárico, lo que permitirá una mayor extracción de compuestos bioactivos, y quizás generando mayor impacto en el producto en general.
- Se recomienda, usar otros tipos de agentes microencapsulantes como la inulina, ciclodextrinas, proteínas como caseinatos, o de soya, de igual manera polímeros naturales como el quitosano, y realizar análisis de estos polímeros e identificar si existe algún cambio en su eficiencia, ya que alguno de estos puede llegar a mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de los compuestos extraídos.
- Utilizar otros métodos para la identificación de los antioxidantes como ensayos celulares o enzimáticos, CUPRAC, FRAP, entre otros, permitiendo determinar de mejor manera el porcentaje de inhibición.

MATERIALES DE REFERENCIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aborode, A. T., Pustake, M., Awuah, W. A., Alwerdani, M., Shah, P., Yarlagadda, R., ... & Alexiou, A. (2022). Targeting oxidative stress mechanisms to treat Alzheimer's and Parkinson's disease: a critical review. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2022(1), 7934442.
- Acosta Granja, T. E. (2022). Formulación de enjuague bucal con propiedades antimicrobianas a base de extractos de arrayán (*Myrcianthes hallii*) y clavo de olor (*Syzygium aromaticum*). [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17401>
- Andrade, J. C., Cárdenas, J. C., & Gallo, N. O. (2021). Uso de especies nativas como plantas ornamentales en el Distrito Metropolitano de Quito. *CienciaAmerica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 10(2), 99-122.

- Aranda, N. C. I. (2018, 1 marzo). Extracción y microencapsulación de antocianinas a partir de papas nativas (*Solanum. spp*) variedades Puca - shungo y Yana - shungo. [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/d7597308-d9f6-4736-871c-60c35cae1e43>
- Bakuradze, T., Tausend, A., Galan, J., Groh, I. A. M., Berry, D., Tur, J. A., ... & Richling, E. (2019). Antioxidative activity and health benefits of anthocyanin-rich fruit juice in healthy volunteers. *Free radical research*, 53(sup1), 1045-1055.
- Balbuena, L. M., Vivas, B. M. C., López, I. S., Lino, A. C., & García, J. C. R. (2019). Antioxidantes naturales y su poder reductor frente a iones plata: alternativa en la recuperación de metales/Natural Antioxidants and Their Reducing Power Against Silver Ions: Alternative in the Recovery of Metals. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 8(15).
- Ballesteros Ballesteros, V. A., Lozano Forero, S., Rodríguez Cardoso, Ó. I., Ballesteros Ballesteros, V. A., Lozano Forero, S., & Rodríguez Cardoso, Ó. I. (2020). Noción de aproximación del área bajo la curva utilizando la aplicación Calculadora Gráfica de GeoGebra. *Praxis & Saber*, 11(26). <https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n26.2020.9989>
- Becerra Campos, G. B., & Monzón Contreras, L. (2019). Optimización de la extracción de compuestos fenólicos asistida por ultrasonido en residuos de palta hass (persea americana). *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3530>
- Bertelli, A., Biagi, M., Corsini, M., Baini, G., Cappellucci, G. y Miraldi, E. (2021). Polifenoles: de la teoría a la práctica. *Alimentos*, 10 (11), 2595.
- Bobo-García, G., Davidov-Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, M. R., & Navarro, M. (2014). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, 95(1), 204-209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6706>

- Buenaño Toapanta, M. F. (2022). Evaluación del producto químico hymexazol y del producto biológico *Trichoderma harzianum* para controlar el Damping off en plantas de arrayán (*Myrcianthes hallii* (O. Berg) McVaugh).
- Cáceres-Roa, S. A., López-Giraldo, L. J., Muvdi-Nova, C. J., Cáceres-Roa, S. A., López-Giraldo, L. J., & Muvdi-Nova, C. J. (2023). Extracción de polifenoles: Una comparación a partir de cáscara de cacao húmeda vs cáscara de cacao secada. *Ingeniería y competitividad*, 25(2). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.12223>
- Calderón-Oliver, M., y Ponce-Alquicira, E. (2022). El papel de la microencapsulación en aplicaciones alimentarias. *Molecules* , 27 (5), 1499.
- Cardona Tangarife, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, ISSN-e 0122-8706, Vol. 22, N°. 1, 2021, Págs. 1-21, 22(1), 1–21. https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1899
- Carranza Quispe, L. E., Bermúdez del Sol, A., & Salazar Martínez, D. F. (2018). Evaluación de la actividad antimicrobiana “in vitro” del extracto hidroalcohólico de *myrcianthes hallii* frente a proteus spp. [Universidad Uniandes]. <https://dspace.uniandes.edu.ec/handle/123456789/8791>
- Carvajal, P. C., Coppo, E., di Lorenzo, A., Gozzini, D., Bracco, F., Zanoni, G., Nabavi, S. M., Marchese, A., Arciola, C. R., & Daglia, M. (2016). Chemical Characterization and in Vitro Antibacterial Activity of *Myrcianthes hallii* (O. Berg) McVaugh (Myrtaceae), a Traditional Plant Growing in Ecuador. *Materials* 2016, Vol. 9, Page 454, 9(6), 454. <https://doi.org/10.3390/MA9060454>
- Cevallos, A. B. (2022). “Actividad antiparasitaria in vitro e in silico de aceites esenciales de *myrcianthes hallii*, schinus molle & origanum majorana, contra leishmania spp. [Universidad Internacional SEK]. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4846>”
- Cunlata, C., Del Pilar, A., Coba, C. F. C., & Calva, M. Á. G. (2021). Evaluación de tres tratamientos pre-germinativos y tres tipos de sustratos para la propagación de arrayán (*Myrcianthes hallii*)(O. Berg) Mcvaugh.

- Chanca Anquipa, P. M. (2024). Optimización de la obtención de antocianinas de mashua morada (*Tropaeolum tuberosum*) para la elaboración de un colorante natural aplicable en helados. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/10212>
- Chaudhary, P., Janmeda, P., Docea, AO, Yeskaliyeva, B., Abdull Razis, AF, Modu, B., ... y Sharifi-Rad, J. (2023). Estrés oxidativo, radicales libres y antioxidantes: Posible interacción en la fisiopatología de las enfermedades humanas. *Frontiers in chemistry*, *11*, 1158198.
- Chávez Daquilema, J. D. C. (2016). Evaluación de la actividad cicatrizante del extracto de hojas de arrayán (*Myrcianthes hallii*), in vitro por inhibición de la hialuronidasa e in vivo en heridas inducidas en ratones (*Mus musculus*). [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5030>
- Enaru, B., Drețcanu, G., Pop, TD, Stănilă, A. y Diaconeasa, Z. (2021). Antocianinas: Factores que afectan su estabilidad y degradación. *Antioxidantes*, *10* (12), 1967.
- FAO, (2025). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. (s. f.). FAOHome. <https://www.fao.org/home/es>
- Figueroa, P. M., Ceballos, M. A., & Hurtado, A. M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Revista Colombiana de Química*, *45*(2), 39–47. <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.QUIM.V45N2.57481>
- Filková, I. y Mujumdar, AS (2020). Sistemas industriales de secado por aspersión. En *Manual de secado industrial* (págs. 263-307). CRC Press.
- Floríndez Ch, G. E. (2023). Obtención del extracto y su rendimiento de antocianinas en el camote morado CIP 441700 (*Ipomoea batatas*) utilizando tres disolventes diferentes de extracción.
- Fraga, CG, Croft, KD, Kennedy, DO y Tomás-Barberán, FA (2019). Efectos de los polifenoles y otros bioactivos en la salud humana. *Food & Function*, *10* (2), 514-528.
- Gaber, NB, El-Dahy, SI y Shalaby, EA (2023). Comparación de los ensayos de ABTS, DPPH, permanganato y azul de metileno para determinar el potencial antioxidante

- de extractos sucesivos de residuos de granada y guayaba. *Conversión de Biomasa y Biorrefinería*, 13 (5), 4011-4020.
- Gavilánez Luna, F. (2021). *Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas*. Ediciones Díaz de Santos.
- Guerrero Guerrero, J. K. (2022). Formulación y control de calidad de Fotoprotector a base de *Myrcianthes hallii* y *Oreocallis grandiflora*. [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/20386>
- Gulcin, I. (2020). Antioxidantes y métodos antioxidantes: Una visión general actualizada. *Archivos de toxicología*, 94 (3), 651-715.
- Guntero, V. A., Longo, M. B., Ciparicci, S. A., Martini, R. E., & Andreatta, A. E. (s. f.). *Comparación de métodos de extracción de polifenoles a partir de residuos de la industria vitivinícola*.
- Inácio, L. C. dos R., Avelino, S. F., Sanjulião, L.-R. K. A., Reis, M. J., Borges, V. de O., Piantino, L. F. M., Pinto, R. A. N., & Silva, H. M. da. (2023). Ferramentas básicas da qualidade: Folha de verificação, estratificação, fluxograma, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, matriz GUT e 5W2H. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(10), 17413-17427. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.2890>
- Jakubczyk, K., Drużga, A., Katarzyna, J. y Skonieczna-Żydecka, K. (2020). Potencial antioxidante de la curcumina: un metanálisis de ensayos clínicos aleatorios. *Antioxidantes*, 9 (11), 1092.
- Jha, AK y Sit, N. (2022). Extracción de compuestos bioactivos de materiales vegetales mediante la combinación de diversos métodos novedosos: Una revisión. *Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 119, 579-591.
- Kammerer, DR (2024). Antocianinas. En *Manual sobre pigmentos naturales en alimentos y bebidas* (págs. 127-146). Woodhead Publishing.
- Keske, S., Spohr, L., Luduvico, K. P., Domingues, W. B., Campos, V. F., & Spanevello, R. M. (2022). Efeito de extrato de mirtilo na expressão de citocinas inflamatórias em córtex cerebral de camundongos submetidos a um modelo experimental de comportamento tipo-depressivo.

- Lincango, K. (2015). *Optimización Económica en la formulación de una bebida en polvo*. Universidad Central de Ecuador.
- 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-b9e0-48f1-8459-2391fbdbe1d>
- Marcelo, A., Ulloa, C., & Tafur, V. (2018). *Evaluación de medios de cultivo para la micropropagación de Arrayán*. <https://www.researchgate.net/publication/323845507>
- Martínez-Navarrete, N., del Mar Camacho Vidal, M., & José Martínez Lahuerta, J. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad Dietética*, 12(2), 64–68. [https://doi.org/10.1016/S1138-0322\(08\)75623-2](https://doi.org/10.1016/S1138-0322(08)75623-2)
- Mego Vásquez, M. I. (2024). Efecto de la presión y la concentración de miel de caña sobre los parámetros fisicoquímicos del Aloe barbadensis Miller sometido a deshidratación osmótica por impregnación al vacío. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7541>
- Messaoud, C., Laabidi, A., & Boussaid, M. (2012). Myrtus communis L. Infusions: The Effect of Infusion Time on Phytochemical Composition, Antioxidant, and Antimicrobial Activities. *Journal of Food Science*, 77(9). <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2012.02849.X>
- Morales García Salas, G. I. (2021). *Evaluación de formulaciones para elaborar una infusión a partir de hoja verde de yaca (Artocarpus heterophyllus Lam.)* (Doctoral dissertation, USAC).
- Moreno. V. L. E. (2020, 1 enero). Extracción y microencapsulación de antocianinas con actividad antioxidante y antiinflamatoria obtenidas a partir de fréjol rojo (Phaseolus vulgaris L.). [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/393fbe47-1074-4444-a74b-56ee710719a1>
- NTE INEN 2337 (2008). Norma Técnica Ecuatoriana: Jugos, pulpas, concentrados, nectares, bebidas de frutas y vegetales. Requisitos. Recuperado el 30 de noviembre del 2024 de

<https://drive.google.com/file/d/18rcMeFpfDg7XhLqIZ60PzfMw9NM9OL3q/view>

- NTE INEN-ISO 1842 (2013). Norma Técnica Ecuatoriana: productos vegetales y de frutas – determinación de ph (idt). Recuperado el 30 de noviembre del 2024 de <https://drive.google.com/file/d/1aCglzoOqVJ5HDdCIlzwQutS5bJZO4Spc/view>
- NTE INEN-ISO 2173 (2013). Norma Técnica Ecuatoriana: productos vegetales y de frutas – determinación de sólidos solubles – método refractométrico (idt). Recuperado el 30 de noviembre del 2024 de <https://drive.google.com/file/d/1Pmp-y-mdjR0c8dyqKFNnknRE2gyq48Qr/view>
- NTE-INEN-ISO 750. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana: Productos vegetales y de frutas—Determinación de la acidez titulable (IDT)*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_750_extracto.pdf
- Orsini, S. M. D., & Aparicio, G. P. P. (2021). Espectroscopia de infrarrojo con transformada de fourier (ft-ir) para análisis de muestras de harina de trigo, fécula de maíz y almidón de yuca. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 19(1), Article 1. <https://doi.org/10.24054/limentech.v19i1.1407>
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J. y Capanoglu, E. (2019). Revisión de los métodos de microencapsulación para antioxidantes alimentarios: Principios, ventajas, inconvenientes y aplicaciones. *Química de alimentos*, 272, 494-506.
- Pacheco, N. L. J. (2022, 1 septiembre). Evaluación del potencial antioxidante del extracto de *Margyricarpus pinnatus* (Lam.) Kuntze microencapsulado mediante secado por aspersión y su uso en la formulación de una bebida instantánea [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/2149df03-405f-4ed2-99bb-554fc9bd582c>
- Pajaro, N. P., Méndez, G. L., Fortich, M. del R. O., Alarcón, M. E. T., & Vega, J. M. R. (2018). Microencapsulación del aceite esencial de *Cinnamomum verum* J. mediante secado por aspersión y su potencial actividad antioxidante. *Revista Cubana de Farmacia*, 51(2). <https://revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/227/133>

- Panchal, SK y Brown, L. (2022). Beneficios potenciales de las antocianinas en trastornos crónicos del sistema nervioso central. *Molecules* , 28 (1), 80.
- Parcheta, M., Świsłocka, R., Orzechowska, S., Akimowicz, M., Choińska, R. y Lewandowski, W. (2021). Desarrollos recientes en antioxidantes eficaces: Estructura y propiedades antioxidantes. *Materials*, 14 (8), 1984.
- Pérez Ayma, M. A. (2021). *Determinación de los Parámetros en la Deshidratación Osmótica en Láminas de Mashua (Tropaeolum tuberosum), Mediante la Metodología de Superficie de Respuesta*. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1006>
- Quinaluisa Calvopiña, D. C. (2018). Microencapsulación de componentes bioactivos de pulpa de arazá (*Eugenia stipitata*) mediante secado por aspersión. [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/fdd08b5c-40f8-42da-9edf-7694de9e3c48>
- Quispe, P. W. M., Morales, M. A. A., Luna, A. M. M., Mamani, E. J. M., Aguilar, R. M. J., & Condori, M. B. (2022). Caracterización y evaluación de colorantes de *Monnina vargasii* y *Vaccinium floribundum* por espectroscopia infrarroja FTIR-ATR y UV Visible. *Revista ECIPeru*, 13-18. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2022.0013/>
- Rana, A., Samtiya, M., Dhewa, T., Mishra, V. y Aluko, RE (2022). Beneficios de los polifenoles para la salud: Una revisión concisa. *Journal of Food Biochemistry*, 46 (10), e14264.
- Reyna, E. N., Álvarez, G. M., Iliná, A., & Hernández, J. L. M. (2015). Microencapsulación de componentes bioactivos Microencapsulation of bioactive compounds.
- Rios-Aguirre, S., Gil-Garzón, M. A., Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *TecnoLógicas*, 24(51), 206–229. <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Rodríguez-Hernández, LM, Aragüez-Fortes, Y., & Pino, JA (2021). Valoración del modelo de Bhandari para calcular el contenido de maltodextrina en el secado por

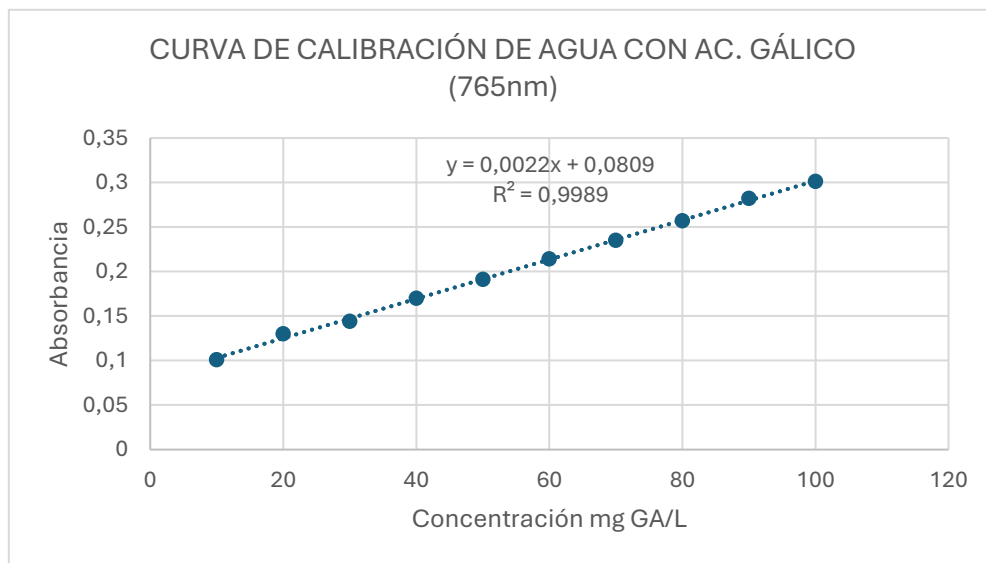
- aspersión de pulpas de frutas: Valoración del modelo de Bhandari para calcular el contenido de maltodextrina en el secado por aspersión de pulpas de frutas. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 31 (2), 7-11.
- Rojas Mendoza, B. S. (2024). Evaluación de la aceptabilidad sensorial y contenido proteico de la masa precocida para pizza, sustituyendo parcialmente harina de trigo (*triticum aestivum* L.) por harina de quinua blanca (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7328>
- Sailema Criollo, A. E. (2024). Evaluación de la actividad antioxidante y antiinflamatoria de carotenoides microencapsulados a partir de los residuos de la naranjilla (*Solanum quitoense*).
- Samborska, K., Poozesh, S., Barańska, A., Sobulska, M., Jedlińska, A., Arpagaus, C., ... y Jafari, SM (2022). Innovaciones en el proceso de secado por aspersión para las industrias alimentaria y farmacéutica. *Journal of Food Engineering*, 321, 110960.
- Sánchez, E. R., & Vargas, D. J. C. (2023). Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (*zea mays* l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(8), Article 8. <https://doi.org/10.38186/difcie.58.04>
- Serigos, J. (2022). Métodos de análisis estadísticos basados en corpus del español. In *Lingüística de corpus en español/The Routledge Handbook of Spanish Corpus Linguistics* (pp. 529-544). Routledge.
- Sinopoli, A., Calogero, G. y Bartolotta, A. (2019). Aspectos computacionales de las antocianidinas y antocianinas: Una revisión. *Química de alimentos*, 297, 124898.
- Tacilla Culqui, T. J. (2025). Eficiencia del proceso fenton en el nivel de concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de las aguas residuales domésticas, Llacanora—2023. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8039>
- Telenchana, P. E. V. (2019, 1 diciembre). Evaluación de la actividad antioxidante y antiinflamatoria de antocianinas microencapsuladas a partir de cáscaras de

- berenjena (*Solanum melongena*) [Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/items/b7dd68ed-0afa-419c-a213-c08b705b0c3c>
- Tiwari, P., Ramachandran, P., Arshad, N. y Rehman, A. (2024). Bebidas fortificadas. *Just Agric*, 4, 136-146.
- Vasco, C., Avila, J., Ruales, J., Svanberg, U., & Kamal-Eldin, A. (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(SUPPL. 7), 278–288. <https://doi.org/10.1080/09637480903099618>
- Vieira, EF, y Souza, S. (2022). Estrategias de formulación para mejorar la estabilidad y la biodisponibilidad de bebidas fortificadas con vitamina D: Una revisión. *Foods*, 11 (6), 847.
- Vita, L. I. (2023). *Evolución de poliaminas y capacidad antioxidante en frutos de manzana sometidos a estrés por elevada radiación solar*.
<https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17178>
- Yan, Z., Zhong, Y., Duan, Y., Chen, Q. y Li, F. (2020). Mecanismo antioxidante de los polifenoles del té y su impacto en los beneficios para la salud. *Nutrición Anima*, 6 (2), 115-123.
- Yan, C., Kim, SR, Ruiz, DR y Farmer, JR (2022). Microencapsulación para aplicaciones alimentarias: Una revisión. *ACS Applied Bio Materials*, 5 (12), 5497-5512.
- Yu, Z., Guindani, M., Grieco, S. F., Chen, L., Holmes, T. C., & Xu, X. (2022). Beyond t test and ANOVA: Applications of mixed-effects models for more rigorous statistical analysis in neuroscience research. *Neuron*, 110(1), 21-35.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.10.030>
- Zafar, F., Asif, HM, Shaheen, G., Ghauri, AO, Rajpoot, SR, Tasleem, MW, ... y Nazar, H. (2023). Una revisión exhaustiva sobre plantas medicinales con potencial antioxidante. *Farmacología y Fisiología Clínica y Experimental*, 50 (3), 205-217.
- Zheng, J., Xiao, N., Li, Y., Xie, X. y Li, L. (2022). Injerto de radicales libres de aislado de proteína de suero con polifenol del té: Síntesis y cambios en las propiedades estructurales y funcionales. *Lwt*, 153, 112438.

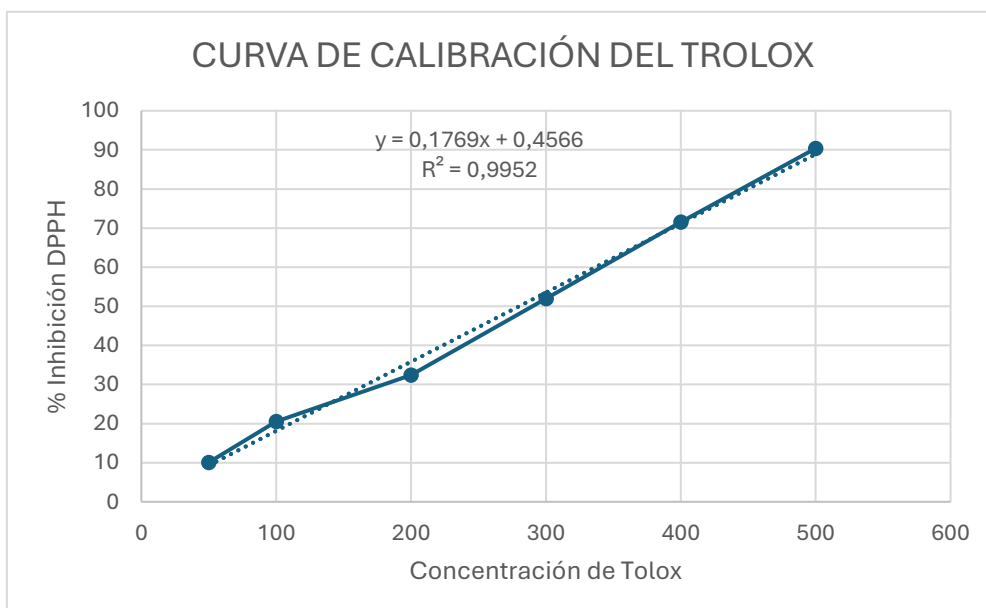
Zura, M., Mishell, S., Vistin, U., Andrés, D., Álvarez, V., & Vinicio, H. (2024). Estudio integral del comportamiento fenológico, reproductivo, socioeconómico y métodos de almacenamiento de la semilla de *Myrcianthes Hallii* (O. Berg) Mcvaugh (Arrayan) en el Biocorredor Andes Norte (Bian), Imbabura, Ecuador.

ANEXOS

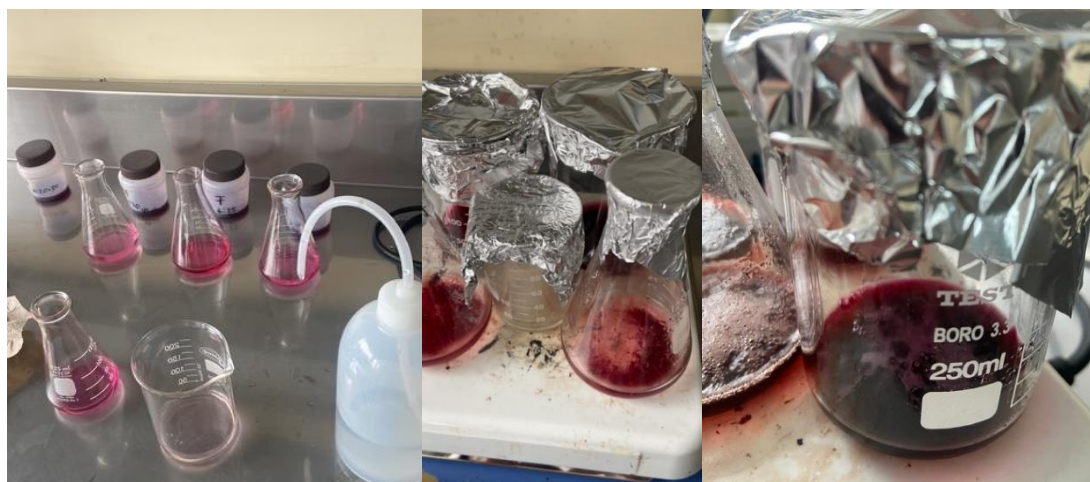
Anexo 1. Curva de calibración de agua con ácido gálico a 765nm.



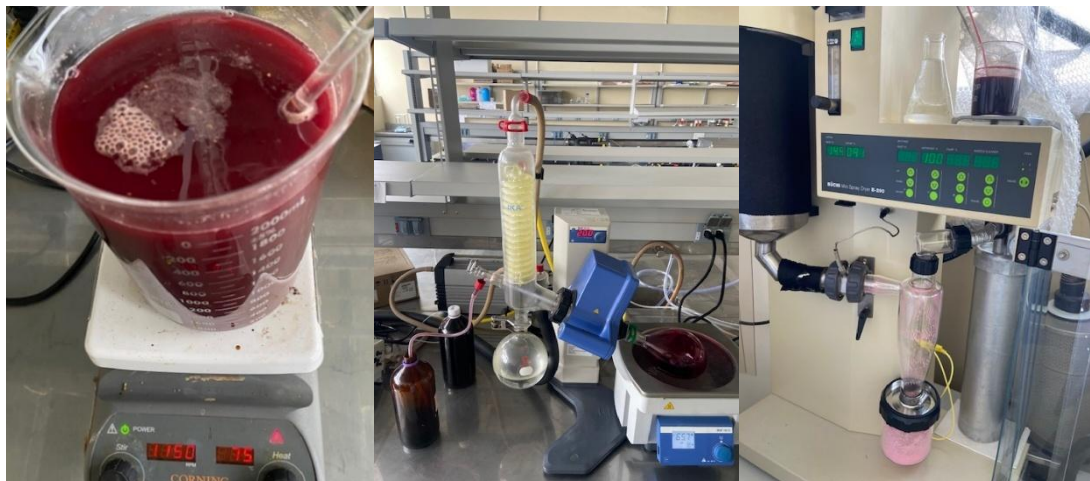
Anexo 2. Curva de calibración de la solución madre Trolox.



Anexo 3. Preparación de las muestras para realizar análisis.



Anexo 4. Concentración y microencapsulación de los compuestos bioactivos.



Anexo 5. Elaboración de bebida fortificada con el microencapsulado.

