

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: **“Incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) en manzanas (*Pyrus malus L.*) confitadas”.**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniera en Alimentos

AUTORA: Villarreal Rosero Jenny Madelaine

TUTOR: Ing. Torres Mayanquer Freddy Giovanni, MSc.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Villarreal Rosero Jenny Madelaine con el número de cédula 0401743836 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao (*Theobroma cacao L.*) en manzanas (*Pyrus malus L.*) confitadas".

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en la Codificación del Reglamento de Régimen Académico y de Estudiantes de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

Ing. Torres Mayanquer Freddy Giovanni, MSc.

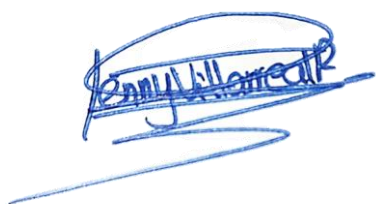
TUTOR

Tulcán, junio de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de Alimentos de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales.

Yo, Villarreal Rosero Jenny Madelaine con cédula de identidad número 0401743836 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Villarreal Rosero Jenny Madelaine

AUTORA

Tulcán, junio de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Villarreal Rosero Jenny Madelaine declaro ser autora de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en manzanas (*Pyrus malus* L.) confitadas" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Villarreal Rosero Jenny Madelaine

AUTORA

Tulcán, junio de 2026

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme culminar mi carrera universitaria y seguir adelante a pesar de todas las dificultades que se presentaron en el camino.

A la Universidad Politécnica Estatal del Carchi agradezco la oportunidad brindada para cursar mi carrera, adquirir nuevos conocimientos y conocer grandes personas a lo largo de mi camino.

A mi tutor, Freddy Torres por su inigualable guía, paciencia y conocimientos compartidos a lo largo de esta investigación. Su orientación fue fundamental para dar forma a este proyecto.

A mi hijo, Eithan Caicedo, quien ha sido mi motor, mi mayor inspiración y la razón principal para superarme cada día, tu sola presencia me dio fuerzas necesarias para culminar esta meta.

A mi madre, Viviana Rosero, y a mi hermana, Estephany Villarreal, por ser las mujeres de mi vida, mi pilar fundamental y mi mayor ejemplo y fortaleza. Gracias por su amor incondicional, su complicidad y por estar a mi lado en cada paso de este camino, recordándome siempre que era capaz de lograrlo.

A mi compañero de vida Luis Caicedo, así como a la familia paterna de mi hijo, por su apoyo incondicional, su respaldo constante y por brindarme una mano amiga durante este proceso académico. Su respaldo fue una pieza clave en este camino.

A todos ellos, mi eterna gratitud.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis con mucho cariño a mi familia, por ser mi base, mi refugio y el apoyo incondicional en cada paso de este camino universitario. Y de manera muy especial a mi hijo, el motor de mi vida y mi más grande inspiración; este logro es por ti y para ti.

Con amor,

Jenny Madelaine.

ÍNDICE

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
I. EL PROBLEMA	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21
1.4.3. Preguntas de Investigación	21
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2. MARCO TEÓRICO	27
2.2.1. La manzana.....	27
2.2.1.1. Taxonomía de la manzana	27
2.2.1.2. Descripción morfológica	27
2.2.1.3. Descripción de la fruta	28
2.2.1.4. Valor nutricional de la manzana	28
2.2.1.5. Propiedades de la manzana	29
2.2.1.6. Oxidación en la manzana	29
2.2.1.7. Pardeamiento enzimático.....	29
2.2.1.8. Oferta y demanda en el mercado local	30
2.2.2. Cacao.....	30

2.2.2.1. Taxonomía del cacao	31
2.2.2.2. Variedad de cacao	31
2.2.2.3. Mucílago.....	32
2.2.3. Compuestos bioactivos.....	33
2.2.3.1. Antioxidantes	33
2.2.3.2. Polifenoles	33
2.2.3.3. Flavonoides.....	34
2.2.4. Deshidratación osmótica	35
2.2.5. Fruta confitada	35
III. METODOLOGÍA	37
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	37
3.1.1. Enfoque.....	37
3.1.2. Tipo de Investigación.....	37
3.2. HIPÓTESIS	37
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	37
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	40
3.4.1. Extracción de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao	40
3.4.2. Proceso de obtención de polifenoles y flavonoides	40
3.4.3. Proceso de elaboración de las manzanas confitadas	43
3.4.4. Análisis fisicoquímicos	46
3.4.4.1. Sólidos solubles	46
3.4.4.2. pH	46
3.4.4.3. Acidez	47
3.4.5. Análisis microbiológico	47
3.4.5.1. Mohos y levaduras	47
3.4.5.2. Aerobios Mesófilos.....	47
3.4.6. Caracterización de Polifenoles y Flavonoides totales	48

3.4.6.1. Índice de polifenoles totales (IPT) por absorbancia a 280 nm	48
3.4.6.2. Índice de flavonoles (ICF) por absorbancia a 365 nm	48
3.4.7. Actividad antioxidante de las manzanas confitadas	48
3.4.7.1. Actividad captadora de radicales DPPH	48
3.4.8. Análisis sensorial	49
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	49
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1. RESULTADOS	51
4.1.1. Caracterización de la materia prima (manzana)	51
4.1.2. Correlación de los parámetros fisicoquímicos	52
4.1.3. Características fisicoquímicas del producto final	53
4.1.4. Características microbiológicas del producto final.....	55
4.1.5. Características sensoriales del producto final.....	56
4.2. DISCUSIÓN.....	59
4.2.1. Caracterización de la materia prima (manzana)	59
4.2.2 Correlación de los parámetros fisicoquímicos	60
4.2.3. Parámetros fisicoquímicos del producto final	60
4.2.3.1. Humedad y actividad de agua (aw)	60
4.2.3.2. pH y acidez titulable	61
4.2.3.3. Sólidos solubles (°Brix)	62
4.2.3.4. Polifenoles y flavonoides totales	62
4.2.3.5. Actividad antioxidante (% inhibición DPPH)	63
4.2.4. Calidad microbiológica	64
4.2.5. Evaluación sensorial.....	65
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1. CONCLUSIONES	69
5.2. RECOMENDACIONES	70

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
VII. ANEXOS.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la manzana	27
Tabla 2. Valor nutricional por cada 100 g	28
Tabla 3. Clasificación taxonómica del cacao	31
Tabla 4. Operacionalización de variables	39
Tabla 5. Formulación para obtener la concentración de los compuestos bioactivos	40
Tabla 6. Escala hedónica de 7 puntos	49
Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de la manzana fresca	51
Tabla 8. Análisis descriptivos de los resultados fisicoquímicos en el producto final	54
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados fisicoquímicos	54
Tabla 10. Verificación de supuestos: Normalidad y Homogeneidad	54
Tabla 11. Pruebas post-hoc para parámetros fisicoquímicos de las manzanas.....	55
Tabla 12. Análisis microbiológicos de las manzanas confitadas	56
Tabla 13. Distribución de frecuencias porcentuales para el análisis sensorial	56
Tabla 14. Análisis inferencial para los atributos sensoriales	58
Tabla 15. Comparaciones múltiples (prueba post-hoc)	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de cacao (forastero, trinitario y criollo)	32
Figura 2. Estructura base de los flavonoides	35
Figura 3. Diagrama de flujo para la obtención de los compuestos bioactivos	41
Figura 4. Diagrama de flujo para las manzanas confitadas	44
Figura 5. Matriz de correlaciones de Pearson entre IPT, ICF, humedad, actividad de agua (aw), pH, acidez y actividad antioxidante (DPPH).	52
Figura 6. Cacao lavado.....	79
Figura 7. Obtención de mucílago.....	79
Figura 8. Secado del mucílago	79
Figura 9. Mucílago seco.....	79
Figura 10. Mezcla disolvente y mucílago	79
Figura 11. Extracción a alta temperatura	79

Figura 12. Enfriamiento del extracto	80
Figura 13. Filtrado del extracto.....	80
Figura 14. Evaporación del disolvente	80
Figura 15. Secado del extracto	80
Figura 16. Manzana lavada.....	81
Figura 17. Escaldado de la manzana.....	81
Figura 18. Corte de la manzana	81
Figura 19. Maceración de la manzana.....	81
Figura 20. Inmersión en jarabe	81
Figura 21. Secado de la manzana confitada.....	81
Figura 22. Envasado de la manzana confitada	81
Figura 23. Humedad de la manzana.....	82
Figura 24. Actividad de agua de la manzana	82
Figura 25. pH de la manzana	82
Figura 26. Acidez de la manzana	82
Figura 27. Índice de almidón.....	82
Figura 28. IPT y ICF del extracto.....	82
Figura 29. Humedad en el producto final	83
Figura 30. Aw en el producto final	83
Figura 31. pH en el producto final.....	83
Figura 32. Acidez en el producto final.....	83
Figura 33. DPPH en el producto final	83
Figura 34. Mohos y levaduras	83
Figura 35. Aerobios mesófilos.....	83
Figura 36. Evaluación de los jueces 1	85
Figura 37. Evaluación de los jueces 2	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas	77
Anexo 2. Obtención de compuestos bioactivos.....	79
Anexo 3. Proceso de elaboración de manzanas confitadas	81
Anexo 4. Análisis de la materia prima y producto terminado.....	82
Anexo 5. Análisis sensorial	84

RESUMEN

El presente estudio evaluó la incorporación de polifenoles y flavonoides extraídos del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en manzanas confitadas, considerando sus efectos sobre las propiedades fisicoquímicas, la actividad antioxidante, la calidad microbiológica y la aceptación sensorial del producto. Se utilizó un diseño experimental con tres concentraciones de extracto seco de mucílago de cacao (1 %, 2.5 % y 5 %) incorporadas durante el proceso de deshidratación osmótica. Se analizaron la humedad, la actividad de agua, el pH, la acidez, el contenido de polifenoles totales (IPT), flavonoides totales (ICF), la actividad antioxidante mediante DPPH, así como los parámetros microbiológicos y sensoriales. Los resultados mostraron que el incremento en la concentración del extracto estuvo asociado con mayores contenidos de polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante. El tratamiento con 5 % registró los valores más altos de IPT, ICF y DPPH, además de menores niveles de humedad y actividad de agua. Todos los tratamientos cumplieron los criterios microbiológicos establecidos por la normativa vigente. En la evaluación sensorial, las muestras presentaron niveles favorables de aceptación, destacándose el tratamiento con mayor concentración de extracto en los atributos de sabor, textura y aceptación global. La incorporación de 5 % de extracto de mucílago de cacao permitió obtener manzanas confitadas con mayor contenido de compuestos bioactivos, elevada actividad antioxidante y adecuada aceptación sensorial.

Palabras clave: Mucílago de cacao, polifenoles, flavonoides, manzanas confitadas, actividad antioxidante, deshidratación osmótica.

ABSTRACT

The present study evaluated the incorporation of polyphenols and flavonoids extracted from cacao mucilage (*Theobroma cacao* L.) into candied apples, considering their effects on the physicochemical properties, antioxidant activity, microbiological quality, and sensory acceptance of the product. An experimental design was used with three concentrations of dry cacao mucilage extract: 1%, 2.5%, and 5%, incorporated during the osmotic dehydration process. Moisture content, water activity, pH, acidity, total polyphenol content (TPC), total flavonoid content (TFC), antioxidant activity through the DPPH method, as well as microbiological and sensory parameters, were analyzed. The results showed that the increase in extract concentration was associated with higher contents of polyphenols, flavonoids, and antioxidant activity. The treatment with 5% extract recorded the highest values of TPC, TFC, and DPPH, in addition to lower moisture content and water activity levels. All treatments met the microbiological criteria established by current regulations. In the sensory evaluation, the samples showed favorable acceptance levels, with the treatment containing the highest extract concentration standing out in terms of flavor, texture, and overall acceptance. The incorporation of 5% cacao mucilage extract made it possible to obtain candied apples with a higher content of bioactive compounds, elevated antioxidant activity, and adequate sensory acceptance.

Keywords: cacao mucilage, polyphenols, flavonoids, candied apples, antioxidant activity, osmotic dehydration.

INTRODUCCIÓN

Cada año, la industria cacaotera ecuatoriana genera más de 40 000 toneladas de mucílago, un subproducto que, lejos de ser aprovechado, termina contaminando fuentes hídricas y suelos agrícolas (Llerena et al., 2023; Ramírez y Almeida, 2026). Este residuo, sin embargo, esconde una valiosa reserva de polifenoles y flavonoides, compuestos con una potente capacidad antioxidante (Coyago-Cruz et al., 2025). En este sentido, la manzana enfrenta una limitante tecnológica: su pulpa se oscurece rápidamente tras el corte debido a la acción de la enzima polifenoloxidasas (PPO), lo que reduce su vida útil y restringe sus posibilidades de procesamiento (Muñoz-Pina et al., 2022). Convertir un residuo en una solución funcional y, al mismo tiempo, mejorar la estabilidad de un producto derivado de la manzana es el propósito que guía esta investigación.

La deshidratación osmótica constituye una técnica eficaz para lograr este doble cometido, pues permite impregnar compuestos bioactivos en el tejido vegetal mientras se reduce su contenido de humedad (Osorio Gutiérrez et al., 2019). Investigaciones han demostrado que las soluciones osmóticas enriquecidas con extractos vegetales mejoran significativamente el perfil polifenólico de las frutas deshidratadas (Karlińska et al., 2025). Además, los polifenoles y flavonoides no solo actúan como antioxidantes, sino que también inhiben la enzima PPO mediante la quelación del cobre en su centro activo, contribuyendo así a controlar el pardeamiento enzimático (Moon et al., 2020; Yu et al., 2021). De esta manera, el mucílago de cacao puede cumplir un rol dual: enriquecer nutricionalmente a la manzana confitada y, a la vez, protegerla del deterioro oxidativo.

Las frutas confitadas constituyen una alternativa adecuada para la incorporación de compuestos bioactivos, debido a que presentan una baja actividad de agua ($a_w < 0,80$), lo que favorece su estabilidad y conservación durante el almacenamiento. Además, el proceso de confitado, que consiste en la sustitución gradual del agua del fruto mediante inmersiones sucesivas en jarabes de concentración creciente, facilita la incorporación de estos compuestos sin afectar significativamente las características sensoriales del producto (Lustre y Cabrera, 2021). En la provincia del Carchi no se han encontrado investigaciones que evalúen el uso del mucílago de

cacao como fuente de polifenoles y flavonoides para la elaboración de manzanas confitadas con propiedades funcionales. En este contexto, el aprovechamiento de este subproducto representa una alternativa para generar valor agregado, reducir el desperdicio agroindustrial y promover el desarrollo de alimentos con mayor aporte funcional. Asimismo, esta propuesta se encuentra alineada con los principios de la economía circular y contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2, 3, 9 y 12).

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo general incorporar polifenoles y flavonoides extraídos del mucílago de cacao en manzanas confitadas, con la finalidad de conferirles actividad antioxidante. Para ello, se evaluó el efecto de la incorporación de los compuestos bioactivos sobre la capacidad antioxidante, se identificó su influencia en la calidad microbiológica del producto y se determinó su impacto en los parámetros fisicoquímicos y sensoriales de las manzanas confitadas.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A escala mundial, la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) genera grandes volúmenes de subproductos, entre los que destaca el mucílago, una capa mucilaginoso que recubre las semillas frescas. Según Lourenço et al. (2024) en un informe de la FAO estimaron que la producción de residuos de cacao es de alrededor de 12.4 millones de toneladas por año, donde por cada tonelada de cacao fresco seco se generan aproximadamente 700 kg de subproductos, de los cuales el mucílago representa entre el 10 y el 12 % del peso total de la mazorca. En países productores como Ecuador, líder mundial en cacao fino de aroma, este subproducto se desecha tradicionalmente durante las etapas de fermentación y secado, lo que genera un impacto ambiental negativo debido a su alto contenido de materia orgánica (Hernández, 2020).

La eliminación inadecuada de este material contamina el suelo y las fuentes hídricas, convirtiéndolo en un foco de proliferación de plagas y enfermedades. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que el mucílago de cacao contiene compuestos bioactivos de alto valor funcional, como polifenoles y flavonoides, con capacidad antioxidante demostrada (Coyago-Cruz et al., 2025). El desconocimiento de estas propiedades por parte de los agricultores, la falta de tecnología de extracción y el desinterés en la innovación han impedido su valorización como ingrediente funcional en la industria alimentaria (Reyes Ullón, 2020).

En el caso de la manzana (*Pyrus malus* L), principal fruta de clima templado cultivada en la sierra ecuatoriana (provincias de Tungurahua, Azuay, Chimborazo, Cotopaxi y Cañar), se enfrenta una problemática similar de subutilización y desperdicio. Aunque la demanda de manzanas en el mercado nacional ha aumentado en los últimos años, la producción local continúa siendo estacional y se destina principalmente al consumo en fresco, por lo que solo una pequeña parte se utiliza en procesos de transformación. Como consecuencia, el abastecimiento del mercado depende en gran medida de las importaciones, ya que alrededor del 77 % de las manzanas comercializadas en el país provienen de Chile, Francia, China y Estados Unidos

(Allauca, 2018). Solo en 2025, Ecuador importó alrededor de 4000 toneladas de manzanas, un 35% más que el año anterior (Portal Frutícola, 2024). A pesar del incremento de las importaciones de manzana, una parte importante de la producción agrícola nacional continúa perdiéndose durante la etapa de postcosecha como consecuencia de deficiencias en el manejo, almacenamiento y transporte. Se estima que estas pérdidas alcanzan aproximadamente el 40 % de la producción agrícola del país (Carvajal Heredia, 2012). Asimismo, en Ecuador se desperdician alrededor de 939 000 toneladas métricas de alimentos al año, con un valor económico cercano a los 334 millones de dólares, cantidad que podría cubrir las necesidades alimentarias de aproximadamente 1,5 millones de personas (La Hora, 2023). Esta realidad pone de manifiesto la necesidad de impulsar alternativas que permitan aprovechar mejor la producción nacional, especialmente mediante su transformación en alimentos con mayor valor agregado, como las frutas confitadas enriquecidas con compuestos bioactivos.

Por otra parte, la vida útil de la manzana (*Pyrus malus* L.) se ve afectada por el pardeamiento enzimático, una reacción provocada por la acción de la enzima polifenoloxidasas (PPO). Cuando el tejido del fruto se corta o se daña, esta enzima entra en contacto con los compuestos fenólicos y los oxida, formando quinonas que posteriormente se transforman en pigmentos de color marrón conocidos como melaninas (Muñoz-Pina et al., 2022). Este proceso deteriora la apariencia de la fruta y puede modificar su sabor y disminuir parte de su valor nutricional, reduciendo así su aceptación por parte de los consumidores y sus posibilidades de aprovechamiento industrial.

Como alternativa para reducir estos efectos, la deshidratación osmótica se ha convertido en una técnica ampliamente utilizada para la conservación y el desarrollo de productos con características funcionales. Durante este proceso ocurre un intercambio de masa entre el fruto y una solución hipertónica, lo que favorece la salida de agua y, al mismo tiempo, la incorporación de compuestos presentes en el jarabe, como azúcares y sustancias bioactivas (Osorio Gutiérrez et al., 2019). En este sentido, el mucílago de cacao constituye una fuente natural de polifenoles y flavonoides con potencial para ser incorporados durante el proceso de confitado, contribuyendo a disminuir el pardeamiento enzimático, fortalecer la capacidad

antioxidante de la manzana y generar un mayor valor agregado a partir del aprovechamiento de un subproducto agroindustrial.

En la provincia del Carchi aún no se han reportado investigaciones orientadas al uso del mucílago de cacao como fuente de compuestos bioactivos en la elaboración de manzanas confitadas con actividad antioxidante. Esta situación representa una oportunidad para desarrollar productos innovadores que, además de aprovechar recursos disponibles, contribuyan al fortalecimiento de la agroindustria local y promuevan prácticas de producción más sostenibles.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La incorporación de polifenoles y flavonoides extraídos del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) permite obtener manzanas (*Pyrus malus* L) confitadas con actividad antioxidante, estabilidad microbiológica y atributos sensoriales aceptables?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación surge de la necesidad de aprovechar el mucílago de cacao, un subproducto agroindustrial que, a pesar de su potencial, tiene un uso limitado. Su incorporación como fuente de compuestos bioactivos en la elaboración de manzanas confitadas representa una alternativa para obtener un producto con mayor valor funcional y, al mismo tiempo, contribuir al aprovechamiento de los residuos generados por la industria cacaotera. Esta propuesta responde a la necesidad de promover procesos más sostenibles dentro del sector agroalimentario, en concordancia con los principios de la economía circular (Ramírez y Almeida, 2026).

De acuerdo con la Organización Internacional del Cacao (ICCO, 2024), la producción mundial de cacao alcanzó aproximadamente 4,728 millones de toneladas durante la temporada 2023/2024, generando una importante cantidad de subproductos como la cáscara, la testa y el mucílago. En Ecuador, la producción anual supera las 240 000 toneladas (MAG, 2025), lo que ubica al país entre los principales productores de cacao fino de aroma. Sin embargo, durante el beneficio del cacao se generan cantidades considerables de mucílago que, en muchos casos, son descartadas sin un aprovechamiento adecuado. Esta práctica puede ocasionar

problemas ambientales debido a su elevado contenido de materia orgánica y azúcares fermentables, favoreciendo procesos de contaminación y el desarrollo de microorganismos cuando no recibe un manejo apropiado (Trujillo y Guerrero, 2025; Ramírez y Almeida, 2026).

Diversas investigaciones han demostrado que el mucílago de cacao contiene compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, principalmente polifenoles y flavonoides (Llerena et al., 2023). En este sentido, Reyes Ullón (2020) reportó que el mucílago de cacao de la variedad Nacional × Trinitario presentó concentraciones de hasta 105,08 mg GAE/100 mL de polifenoles totales y 36,80 mg CE/100 mL de flavonoides totales, predominando compuestos como catequina, epicatequina y procianidinas. Estos metabolitos han despertado interés por su aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales, debido a su capacidad para incrementar la actividad antioxidante de diferentes productos alimenticios. De igual manera, Hernández (2020) evidenció que la incorporación de extractos de mucílago de cacao en chocolate blanco permitió incrementar significativamente la capacidad antioxidante del producto, alcanzando una inhibición del radical DPPH superior a la obtenida en la formulación control. Además, diferentes estudios indican que los polifenoles y flavonoides pueden contribuir a disminuir el pardeamiento enzimático de frutas mediante la inhibición de la enzima polifenoloxidasas (PPO), responsable de la formación de pigmentos marrones después del corte o procesamiento del tejido vegetal (Moon et al., 2020; Yu et al., 2021). Estas propiedades convierten al mucílago de cacao en una alternativa de interés para el desarrollo de alimentos procesados con mejores características funcionales.

Por otra parte, la deshidratación osmótica constituye una tecnología ampliamente utilizada para la conservación de frutas, ya que favorece la reducción del contenido de agua, mejora la estabilidad del producto y permite incorporar compuestos de interés presentes en soluciones hipertónicas (Ignaczak et al., 2025). La utilización de esta técnica para incorporar polifenoles y flavonoides provenientes del mucílago de cacao en manzanas confitadas representa una alternativa para desarrollar un producto con mayor capacidad antioxidante, además de fomentar el aprovechamiento de un subproducto generado por la industria cacaotera.

Finalmente, esta investigación aporta información técnica que puede servir como base para futuras aplicaciones en la agroindustria, promoviendo el aprovechamiento del mucílago de cacao y la diversificación de productos derivados de la manzana. Asimismo, sus resultados podrían ser de utilidad para productores y pequeñas empresas interesadas en desarrollar alimentos con mayor valor agregado mediante el uso de ingredientes naturales y procesos sostenibles.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Incorporar polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao en manzanas confitadas con actividad antioxidante.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Evaluar el efecto de adición de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao en la actividad antioxidante de las manzanas confitadas.
- ✓ Identificar el efecto de adición de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao en la estabilidad microbiológica de las manzanas confitadas.
- ✓ Determinar el efecto de la incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao sobre los parámetros fisicoquímicos y sensoriales de las manzanas confitadas.

1.4.3. Preguntas de Investigación

1. ¿La adición de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao tiene un efecto significativo en la actividad antioxidante de las manzanas confitadas?
2. ¿Qué efecto tiene la utilización de polifenoles y flavonoides en la estabilidad microbiológica de las manzanas confitadas?
3. ¿Cuál es la percepción sensorial y aceptabilidad del consumidor hacia las manzanas confitadas con polifenoles y flavonoides?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan los estudios previos que han abordado temáticas relacionadas con la caracterización de compuestos bioactivos en subproductos del cacao, la deshidratación osmótica para el enriquecimiento de frutas y el desarrollo de productos de confitería con propiedades funcionales, los cuales constituyen el punto de partida para el desarrollo experimental de la presente investigación.

Osorio Gutiérrez et al. (2019) tuvieron el objetivo de evaluar la deshidratación osmótica como herramienta para el enriquecimiento de manzanas con compuestos bioactivos. La metodología consistió en someter rodajas de manzana criolla a deshidratación osmótica en diferentes soluciones (emulsión con cápsula vegetal, jamaica y oleoresina de chile piquín; soluciones de sacarosa y sacarosa-jamaica) durante 120 minutos a 40 °C. Se analizaron la pérdida de agua, la ganancia de sólidos, el cambio de color, la cuantificación de fenoles solubles y de antocianinas monoméricas, así como la fuerza máxima de compresión. Los resultados mostraron que las muestras tratadas con la emulsión presentaron un aumento en el contenido de aceite, de fenoles solubles y de antocianinas. Las micrografías revelaron la presencia de microcápsulas con aceite inmersas en la microestructura de la manzana. Los autores concluyeron que la deshidratación osmótica es una técnica viable para impregnar rodajas de manzana con aceites y sustancias funcionales, permitiendo la producción de alimentos más atractivos para el consumidor.

Reyes Ullon (2020) determinó el contenido de vitamina C, polifenoles y flavonoides totales en el mucílago de cacao de las variedades CCN-51 y Nacional, así como evaluar su actividad antioxidante. La metodología incluyó la extracción de compuestos bioactivos mediante solventes, la cuantificación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu, la determinación de flavonoides totales por el método del cloruro de aluminio y la evaluación de la actividad antioxidante mediante los métodos DPPH y ABTS. Los resultados evidenciaron que el mucílago de la variedad Nacional presentó un mayor

contenido de polifenoles totales (105.08 mg GAE/100 mL) y flavonoides totales (36.80 mg CE/100 mL) en comparación con la variedad CCN-51 (98.40 mg GAE/100 mL y 28.99 mg CE/100 mL, respectivamente). La actividad antioxidante medida por ABTS fue de 7.99 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en la variedad Nacional frente a 9.19 $\mu\text{mol Trolox/g}$ en CCN-51. El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre las dos variedades ($p < 0.05$). La autora concluyó que el mucílago de cacao constituye una fuente prometedora de compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes, apta para su aprovechamiento en la industria alimentaria como ingrediente funcional.

Hernández (2020) incorporó compuestos bioactivos de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) y pulpa de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth.) en chocolate blanco. La metodología incluyó la extracción de polifenoles y flavonoides, la microencapsulación de los extractos mediante secado por aspersión (spray dryer) con maltodextrina, y la elaboración de nueve formulaciones de chocolate blanco según un diseño compuesto central (superficie de respuesta), variando las concentraciones de microencapsulado de mortiño y mucílago de cacao en rangos de 60 a 100 mg kg^{-1} . Se evaluó la actividad antioxidante mediante los métodos ABTS y FRAP, el contenido de polifenoles totales (Folin-Ciocalteu), flavonoides totales (cloruro de aluminio), antocianinas totales (pH diferencial), vitamina C (reflectometría), el color en el espacio CIELab, la aceptabilidad sensorial (escala hedónica no estructurada) y la estabilidad microbiológica (INEN 621). evaluó la incorporación de compuestos bioactivos microencapsulados obtenidos de mucílago de cacao y mortiño en chocolate blanco, con el propósito de mejorar sus propiedades funcionales. Los resultados evidenciaron un incremento significativo de la capacidad antioxidante en las formulaciones enriquecidas, alcanzando valores de 153,14 $\text{mg TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ mediante el método ABTS y 168,37 $\text{mg TE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ por FRAP en los tratamientos con mejor desempeño. Asimismo, estos tratamientos presentaron contenidos de polifenoles totales de 190,02 y 196,45 $\text{mg AGE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, mientras que los flavonoides totales fueron de 172,16 y 158,06 $\text{mg CE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. No se detectó la presencia de antocianinas ni vitamina C. La evaluación sensorial mostró que no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los atributos de color, aroma, sabor y textura entre las formulaciones evaluadas, destacándose el tratamiento con menor concentración de microencapsulados por su mayor aceptación. Además, el producto cumplió con los criterios microbiológicos establecidos en la norma INEN 621:2010. Estos resultados demuestran que el uso de compuestos bioactivos

provenientes del mucílago de cacao constituye una alternativa para incrementar la capacidad antioxidante del chocolate blanco sin afectar su aceptabilidad sensorial.

Llerena et al. (2023) caracterizaron los compuestos bioactivos presentes en residuos del cacao, específicamente en el mucílago y la cáscara de la semilla, de las variedades Nacional × Trinitario (cacao fino de aroma) y CCN-51. Para ello realizaron la extracción de los compuestos fenólicos, cuantificaron el contenido de polifenoles y flavonoides mediante espectrofotometría UV-Vis, identificaron el perfil fenólico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y determinaron la capacidad antioxidante utilizando los métodos ABTS, FRAP y ORAC. Los resultados indicaron que el mucílago de la variedad Nacional × Trinitario presentó el mayor contenido de polifenoles totales (105,08 mg GAE/100 mL) y flavonoides totales (36,80 mg CE/100 mL), además de concentraciones importantes de catequina, epicatequina, procianidinas y teobromina. En cuanto a la actividad antioxidante, las muestras de la variedad CCN-51 registraron los valores más elevados. Los autores concluyeron que el mucílago de cacao constituye una fuente importante de compuestos bioactivos con potencial para su aprovechamiento en el desarrollo de alimentos funcionales.

Vega et al. (2023) evaluaron la utilización de mucílago de cacao combinado con mora, arándano y frambuesa en un néctar. La metodología consistió en un diseño completamente al azar con arreglo factorial A×B, donde el factor A fue el tipo de fruto rojo (mora, arándano, frambuesa) y el factor B la variedad de mucílago (cacao Nacional o CCN-51). Los néctares se formularon con 20 % de pulpa de fruto y 25 % de mucílago, y se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, acidez titulable, °Brix, densidad, polifenoles totales), sensoriales (color, aroma, sabor, aceptabilidad) y microbiológicos (coliformes fecales, mohos y levaduras). Los resultados mostraron diferencias significativas en pH (3.17–3.30), °Brix (13.50–14.47 %) y polifenoles totales (370–633 mg ácido gálico/ml), mientras que la acidez y la densidad no presentaron diferencias. El tratamiento T1 (20 % mora + 25 % mucílago Nacional) obtuvo las mayores calificaciones en aroma (4.67), sabor (4.66) y aceptabilidad (4.83 sobre 5), mientras que T3 (20 % arándano + 25 % mucílago Nacional) presentó la mejor coloración. Además, T1 cumplió con los límites microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 2337:2008 (coliformes fecales: 0 UFC/g; levaduras: 7 UFC/g; mohos: 0 UFC/g). Los autores concluyeron que la incorporación de 25 % de mucílago de cacao Nacional permite obtener un néctar de frutos rojos con excelentes características

fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas, demostrando que este subproducto puede ser aprovechado como ingrediente funcional en bebidas.

Coyago-Cruz et al. (2025) evaluaron los compuestos bioactivos, la actividad antioxidante y antimicrobiana de semillas y mucílago de cuatro especies de cacao no tradicionales (*Theobroma subincanum*, *T. speciosum*, *T. bicolor* y *Herrania nitida*) provenientes de la Amazonía ecuatoriana. La metodología incluyó análisis fisicoquímicos (pH, sólidos solubles, acidez, humedad, cenizas), cuantificación de minerales (Ca, Fe, K, Mg, Na), vitamina C, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y carotenoides mediante HPLC, actividad antioxidante por ABTS y DPPH, y actividad antimicrobiana frente a bacterias (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus mutans*) y hongos (*Candida albicans*, *Candida tropicalis*). Los resultados mostraron perfiles diferenciados: las semillas de *T. subincanum* destacaron por su alta acidez titulable, Mg, Na, ácido sirínico, clorogénico, cafeico, rutina y quercetina; su mucílago por Ca, ácido *m*-cumárico, ferúlico, kaempferol, glucósido de quercetina y actividad frente a *S. mutans*. El mucílago de *T. speciosum* presentó los mayores niveles de ácido málico, tartárico, naringenina y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS). En *T. bicolor*, las semillas sobresalieron en luteína y actividad contra *S. aureus* y *C. albicans*, mientras que el mucílago mostró alto contenido de Fe, K, vitamina C, ácido cítrico, gálico, 4-hidroxibenzoico, zeaxantina, β -caroteno y actividad antioxidante por ABTS. Finalmente, *H. nitida* destacó por sus sólidos solubles en el mucílago. Los autores concluyeron que estas especies de cacao no tradicionales constituyen una fuente valiosa de compuestos bioactivos con significativa actividad antioxidante y antimicrobiana, lo que abre nuevas oportunidades para su aprovechamiento sostenible en productos de valor agregado.

Irma et al. (2024) evaluaron la composición bioactiva de la cáscara de mazorca de cacao (CPH) proveniente de la isla de Sulawesi, Indonesia, y determinar su potencial para beneficios en la salud humana. La metodología incluyó la determinación de la composición proximal mediante los métodos oficiales de la AOAC, la cuantificación de polifenoles totales (método de Folin-Ciocalteu), flavonoides totales (método del cloruro de aluminio con quercetina como estándar) y taninos (estándar de EGCG) mediante espectrofotometría UV-Vis, así como la identificación de compuestos químicos por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). Los resultados mostraron que la CPH presentó un contenido de humedad promedio

de 25.63 %, cenizas 8.48 %, grasa 0.65 %, proteína 10.34 % y carbohidratos (incluyendo fibra) de 54.91 %. El contenido de polifenoles totales fue de 98.68 mg GAE/g, flavonoides 3.58 mg equivalentes de quercetina/g y taninos 79.12 mg EGCG/g. Se identificaron 23 compuestos, cuyas estructuras químicas corresponden a derivados de terpenoides, ácidos grasos y esteroides; los compuestos mayoritarios fueron ácido butírico (25.91%), hexadecanoato de metilo (24.35%), ácido 13-docosenoico metil éster (11.05%) y 2-furancarboxaldehído (8.14%). Los autores concluyeron que la CPH originaria de Sulawesi posee una composición bioactiva similar a la de otras regiones del mundo, con compuestos que exhiben efectos beneficiosos para la salud, aunque se requieren estudios adicionales para verificar dichos beneficios.

Karlińska et al. (2025) desarrollaron una investigación cuyo objetivo fue investigar la migración de polifenoles de agrimonia fragante (*Agrimonia procera* Wallr.) y de rosa mosqueta (*Rosa rugosa*) hacia manzanas durante la deshidratación osmótica en una solución de sacarosa enriquecida con extractos vegetales. La metodología consistió en incorporar extractos de agrimonia y rosa mosqueta en una solución de sacarosa al 50 % utilizada para la deshidratación osmótica de manzanas de la variedad 'Champion' (*Pyrus malus* L.). El contenido de polifenoles totales se determinó mediante métodos espectrofotométricos, mientras que los compuestos individuales mayoritarios se cuantificaron por cromatografía líquida de ultra alta resolución acoplada a detector de matriz de diodos y espectrometría de masas (UHPLC-DAD-MS). Los resultados mostraron que, a una concentración de polifenoles de 4 g/L en la solución, se logró una migración de agua más intensa (pérdida de agua de aproximadamente 3 g/g de materia seca) desde el tejido de la fruta para ambos extractos en comparación con la solución de sacarosa pura; sin embargo, no se observó una relación directa entre el nivel de polifenoles en la solución hipertónica y la migración de sacarosa hacia el tejido de la manzana. Con respecto a los compuestos polifenólicos, el nivel de polifenoles en las manzanas deshidratadas en presencia de los extractos aumentó con la dosis de extracto, alcanzando el valor máximo de aproximadamente 825 mg/100 g de materia seca de polifenoles totales a una concentración de extracto de 6 g/L, tanto para agrimonia como para rosa mosqueta. En las manzanas deshidratadas mediante los extractos, se observó la presencia de compuestos fenólicos no presentes en manzanas frescas, característicos de los extractos aplicados, tales como elagitaninos, ácido elágico, flavonoles, así como flavonas. Los autores concluyeron que el uso de extractos de agrimonia

fragante y rosa mosqueta en la deshidratación osmótica puede servir como una estrategia efectiva para mejorar el perfil polifenólico y el valor funcional de los productos deshidratados de manzana.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. La manzana

La manzana, cuya denominación taxonómica ha evolucionado, fue descrita anteriormente como *Pyrus malus* L., pero actualmente aceptada como *Malus domestica* Bork (Korban & Skirvin, 1984). Es una de las frutas de clima templado más cultivadas y consumidas en el mundo, destacándose China como el país con mayor superficie de cultivo y el principal exportador de manzanas frescas. Es miembro de la subfamilia Maloideae de la familia Rosaceae, es un complejo híbrido interespecífico de origen aloploidio. Esta especie presenta autoincompatibilidad gametofítica y susceptibilidad a la depresión endogámica, lo cual requiere de polinización cruzada para su reproducción sexual y producción de frutos. Durante este proceso, los polinizadores desempeñan un rol fundamental (Calderón et al., 2024).

2.2.1.1. Taxonomía de la manzana

En la Tabla 1 se detalla la taxonomía de la manzana.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la manzana	
Tipo	Nombre científico
Reino	Vegetal
División	Espermatophyta
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Dicotyledonea
Orden	Rosales
Familia	Rosaceae
Subfamilia	Pomoidea
Género	Malus
Especie	<i>Pyrus malus</i> L.

Fuente: (Mora, 2019)

2.2.1.2. Descripción morfológica

El manzano es un árbol robusto y ancho, caracterizado por sus buenos rendimientos de cosecha, aunque es susceptible al viento. Su cosecha es generalmente tardía y puede variar según las condiciones climáticas del país donde se cultive (Mora, 2019). Este árbol es caducifolio y alcanza una altura de entre 1.5 y 7 metros, dependiendo del portainjerto, con un ancho en la base que oscila entre 1.0 y 4.5 metros. En su forma

natural, presenta una copa redondeada y hojas de diversas formas. Sus yemas son ovoides y presentan pequeñas escamas; las yemas reproductivas, en su mayoría, son mixtas terminales y se encuentran en dardos y lamburdas (Araujo, 2021).

Las semillas del manzano se desarrollan en el interior de cinco carpelos, formados a partir del mesocarpio y del receptáculo. El fruto, que puede ser oblongado, cónico o ligeramente asimétrico, presenta un diámetro que varía entre 2 y 13 cm. Además, se caracteriza por su diversidad de tonalidades, incluyendo el verde, amarillo y rojo.

2.2.1.3. Descripción de la fruta

La manzana es una de las frutas más relevantes tanto económica como culturalmente. Rica en nutrientes, se cultiva en diversas regiones templadas alrededor del mundo.

Toda la fruta es comestible, a excepción de las semillas. Además, a partir de las manzanas se producen diversos productos, como sidra, jugo, mermelada, compota, té, vino y manzanas secas. Estas frutas son insustituibles en la alimentación humana, ya que fortalecen el sistema inmunológico, mejoran la resistencia al estrés y contienen numerosas sustancias bioactivas que aportan beneficios a la salud (Patocka et al., 2020).

2.2.1.4. Valor nutricional de la manzana

La manzana presenta características relevantes debido a sus propiedades saludables y su significativo contenido nutricional (Tabla 2).

Tabla 2. Valor nutricional por cada 100 g

Nutrientes	Cantidad
Calorías	50 kcal
Proteína	0.2 g
Hidratos de carbono	10.9 g
Grasas totales	0.6
Fibra	3 g
Vitamina B3	0.3 mg
Vitamina B6	0.05 mg
Vitamina C	12 mg
Potasio	144 mg
Calcio	7 mg
Fósforo	10 mg

Fuente: (Mora, 2019)

2.2.1.5. Propiedades de la manzana

La *Pyrus malus L.*, comúnmente conocida como manzana y perteneciente a la familia Rosaceae, es ampliamente consumida en la dieta humana. Su valor nutricional y beneficios para la salud se deben a la presencia de diversos compuestos biológicamente activos, entre los que destacan monosacáridos, minerales, fibra dietética y compuestos fenólicos Sadef et al. (2022).

Estos compuestos son esenciales en la actividad antioxidante de la manzana y se encuentran en concentraciones más altas en la cáscara que en la pulpa, lo que aumenta sus beneficios al consumirla completa.

2.2.1.6. Oxidación en la manzana

Las manzanas (*Pyrus malus L.*), que pertenecen a la familia Rosaceae, son reconocidas por su delicioso sabor y se destacan como la cuarta fruta más cultivada en el mundo. Representan una excelente fuente de compuestos fenólicos, los cuales actúan como antioxidantes dietéticos beneficiosos para los seres humanos.

En la última década, la manzana ha ganado gran atención debido a sus supuestos beneficios para la salud. Diversos estudios realizados en distintas regiones del mundo han confirmado que las manzanas son una fuente eficaz de compuestos fenólicos antioxidantes, además de aportar minerales, fibra dietética y carbohidratos (Tareen et al., 2021).

2.2.1.7. Pardeamiento enzimático

La reacción de pardeamiento enzimático en la manzana doméstica (*Pyrus malus L.*) es un proceso químico catalizado principalmente por la enzima polifenoloxidasas (PPO). Esta enzima oxida los compuestos fenólicos presentes en las células de la fruta, convirtiéndolos en quinonas, que posteriormente se polimerizan para formar melaninas, resultando en una coloración marrón. Este fenómeno altera las características organolépticas de la manzana, afectando tanto su apariencia como su sabor. Factores como la actividad enzimática y la concentración de sustratos fenólicos varían según la variedad de la manzana, influyendo directamente en la velocidad y el grado del pardeamiento (Muñoz-Pina et al., 2022).

Las industrias agroalimentarias que procesan frutas y vegetales son particularmente vulnerables a los efectos de la polifenoloxidasas, ya que esta enzima es la responsable

del pardeamiento enzimático. Su acción provoca un oscurecimiento notable en los alimentos, alterando propiedades organolépticas como el sabor y la textura. Además, genera una disminución en los valores nutricionales y afecta la estabilidad general del producto (Muñoz-Pina et al., 2022).

La actividad de la PPO es máxima a pH entre 5.0 y 7.0 y temperaturas entre 25 y 40 °C, aunque la enzima puede ser inactivada térmicamente a 70-90 °C. La inhibición de la PPO mediante compuestos antioxidantes (como ácido ascórbico, cisteína o polifenoles) o mediante la reducción del pH es una estrategia ampliamente utilizada en la industria alimentaria (Moon et al., 2020).

2.2.1.8. Oferta y demanda en el mercado local

En Ecuador, el cultivo de manzana se extiende principalmente por la Serranía, abarcando Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Azuay y Cañar. Tradicionalmente, se ha mantenido una producción local autosuficiente. Sin embargo, en los últimos años, diversos factores han afectado negativamente su desarrollo, como la crisis financiera local de 1998, la baja producción, las erupciones volcánicas, el desinterés de las autoridades y la falta de compromiso por parte de los productores. Estos factores, sumados a una creciente demanda de la fruta, han llevado a que actualmente el 86 % del consumo interno de manzanas sea cubierto por importaciones (Allauca, 2018).

La producción de manzanas en el país ha mostrado una tendencia a la baja, lo que ha desmotivado a los agricultores debido a los bajos precios, los escasos rendimientos y la presencia de plagas y enfermedades. Muchos agricultores dependen de estas plantaciones para subsistir, pero deben esperar hasta un año para obtener ganancias mínimas, mientras que los intermediarios pueden triplicar sus ingresos en un corto período de tiempo.

2.2.2. Cacao

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una especie perteneciente al género *Theobroma* de la familia Malvaceae, originaria de las regiones tropicales húmedas de América del Sur. Este cultivo perenne necesita condiciones climáticas específicas, como temperatura, humedad y precipitaciones adecuadas, para lograr rendimientos óptimos en su producción (Hernández, 2020).

En 1773, el botánico sueco Carl von Linné dio el nombre *Theobroma cacao* a esta planta, y el término "cacao", que significa "alimento de los dioses", refleja el origen

divino que los pueblos precolombinos le atribuían a esta fruta. A partir del siglo XVI, los exploradores españoles, a través de sus expansiones marítimas, introdujeron modificaciones en la tradicional bebida amarga de cacao, añadiendo azúcar y leche para crear nuevas recetas. Hoy en día, el cacao forma parte de las dietas en todo el mundo. En Ecuador, se produce más del 70 % del cacao fino de aroma de mejor calidad a nivel mundial, reconocido por sus características fisicoquímicas y sensoriales (Hernández, 2020).

2.2.2.1. Taxonomía del cacao

El cacao, conocido científicamente como *Theobroma cacao* L. se clasifica dentro del siguiente sistema taxonómico:

Tabla 3. Clasificación taxonómica del cacao

Clase	Dicotiledónea
Orden	Malvales
Familia	Sterculiaceae
Género	Theobroma
Especie	Cacao L

Fuente: (Swamy, 2023)

2.2.2.2. Variedad de cacao

2.2.2.2.1. Cacao Forastero

También conocido como cacao amazónico, es la variedad más común y representa aproximadamente el 70 % del consumo mundial de cacao. Se caracteriza por un sabor fuerte, amargo y ligeramente ácido. Es reconocido por su robustez, ya que los productores destacan su resistencia a enfermedades, lo que lo convierte en una opción confiable para la producción. Además, esta variedad es la que produce la mayor cantidad de frutos. Sin embargo, sus desventajas incluyen un aroma poco refinado y una escasa presencia de sabores frutales (Carvallo, 2020).

Este grano fue introducido en las colonias por los europeos a principios del siglo XX, cuando la demanda de chocolate en Europa comenzó a crecer significativamente.

2.2.2.2.2. Cacao criollo

Se caracteriza por ser la variedad menos fructífera, representando una pequeña proporción de la producción mundial. Sus semillas son redondas y ligeramente planas, y, cuando no se han fermentado, presentan un color que varía entre el violeta y el blanco (Carvallo, 2020).

Su perfil aromático se distingue por notas frutales acompañadas de un toque de frutos secos y un leve amargor, aunque su sabor es refinado.

2.2.2.2.3. Cacao trinitario

Es una variedad obtenida a partir del cruce entre el cacao Criollo y el Forastero. Su producción es significativamente superior en comparación con el Criollo, ya que combina las características sensoriales de ambos tipos. Este híbrido es más resistente a las enfermedades, lo que lo convierte en una opción más viable para la agricultura. Además, presenta un sabor más sutil que el Criollo, ofreciendo una gama de sabores y aromas que permanecen en el paladar. Entre las notas destacadas se incluyen el heno, el roble, la miel, la manzana y el melón (Carvallo, 2020).



Figura 1. Tipos de cacao (forastero, trinitario y criollo)

Fuente. (Antolinez Sandoval et al., 2020)

2.2.2.3. Mucílago

El mucílago de cacao es una capa que recubre los granos de cacao, con una composición algodonosa que proporciona las condiciones óptimas para iniciar el proceso de fermentación. Estas condiciones incluyen la humedad, la acidez, el almibarado, y su aspecto fibroso y denso, que protege a los granos de cacao de agentes externos, permitiendo una fermentación limpia y un adecuado proceso de maduración de estos. Representa aproximadamente el 40 % del peso fresco de la semilla, y está compuesta por un tejido parenquimatoso esponjoso que contiene savia celular, rica en azúcares (10-13 % de glucosa y fructosa, 0.7 % de sacarosa), sales (8-10 %), pectinas (1.5 %), ácidos orgánicos (1-2 %) y proteínas (0.6 %) (Carvajal, 2020).

2.2.3. Compuestos bioactivos

Los compuestos y elementos bioactivos, como su nombre lo indica (el griego “bios” significa vida, y el latín “activus” significa dinámico o lleno de energía), se caracterizan por una determinada actividad biológica que tiene un impacto directo sobre los organismos vivos (Jeszka-Skowron et al., 2021).

Los compuestos bioactivos pueden ejercer diversas funciones, como antioxidantes, moduladores enzimáticos, bloqueadores o activadores de receptores, e influir en la expresión génica, entre otras actividades. Los compuestos bioactivos más estudiados en frutas y subproductos agroindustriales son los polifenoles, los flavonoides, los carotenoides, las vitaminas (C, E) y los ácidos orgánicos.

2.2.3.1. Antioxidantes

Los compuestos antioxidantes tienen la capacidad de contrarrestar la oxidación de diferentes sustancias, en particular la de los ácidos grasos, un proceso que tiene lugar tanto en los productos alimenticios como en el interior del cuerpo humano (Hernández, 2020). Dicha oxidación provoca alteraciones fisiológicas vinculadas con la aparición de diversas patologías. La denominación de “antioxidantes” responde a su función de facilitar un uso eficiente del oxígeno y de atenuar las consecuencias del daño oxidativo celular.

2.2.3.2. Polifenoles

Los polifenoles constituyen una categoría de compuestos químicos de origen vegetal que se caracterizan por poseer al menos dos anillos fenólicos en su estructura molecular. Diversas investigaciones respaldan que “los polifenoles actúan como antioxidantes con efectos favorables para la salud, al disminuir o prevenir el riesgo de enfermedades del sistema cardiovascular” (Castillo Mendoza et al., 2022).

Estos compuestos ayudan a prevenir enfermedades como el cáncer, la arteriosclerosis, el envejecimiento y trastornos neurodegenerativos, como el Alzheimer.

La actividad antioxidante de los polifenoles se debe a su capacidad para neutralizar radicales libres mediante la donación de un átomo de hidrógeno o de un electrón, estabilizando estas especies reactivas gracias a la estructura aromática de sus moléculas (Di Matteo, 2021). Además, estos compuestos pueden actuar a través de

otros mecanismos, como la transferencia de un electrón seguida de la transferencia de un protón (SET-PT) y la quelación de metales de transición, entre ellos hierro (Fe^{2+}) y cobre (Cu^{2+}), lo que disminuye la formación de radicales hidroxilo asociados con la reacción de Fenton (Santos-Buelga et al., 2019). En las manzanas, los polifenoles también desempeñan un papel importante en el control del pardeamiento enzimático. Su acción se relaciona con la inhibición de la enzima polifenoloxidasasa (PPO), ya que pueden competir con los compuestos fenólicos propios del fruto como sustratos de la reacción y, además, unirse al cobre presente en el sitio activo de la enzima, reduciendo su actividad catalítica (Moon et al., 2020; Yu et al., 2021) reportaron que extractos con alto contenido de ácido clorogénico y epicatequina lograron disminuir hasta en un 78 % la actividad de la PPO en manzanas frescas cortadas, evidenciando el potencial de estos compuestos para retardar el pardeamiento enzimático.

2.2.3.3. Flavonoides

En el organismo humano, los flavonoides desempeñan un papel importante por su capacidad antioxidante, ya que contribuyen a neutralizar los radicales libres y reducir el daño ocasionado por el estrés oxidativo. Además, participan en la modulación de procesos inflamatorios y pueden potenciar la acción de otros compuestos con actividad biológica. Aunque sus efectos pueden variar según el tipo de flavonoide, todos comparten la capacidad de actuar como antioxidantes y proteger a las células frente a la oxidación (S. Hernández et al., 2019).

Múltiples investigaciones han confirmado que estas sustancias disminuyen la probabilidad de sufrir enfermedades cardíacas, razón por la cual se les considera metabolitos beneficiosos para la salud. Además, se les atribuyen propiedades anticancerígenas; en el ámbito médico son altamente valorados por su potencial para prevenir la aparición de tumores malignos (S. Hernández et al., 2019).

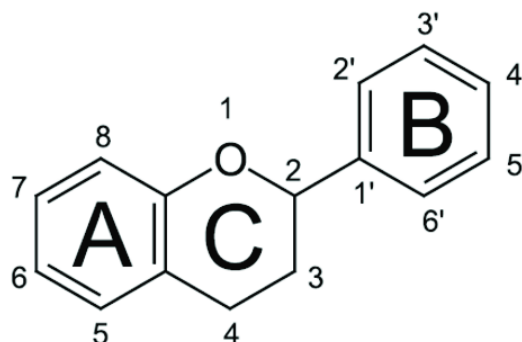


Figura 2. Estructura base de los flavonoides

Fuente: (Espinoza, 2012)

En las manzanas confitadas, la incorporación de flavonoides del mucílago de cacao cumple tres funciones tecnológicas clave: (1) inhibición del pardeamiento enzimático mediante competición con los sustratos fenólicos endógenos de la PPO y quelación del cobre del centro activo; (2) estabilización del color durante el confitado, por interacción entre flavonoides oxidados y azúcares reductores; (3) aporte de actividad antioxidante al producto final, que se mantiene estable durante el almacenamiento (Osorio Gutiérrez et al., 2019; A. Hernández, 2020).

2.2.4. Deshidratación osmótica

Se define como un proceso utilizado para la conservación y enriquecimiento de alimentos, que implica la extracción parcial de agua de un producto al sumergirlo en una solución hipertónica (generalmente azúcar o sal). Este proceso se basa en la diferencia de presión osmótica, lo que provoca el flujo de agua desde el interior del producto hacia la solución, mientras que solutos del líquido penetran en el alimento. Las ventajas de la deshidratación osmótica incluyen la reducción del contenido de humedad (hasta 50-60 %), la mejora de la estabilidad microbiológica, el ahorro energético frente al secado convencional, y la posibilidad de incorporar compuestos bioactivos (polifenoles, flavonoides, vitaminas) directamente en la matriz del alimento (Osorio Gutiérrez et al., 2019). La velocidad del proceso depende de factores como la concentración y temperatura de la solución osmótica, el tamaño y geometría del alimento, la relación solución/alimento y la agitación.

2.2.5. Fruta confitada

Se define como el producto obtenido mediante la impregnación de azúcar en pulpa de fruta, cáscara de fruta o ambos, que ha sido sometida a un proceso en el que se produce un intercambio del agua presente en la fruta por un jarabe de azúcar

concentrado. Este proceso puede o no incluir la adición de colorantes, saborizantes u otros aditivos permitidos (Lustre y Cabrera, 2021).

El proceso de confitado tradicional implica inmersiones sucesivas en jarabes de concentración creciente (30 hasta 75 % de sólidos solubles), con periodos de reposo de 12 a 24 horas entre etapas. El producto final se caracteriza por su textura cristalina, transparencia, brillo, sabor dulce intenso y alta estabilidad a temperatura ambiente (gracias a la reducción de la actividad de agua, $a_w < 0.80$).

Este producto se caracteriza por tener un contenido de azúcar que oscila entre el 70 y el 75 % de sólidos solubles, y se obtiene tanto de frutas enteras como de trozos, tallos, cortezas o incluso verduras. El proceso puede incluir cocciones repetidas o no, y se distingue por su consistencia sólida, transparencia y brillo. Gracias a su alto contenido en azúcar, la fruta confitada se conserva durante largos períodos sin la necesidad de medidas especiales (Lustre y Cabrera, 2021).

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de acuerdo con la clasificación de (R. Hernández y Mendoza, 2018). El componente cuantitativo se fundamentó en la medición, recolección y análisis estadístico de datos numéricos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos (sólidos solubles, pH, acidez), microbiológicos (mohos y levaduras, aerobios mesófilos), y de actividad antioxidante (% inhibición DPPH, polifenoles y flavonoides totales) de las manzanas confitadas.

3.1.2. Tipo de Investigación

El estudio fue de tipo experimental. Se calificó como experimental debido a que se manipularon intencionalmente las concentraciones de polifenoles y flavonoides extraídos del mucílago de cacao (variables independientes: 1 %, 2.5 % y 5 % p/v), con el objetivo de analizar su efecto sobre la actividad antioxidante, los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales de las manzanas confitadas (variables dependientes).

3.2. HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H_0): La incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao no tiene un efecto significativo en la actividad antioxidante, los parámetros fisicoquímicos, la estabilidad microbiológica ni la aceptación sensorial de las manzanas confitadas.

Hipótesis alternativa (H_1): La incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao tiene un efecto significativo en la actividad antioxidante, los parámetros fisicoquímicos, la estabilidad microbiológica y/o la aceptación sensorial de las manzanas confitadas.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable Independiente

Concentración de bioactivos: 1 %, 2,5 % y 5 %

Variables Dependientes

Actividad antioxidante

Polifenoles totales

Flavonoides totales

Calidad fisicoquímica

Calidad microbiológica

Calidad sensorial

La operacionalización de las variables para la investigación se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Independiente	Concentración de bioactivos	1 % 2.5 % 5 %	Gravimetría	Experimental
Dependiente	Actividad antioxidante	DPPH	Espectrofotometría	(Liu et al., 2014)
	Índice de polifenoles	mg/100 mL	Espectrofotometría UV-vis (280)	(Surco-Laos et al., 2020)
	Índice de flavonoides	mg/100 mL	Espectrofotometría UV-vis (365)	(Surco-Laos et al., 2020)
Calidad de las manzanas confitadas	Características fisicoquímicas	Humedad	Termogravimetría halógena	AOAC 934.06
		Actividad de agua	Electrolítica resistiva	AOAC 978.18
		Sólidos solubles	Refractometría	AOAC 932.12
		pH	Potenciometría	AOAC 981.12
		Acidez	Titulación	AOAC 942.15
	Características microbiológicas	Mohos y levaduras Aerobios mesófilos	Placas petrifilm	AOAC 997.02
	Características sensoriales	Color, olor, sabor, Textura y aceptación global	Escala hedónica de 7 puntos	Hoja de evaluación sensorial

La Tabla 5 detalla las condiciones de extracción de los compuestos bioactivos para obtener una concentración del 1 % (T1), 2.5 % (T2) y 5 % (T3).

Tabla 5. Formulación para obtener la concentración de los compuestos bioactivos

Tratamientos	Mucílago (g)	Alcohol al 80 % (mL)	Concentración del extracto bioactivo (% p/v)
T1	2.5	250	1.0
T2	6.25	250	2.5
T3	12.5	250	5.0

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1. Extracción de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao

Para la preparación de los extractos se empleó etanol como disolvente, aplicando la técnica de extracción con líquidos sometidos a alta presión. En todas las etapas se mantuvo una proporción sólido-líquido de 1:20. El proceso a alta presión se llevó a cabo durante 30 minutos, a una presión manométrica fija de 20 psi y a una temperatura de 126 °C en una autoclave. Una vez finalizada la extracción, se realizó una filtración al vacío, seguida de la evaporación del disolvente en un rotavapor y, finalmente, el secado de los extractos en una estufa (24 horas en una incubadora ajustada a 45 °C) (Bermeo, 2021).

3.4.2. Proceso de obtención de polifenoles y flavonoides

El proceso de extracción de polifenoles y flavonoides a partir del mucílago de cacao se llevó a cabo según el diagrama de flujo de la Figura 3. A continuación, se detalla cada una de las etapas.

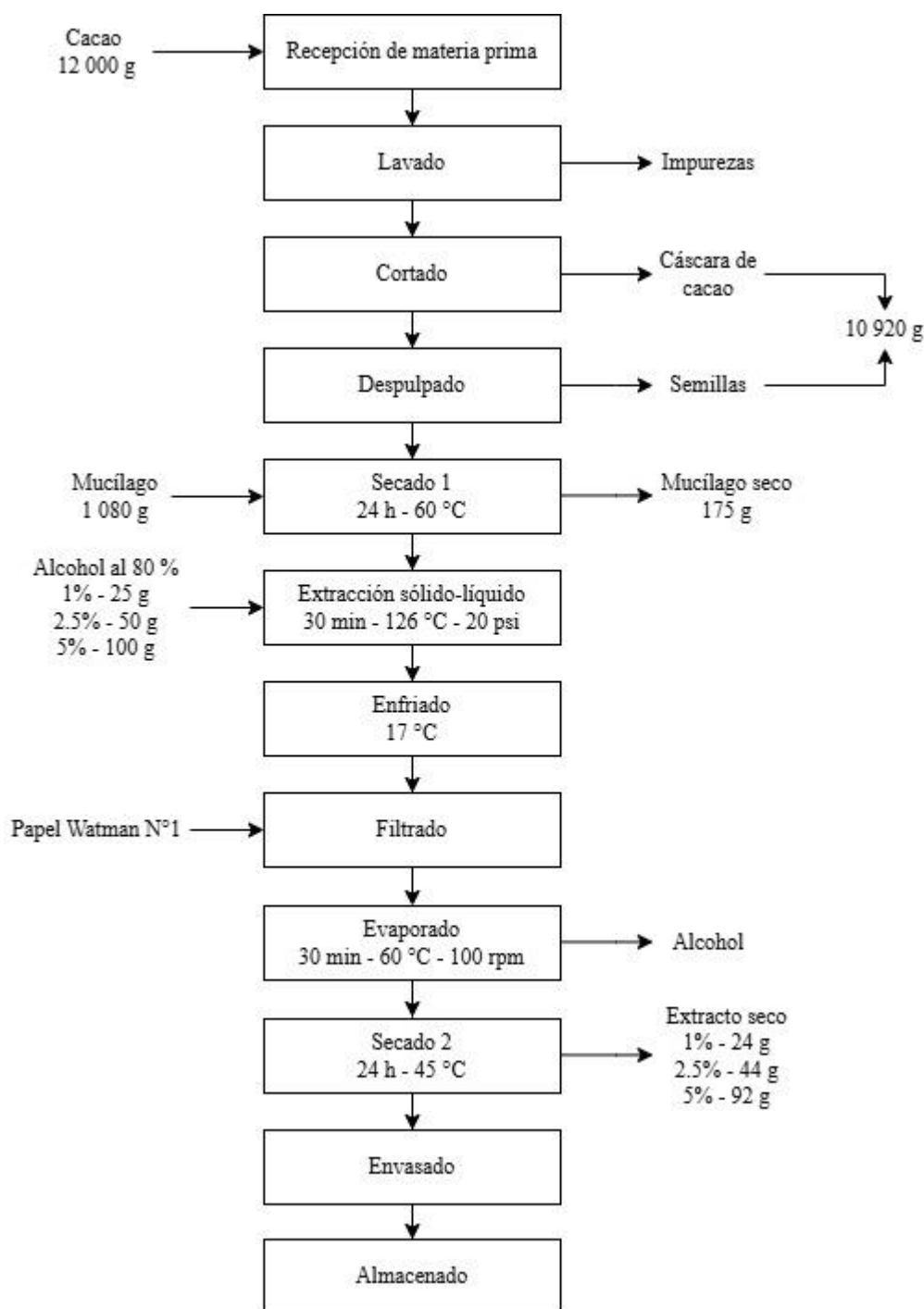


Figura 3. Diagrama de flujo para la obtención de los compuestos bioactivos

Se utilizaron mazorcas de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la variedad Trinitario (CCN-51). Durante la recepción, se verificó el estado físico y la calidad de la materia prima, descartando la que presentaba daños mecánicos, fermentación anticipada o signos visibles de contaminación.

Las mazorcas seleccionadas se lavaron con agua potable para retirar tierra, polvo y restos vegetales. Luego, se sumergieron durante 5 min en una solución de hipoclorito

de sodio a 100 ppm. Posteriormente, se enjuagaron con agua destilada estéril para eliminar los residuos del desinfectante.

La apertura se realizó mediante una incisión longitudinal con un cuchillo de acero inoxidable previamente desinfectado. Las mazorcas se abrieron manualmente para evitar daños a las semillas. Posteriormente, las semillas recubiertas de mucílago se separaron de la cáscara. El mucílago adherido se recuperó mediante presión suave y raspado con una espátula estéril, y la pulpa obtenida se recolectó en recipientes de vidrio.

El mucílago fresco se distribuyó en bandejas de acero inoxidable y se deshidrató en una estufa de circulación forzada (Memmert, Alemania) a 60 °C durante 24 h. Este proceso permitió reducir el contenido de humedad y facilitar las etapas posteriores de molienda y extracción.

El mucílago seco se fragmentó hasta obtener trozos pequeños. Se pesaron 2,5 g (T1), 6,25 g (T2) y 12,5 g (T3), los cuales se mezclaron por separado con 250 mL de alcohol etílico al 80 % (v/v). Así se obtuvieron extractos con concentraciones de 1 % (T1), 2,5 % (T2) y 5 % (T3) p/v. La extracción sólido-líquido se realizó en autoclave a 126 °C durante 30 min, con una presión manométrica constante de 20 psi.

Al finalizar la extracción, las muestras se dejaron enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente (17 °C). Luego, se filtraron al vacío con papel filtro Whatman N.º 1 y un sistema de filtración de vidrio. El filtrado se recolectó y el residuo sólido se descartó. Al detectarse partículas finas en suspensión, se realizó una segunda filtración.

El extracto filtrado se concentró en un evaporador rotatorio a 60 °C, 100 rpm y 240 mbar durante 30 min, con el propósito de eliminar la mayor parte del etanol. El extracto concentrado se transfirió a bandejas de acero inoxidable y se secó en estufa a 45 °C durante 24 h. El secado se consideró concluido cuando la humedad del residuo se mantuvo constante en dos mediciones consecutivas, con una diferencia menor o igual al 5 %.

El extracto seco de polifenoles y flavonoides se colocó en frascos de vidrio ámbar con cierre hermético y se almacenó a -20 °C, protegido de la luz, hasta su uso en la elaboración de manzanas confitadas y en los análisis posteriores.

Rendimiento en la extracción de mucílago seco:

$$\% \text{ Rendimiento mucílago seco} = \frac{175 \text{ g}}{12\,000 \text{ g}} \times 100 = 1.46 \%$$

Rendimiento del concentrado de bioactivos:

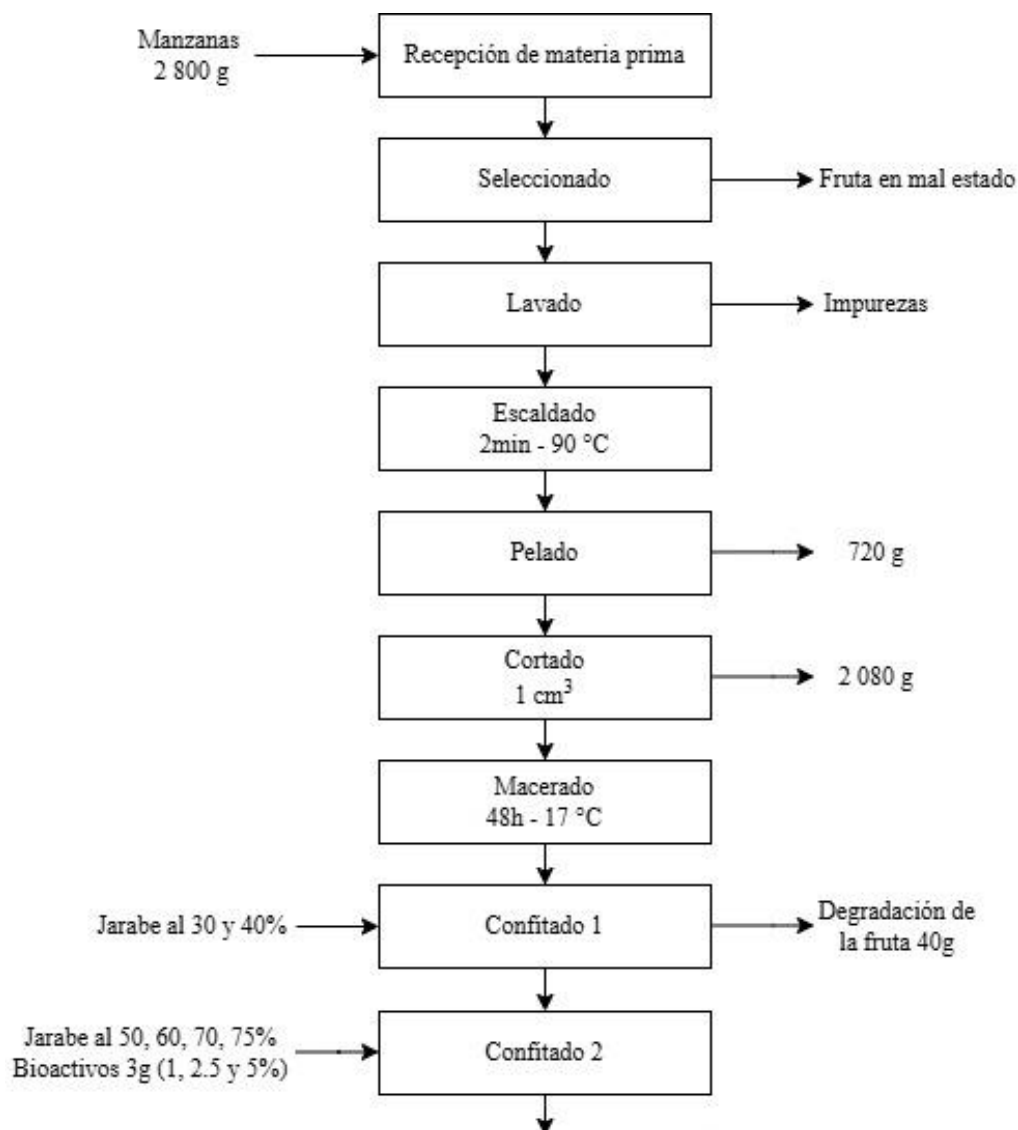
$$\% \text{ Rendimiento 1 \%} = \frac{24 \text{ g}}{175 \text{ g}} \times 100 = 13.71 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento 2.5 \%} = \frac{44 \text{ g}}{175 \text{ g}} \times 100 = 25.14 \%$$

$$\% \text{ Rendimiento 5 \%} = \frac{92 \text{ g}}{175 \text{ g}} \times 100 = 52.57 \%$$

3.4.3. Proceso de elaboración de las manzanas confitadas

La elaboración de las manzanas confitadas (Figura 4) se realizó basado al artículo científico (García, 2013).



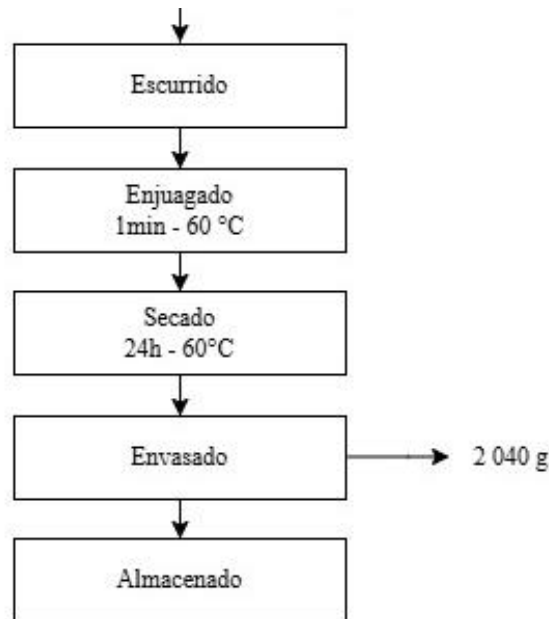


Figura 4. Diagrama de flujo para las manzanas confitadas

Para la selección de la materia prima, se recibieron manzanas (*Pyrus malus* L.) de variedad local, libres de daños mecánicos, golpes o signos de descomposición. Se retiraron los ejemplares que presentaban magulladuras, pudriciones u otras anomalías que pudieran afectar la calidad del producto final.

Posteriormente, las manzanas seleccionadas se lavaron con abundante agua potable para eliminar microorganismos, polvo, suciedad y otros residuos superficiales. Luego, se sumergieron durante 3 min en una solución desinfectante de hipoclorito de sodio (100 ppm) y se enjuagaron con agua destilada estéril.

Para el escaldado, se sumergieron 2800 g de manzanas enteras en un tanque con agua hirviendo durante 2 min, con el fin de inactivar las enzimas responsables del pardeamiento enzimático, principalmente la polifenoloxidasas, y ablandar ligeramente la textura para facilitar el corte y la posterior impregnación.

Después del escaldado, las manzanas se enfriaron rápidamente en agua con hielo y se cortaron en cubos de aproximadamente 1 cm de arista, utilizando cuchillos de acero inoxidable previamente desinfectados.

Los cubos de manzana se sumergieron en una solución de salmuera (NaCl al 5 % p/v) durante 48 h a temperatura ambiente (17 °C). Este tratamiento permitió extraer parte del agua de la fruta y obtener una textura más firme, adecuada para el confitado.

El confitado se realizó mediante inmersiones escalonadas en jarabes de sacarosa de concentración creciente (30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 % y 75 % p/v). El extracto de

polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao se incorporó a partir del jarabe al 50 %. Para cada inmersión se siguió el procedimiento detallado a continuación. En el jarabe al 30 %, se prepararon 332 g de azúcar por litro de agua. El jarabe se calentó hasta ebullición, se añadió la fruta escurrida y se cocinó durante 5 min. Se retiró del fuego, se tapó y se dejó reposar durante 12 h.

- En el jarabe al 40 %, se prepararon 110 g de azúcar por litro de agua. El jarabe se calentó hasta ebullición, se añadió la fruta escurrida y se cocinó durante 5 min. Se retiró del fuego, se tapó y se dejó reposar durante 12 h.
- En el jarabe al 50 %, se prepararon 137.5 g de azúcar por litro de agua. El jarabe se calentó hasta ebullición, se retiró del fuego y se añadieron 0.3 g de bicarbonato de sodio por litro de jarabe y 3 g del extracto seco correspondiente a la concentración de cada tratamiento (T1, T2 o T3). Inmediatamente se incorporó la fruta escurrida y se dejó reposar durante 12 h.
- En el jarabe al 60 %, se añadió 165 g de azúcar por cada litro de jarabe al 50 %. El jarabe se calentó hasta ebullición, se retiró del fuego y se añadieron 0.3 g de bicarbonato de sodio por litro de jarabe y 3 g del extracto seco correspondiente a cada tratamiento (T1, T2 o T3). Inmediatamente se incorporó la fruta escurrida y se dejó reposar durante 12 h.
- En el jarabe al 70 %, se añadió 192.5 g de azúcar por cada litro de jarabe al 60 %. El jarabe se calentó hasta ebullición, se retiró del fuego y se añadieron 0.3 g de bicarbonato de sodio por litro de jarabe y 3 g del extracto seco correspondiente a cada tratamiento (T1, T2 o T3). Inmediatamente se incorporó la fruta escurrida y se dejó reposar durante 12 h.
- En el jarabe al 75 %, se añadió 206.25 g de azúcar por cada litro de jarabe al 70 %. El jarabe se calentó hasta ebullición, se retiró del fuego y se añadieron 0.3 g de bicarbonato de sodio por litro de jarabe y 3 g del extracto seco correspondiente a cada tratamiento (T1, T2 o T3). Inmediatamente se incorporó la fruta escurrida y se dejó reposar durante 12 h.

Después del último reposo en jarabe al 75 %, los cubos de manzana confitada se escurrieron en un colador de acero inoxidable durante 30 min para eliminar el exceso de jarabe superficial.

A continuación, los cubos escurridos se enjuagaron con agua caliente a 60 °C durante 1 min para retirar la miel residual de la superficie y evitar una cristalización excesiva. Posteriormente, se volvieron a escurrir.

Para el secado, las manzanas confitadas se colocaron en bandejas de acero inoxidable y se introdujeron en un horno de secado (Memmert, Alemania) a 60 °C durante 24 horas. El proceso se detuvo cuando los cubos adquirieron una textura firme, ligeramente flexible y un contenido de humedad final aproximado del 20 %.

Una vez que las manzanas confitadas alcanzaron la temperatura ambiente, se envasaron en bolsas de polipropileno de alta barrera y se sellaron al vacío con el fin de preservar su calidad durante el almacenamiento. Posteriormente, los envases se conservaron en un ambiente fresco (≤ 20 °C), seco y protegido de la luz directa hasta la realización de los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales.

Rendimiento de la manzana en cubitos para el confitado:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{2040 \text{ g}}{2800 \text{ g}} \times 100 = 72.85 \%$$

3.4.4. Análisis fisicoquímicos

3.4.4.1. Sólidos solubles

El porcentaje de sólidos solubles se determinó siguiendo la metodología establecida en la norma AOAC 932.12 para productos derivados de frutas, mediante el uso de un refractómetro. Antes de cada medición, el lente del equipo se limpió para eliminar cualquier residuo que pudiera afectar la lectura. Luego, con ayuda de un gotero, se colocó una pequeña cantidad de muestra sobre el prisma del refractómetro hasta cubrir su superficie. El valor de sólidos solubles se obtuvo mediante lectura directa en la escala del equipo y se registró para cada una de las réplicas.

3.4.4.2. pH

La medición del pH se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de la norma AOAC 981.12, con el fin de evaluar el grado de acidez o basicidad de las muestras, un parámetro clave como indicador de las condiciones higiénicas durante la elaboración de productos alimenticios. El procedimiento consistió en pesar la cantidad necesaria de muestra y colocarla en un vaso de precipitación, al que se añadieron 50 mL de agua destilada. Previamente, el pH-metro fue limpiado y calibrado con soluciones patrón. Luego, se disolvió completamente la muestra en el

agua destilada mediante agitación suave, se introdujo el electrodo en la solución y, una vez estabilizada la lectura, se anotó el valor de pH.

3.4.4.3. Acidez

La acidez total se determinó mediante titulación con una solución estándar, de acuerdo con la norma AOAC 942.15. Se empleó hidróxido de sodio (NaOH) a una concentración de 0.01 N como agente titulante. El procedimiento se desarrolló de la siguiente manera: se midieron 100 mL de agua destilada y se colocaron en un recipiente adecuado; se pesaron 10 g de la muestra de manzana confitada y se añadieron al agua; se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador de pH; finalmente, se añadieron 25 mL de la solución de NaOH. A partir de ese momento, se tituló la mezcla gota a gota hasta la aparición de un color rosado persistente. La acidez porcentual se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez(\%)} = \frac{\text{ml de NaOH} \times \text{N de NaOH} \times \text{equivalente ácido}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

Donde el equivalente ácido corresponde al peso equivalente del ácido predominante en la muestra (expresado comúnmente como ácido cítrico o ácido málico, según corresponda).

3.4.5. Análisis microbiológico

3.4.5.1. Mohos y levaduras

Para la determinación de mohos y levaduras se utilizó el método establecido por la norma AOAC 997.02 (AOAC, 2009). Se prepararon diluciones seriadas de la muestra en agua peptona estéril y se sembraron 1 mL en placas Petrifilm™ para mohos y levaduras (3M, EE. UU.). Las placas se incubaron a 25 °C durante 5 días. Transcurrido el tiempo de incubación, se procedió al recuento de colonias características, expresando los resultados en unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g).

3.4.5.2. Aerobios Mesófilos

El recuento de aerobios mesófilos se realizó según lo estipulado en la norma AOAC 966.23 (AOAC, 2005). Se prepararon diluciones decimales de la muestra en agua peptona estéril. De cada dilución, se sembró 1 mL por duplicado en placas Petrifilm™ para recuento de aerobios (3M, EE. UU.). Las placas se incubaron a 35 °C durante 48

horas. Finalizada la incubación, se contaron las colonias rojas, reportando los resultados como UFC/g.

3.4.6. Caracterización de Polifenoles y Flavonoides totales

3.4.6.1. Índice de polifenoles totales (IPT) por absorbancia a 280 nm

El índice de polifenoles totales se estimó mediante la medida de la absorbancia UV a 280 nm, característica del núcleo bencénico de los compuestos fenólicos (Surco-Laos et al., 2020). El extracto obtenido se diluyó 1:100 con agua ultrapura (18.2 MΩ ·cm). Se midió la absorbancia a 280 nm en una celda de cuarzo. El IPT se calculó como:

$$*IPT = Abs(280) \times 100*$$

El valor se normalizó por mililitro de muestra (mucílago seco o manzana confitada) mediante la siguiente relación:

$$*IPT/mL muestra = [Abs(280) \times 100] / masa de muestra (mL)*$$

3.4.6.2. Índice de flavonoles (ICF) por absorbancia a 365 nm

El contenido de flavonoides se estimó por la medida de la absorbancia a 365 nm, correspondiente a la banda de absorción de flavonoles y otros flavonoides (Surco-Laos et al., 2020). Se utilizó la misma dilución 1:100 del extracto preparada para el IPT y se midió la absorbancia a 365 nm. El índice de flavonoides se calculó como:

$$*ICF = Abs(365) \times 100*$$

Los resultados se normalizaron por mililitro de muestra de manera análoga al ICF.

3.4.7. Actividad antioxidante de las manzanas confitadas

3.4.7.1. Actividad captadora de radicales DPPH

Se mezclaron 2.0 mL de solución de muestra con DPPH (2.5 mL de DPPH 100 M en metanol). Las mezclas se dejaron equilibrar durante 30 minutos a temperatura ambiente antes de medir la absorbancia a 517 nm. En este estudio, se utilizó agua destilada como control y ácido ascórbico (Vc) como control positivo. La actividad captadora de radicales DPPH se calculó mediante la siguiente ecuación: Actividad captadora de radicales DPPH (%) = $(A_0 - A_1 + A_2)/A_0 \times 100$, donde A_0 es la absorbancia del grupo control (agua en lugar de JQPs), A_1 es la absorbancia de la muestra en el sistema reactivo y A_2 es la absorbancia final de la muestra (Liu et al., 2014).

3.4.8. Análisis sensorial

Se realizó un análisis sensorial con 60 jueces no entrenados, quienes evaluaron los tres tratamientos de manzanas confitadas (T1, T2, T3). Los atributos evaluados fueron: color, olor, sabor, textura y aceptación global. Las muestras (aproximadamente 10 g de cada tratamiento) se presentaron codificados con números aleatorios de tres dígitos. Los jueces recibieron pan y agua para limpiar su paladar entre muestras. Se utilizó una escala hedónica de 7 puntos (Tabla 6).

Tabla 6. Escala hedónica de 7 puntos

Escala	Criterio
1	Muy malo
2	Malo
3	Poco aceptable
4	Aceptable
5	Bueno
6	Muy bueno
7	Excelente

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó en el entorno de programación RStudio. Inicialmente, se calcularon estadísticos descriptivos de las variables fisicoquímicas, funcionales, microbiológicas y sensoriales. Para las variables cuantitativas, se estimaron la media y la desviación estándar, mientras que los resultados sensoriales se resumieron mediante medidas de tendencia central y dispersión acordes con la naturaleza ordinal de la escala empleada.

Posteriormente, se realizó un análisis de correlación entre las variables fisicoquímicas y funcionales evaluadas. Las asociaciones se estimaron mediante coeficientes de correlación de Pearson, cuyos valores oscilan entre -1 y $+1$ y permiten identificar tanto la dirección como la intensidad de la relación lineal entre pares de variables. Los resultados se visualizaron mediante una matriz de correlaciones en formato de mapa de calor, en la que los valores positivos representan asociaciones directas y los negativos, asociaciones inversas.

Para comparar los parámetros fisicoquímicos y funcionales (humedad, actividad de agua, pH, acidez, sólidos solubles, polifenoles totales, flavonoides totales y actividad antioxidante determinada mediante DPPH), se aplicó un análisis de varianza de un factor. Antes de realizar este análisis, los supuestos del modelo se evaluaron a partir de los residuos, que representan la diferencia entre los valores observados y los

estimados por el modelo. La normalidad de los residuos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, y la homogeneidad de varianzas entre los tratamientos se evaluó mediante la prueba de Levene. Cuando ambos supuestos se cumplieron ($p > 0.05$), se aplicó el ANOVA de un factor y, ante la identificación de diferencias estadísticamente significativas, se realizaron comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Tukey ($\alpha = 0.05$).

En el caso del pH, debido al incumplimiento del supuesto de normalidad de los residuos, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar los tratamientos. Los resultados microbiológicos correspondientes a mohos y levaduras, así como a aerobios mesófilos, se analizaron mediante estadística descriptiva, utilizando medias y desviaciones estándar, y se contrastaron con los límites establecidos en la norma NTE INEN 2217:2000.

Para el análisis sensorial, se consideró un diseño de medidas repetidas, dado que los mismos 60 jueces evaluaron los tres tratamientos. Debido a la naturaleza ordinal de los datos, se utilizó la prueba no paramétrica de Friedman para identificar diferencias globales entre tratamientos en los atributos de color, olor, sabor, textura y aceptación global. La magnitud de las diferencias se estimó mediante el coeficiente de concordancia de Kendall (W). Cuando la prueba de Friedman evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizaron comparaciones post hoc entre los pares de tratamientos (T1 vs. T2, T1 vs. T3 y T2 vs. T3) mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras pareadas. Para controlar el incremento del error tipo I asociado a las comparaciones múltiples, los valores de p se ajustaron mediante el método de Holm. En todas las pruebas se estableció un nivel de significación de $\alpha = 0.05$.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Caracterización de la materia prima (manzana)

La Tabla 7 presenta los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a la manzana (*Pyrus malus* L) utilizada como materia prima para la elaboración de las manzanas confitadas. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar.

Tabla 7. Parámetros fisicoquímicos de la manzana fresca

Manzana	Media	CV %
Dureza (Kgf/cm ²)	8.00 $\pm$ 0.5292	6.61
Humedad (%)	84.93 $\pm$ 0.16	0.19
Actividad de agua	0.96 $\pm$ 0.01	1.04
pH	4.04 $\pm$ 0.01	0.14
Acidez (%)	0.28 $\pm$ 0.01	3.67
Sólidos solubles (°Brix)	12 $\pm$ 0.00	0

La humedad de la manzana fue de 84.93 %, con una desviación estándar de 0.16 % y un coeficiente de variación de 0.19 %, lo que indica una alta homogeneidad en el contenido de agua entre las muestras analizadas. Este valor es característico de frutas frescas destinadas a procesos de deshidratación osmótica.

La actividad de agua (*aw*) registró un valor promedio de 0.96, con un CV de 1.04 %. Una *aw* cercana a la unidad es típica de tejidos vegetales frescos y favorece el intercambio de masa durante el confitado, permitiendo la salida de agua y la entrada de solutos. El pH promedio de las manzanas fue de 4,04, con una desviación estándar de 0,01 y un coeficiente de variación (CV) de 0,14 %, lo que evidencia una escasa variación entre las muestras analizadas. Este resultado corresponde a los valores normalmente reportados para manzanas destinadas al consumo fresco. En cuanto a la acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido málico, se obtuvo un valor promedio de 0,28 %, con un CV de 3,67 %. La ligera variación observada puede estar relacionada con diferencias propias del estado de madurez de los frutos; sin embargo, los valores registrados se mantuvieron dentro de los rangos adecuados para su procesamiento.

Los sólidos solubles medidos en °Brix presentaron un valor constante de 12.00 en todas las repeticiones, indicando una madurez homogénea y un contenido de azúcares adecuado para la elaboración de fruta confitada. La dureza promedio fue de 8.00 Kg/cm², con una desviación de 0.53 y un CV de 6.61 %. Este nivel de firmeza es suficiente para soportar el proceso de cocción e inmersión en jarabes sin que los cubos de manzana se desintegren.

En conjunto, los parámetros evaluados confirman que la materia prima utilizada presenta características fisicoquímicas uniformes y apropiadas para la elaboración de manzanas confitadas.

4.1.2. Correlación de los parámetros fisicoquímicos

La matriz de correlación evidenció asociaciones de distinta magnitud entre las variables evaluadas (Figura 5).

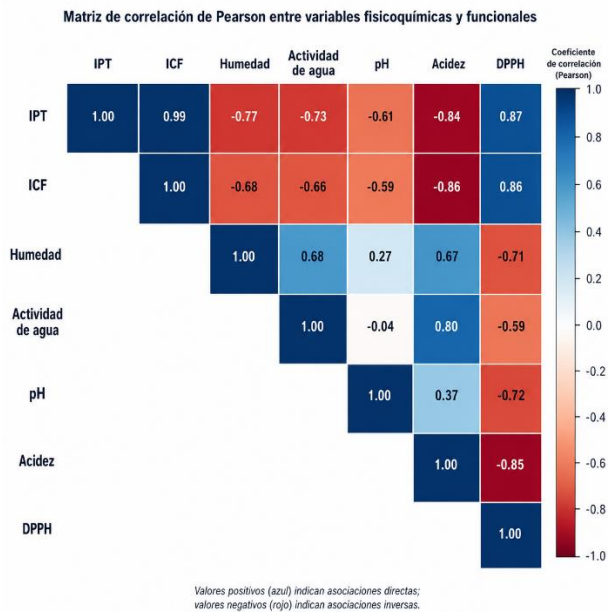


Figura 5. Matriz de correlaciones de Pearson entre IPT, ICF, humedad, actividad de agua (aw), pH, acidez y actividad antioxidante (DPPH).

Los resultados mostraron una asociación positiva muy fuerte entre IPT e ICF ($r = 0.99$), lo que sugiere que ambas variables tendieron a variar de manera similar. De igual forma, tanto IPT como ICF presentaron asociaciones positivas muy altas con la actividad antioxidante determinada mediante DPPH ($r = 0.97$ y $r = 0.98$, respectivamente).

En contraste, estos índices se asociaron negativamente con la humedad, la actividad de agua, el pH y la acidez. Las correlaciones más intensas se observaron con la acidez (IPT: $r = -0.94$; ICF: $r = -0.90$), mientras que las relaciones con la humedad, la actividad de agua y el pH también fueron de magnitud moderada a alta.

La humedad mostró asociaciones positivas con la actividad de agua ($r = 0.68$) y con la acidez ($r = 0.67$), mientras que se relacionó negativamente con la actividad antioxidante medida por DPPH ($r = -0.71$). Por otro lado, la relación entre la humedad y el pH fue relativamente débil ($r = 0.27$).

La actividad de agua presentó una asociación positiva elevada con la acidez ($r = 0.80$) y una asociación negativa moderada con DPPH ($r = -0.59$), mientras que prácticamente no mostró relación con el pH ($r = -0.04$).

En cuanto al pH, se observó una asociación positiva de baja magnitud con la acidez ($r = 0.37$) y una correlación negativa relativamente alta con DPPH ($r = -0.72$). Finalmente, la acidez presentó una de las asociaciones más marcadas del análisis al correlacionarse negativamente con la actividad antioxidante ($r = -0.85$).

4.1.3. Características fisicoquímicas del producto final

En la Tabla 8 se presentan los estadísticos descriptivos de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los tres tratamientos de manzanas confitadas enriquecidas con polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar, acompañados del coeficiente de variación. Se observó que la humedad se mantuvo homogénea entre tratamientos, con valores entre 20.14 % y 20.22 % y coeficientes de variación inferiores a 0.23 %. La actividad de agua (A_w) presentó valores de 0.54 (T1), 0.56 (T2) y 0.52 (T3). El pH mostró un valor notablemente más alto en T1 (4.50) frente a T2 (4.11) y T3 (4.18). La acidez titulable fue baja en todos los casos, con valores de 0.02 % (T1 y T2) y 0.01 % (T3). Los sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) fueron constantes (72) en todos los tratamientos. Los polifenoles totales aumentaron progresivamente con la concentración de bioactivos: 23.80 mg/100 mL (T1), 27.16 mg/100 mL (T2) y 34.71 mg/100 mL (T3). Similar tendencia se observó para los flavonoides totales, que pasaron de 13.87 mg/100 mL (T1) a 24.83 mg/100 mL (T3). La actividad antioxidante (% inhibición DPPH) también se incrementó con la dosis de extracto, registrando 59.71 % (T1), 62.88 % (T2) y 66.77 % (T3).

Tabla 8. Análisis descriptivos de los resultados fisicoquímicos en el producto final

Variable	T1		T2		T3	
	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)
Humedad (%)	20.20 ± 0.0458	0.2267	20.22 ± 0.0252	0.1245	20.14 ± 0.0351	0.1744
Actividad de agua	0.54 ± 0.0026	0.4872	0.56 ± 0.0075	1.3483	0.52 ± 0.0087	1.6765
pH	4.50 ± 0.0047	0.1051	4.11 ± 0.0025	0.0612	4.18 ± 0.0598	1.4314
Acidez (%)	0.02 ± 0.0006	2.9357	0.02 ± 0.0012	5.9726	0.01 ± 0.0006	4.3301
Sólidos solubles (°Brix)	72.00 ± 0.00	0.00	72.00 ± 0.00	0.00	72.00 ± 0.00	0.00
Polifenoles totales (mg/100mL)	23.80 ± 1.1547	0.0485	27.16 ± 0.5774	0.0213	34.71 ± 1.1547	0.0333
Flavonoides totales (mg/100mL)	13.87 ± 2.00	0.1442	18.25 ± 1.00	0.0548	24.83 ± 1.7321	0.0698
Actividad antioxidante	59.71 ± 0.4690	0.7853	62.88 ± 1.0623	1.6894	66.77 ± 0.4684	0.7015

El análisis de varianza (ANOVA) de un factor (Tabla 9) reveló diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en todas las variables evaluadas, excepto en la humedad ($p = 0.0648$). La actividad de agua presentó un $p = 0.00169$, la acidez $p = 0.000124$, los polifenoles totales un $p < 2 \times 10^{-16}$, los flavonoides totales un $p = 6.73 \times 10^{-16}$ y la actividad antioxidante un $p = 6.48 \times 10^{-5}$. Estos resultados indican que la concentración de bioactivos incorporados tuvo un efecto significativo en la mayoría de los parámetros de calidad del producto final.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) para los resultados fisicoquímicos

Variable	F-valor	P-valor
Humedad (%)	4.471	0.0648
Actividad de agua	22.18	0.00169 **
pH	106.46	2.06×10^{-5} ***
Acidez (%)	57.17	0.000124
Polifenoles totales (mg/100ml)	936125	$< 2 \times 10^{-16}$ ***
Flavonoides totales (mg/100ml)	342380	6.73×10^{-16} ***
Actividad antioxidante (DPPH)	71.68	6.48×10^{-5} ***

Nota. Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

A fin de verificar el cumplimiento de supuestos (Tabla 10) se realizaron las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Levene) en los residuos de los modelos. Todas las variables siguieron una distribución normal (Shapiro-Wilk $p > 0.05$) excepto el pH ($p = 0.0293$). Por su parte, la prueba de Levene indicó homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) en todos los casos.

Tabla 10. Verificación de supuestos: Normalidad y Homogeneidad

Variable	Normalidad		Homogeneidad de varianzas		No paramétrica Kruskal Wallis
	Shapiro Wilks		Levene		
	Sí	No	Sí	No	
Humedad (%)	0.5515		0.7827		

Actividad de agua	0.6067	0.6526	
pH	0.0293	0.3555	0.05492
Acidez (%)	0.1405	0.8503	
Polifenoles totales (mg/100mL)	0.4759	0.8966	
Flavonoides totales (mg/100mL)	0.3267	0.8130	
Actividad antioxidante (DPPH)	0.1359	0.8132	

Al no cumplirse el supuesto de normalidad del pH, se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, que arrojó un p-valor de 0.05492, lo que indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en el pH.

A fin de determinar las diferencias entre pares de tratamientos, se usó la prueba post-hoc de Tukey. En la Tabla 11 se presentan los grupos de significancia estadística. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$). En la actividad de agua, T1 y T2 compartieron la letra A, mientras que T3 presentó la letra B, lo que indica que el tratamiento con la mayor concentración de extracto (T3) redujo significativamente la Aw. En la acidez, T1 y T2 fueron iguales (A), mientras que T3 fue diferente (B), lo que evidencia una disminución significativa de la acidez en el tratamiento de mayor dosis. Para los polifenoles totales, los flavonoides totales y la actividad antioxidante, se observó una diferenciación completa entre los tres tratamientos: T3 obtuvo la letra A (mayor valor), T2 la letra B, y T1 la letra C (menor valor), lo que demuestra una relación dosis-respuesta directa y altamente significativa.

Tabla 11. Pruebas post-hoc para parámetros fisicoquímicos de las manzanas

Variable	Tratamientos		
	T1	T2	T3
Actividad de agua	0.54 ^a	0.56 ^a	0.52 ^b
Acidez (%)	0.02 ^a	0.02 ^a	0.01 ^b
Polifenoles totales (mg/100mL)	23.80 ^c	27.16 ^b	34.71 ^a
Flavonoides totales (mg/100mL)	13.87 ^c	18.25 ^b	24.83 ^a
Actividad antioxidante (DPPH)	59.7 ^c	62.88 ^b	66.77 ^a

Nota. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

4.1.4. Características microbiológicas del producto final

En la Tabla 12 se resumen los resultados microbiológicos de las manzanas confitadas. Se detectó ausencia de mohos y levaduras en todos los tratamientos, así como de aerobios mesófilos, lo que cumple con los límites establecidos en la normativa ecuatoriana para frutas confitadas. Estos resultados indican que el proceso de confitado, combinado con la adición de extractos bioactivos y con buenas prácticas de manipulación, garantiza la inocuidad microbiológica del producto final.

Tabla 12. Análisis microbiológicos de las manzanas confitadas

Requisitos microbiológicos	Tratamientos			NTE INEN 2217: 2000. Productos de confitería	
	T1	T2	T3	Mín	Máx
Mohos y levaduras (UFC/g)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	5.0×10^1	1.0×10^2
Aerobios mesófilos (UFC/g)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	5.0×10^2	1.0×10^3

Nota. NE: Número estimado, representa no desarrollo de colonias (ausencia).

4.1.5. Características sensoriales del producto final

Para determinar el nivel de agrado de las manzanas confitadas, se agruparon las respuestas de los 60 jueces en las categorías que reflejan una aceptación positiva: 5 (bueno), 6 (muy bueno) y 7 (excelente). La Tabla 13 resume los porcentajes obtenidos para cada tratamiento (T1: 1 % de bioactivos, T2: 2.5 %, T3: 5 %) en los cinco atributos evaluados.

Tabla 13. Distribución de frecuencias porcentuales para el análisis sensorial

Atributo		Escala hedónica							Acumulado 5+6+7 (%)
		1	2	3	4	5	6	7	
Color %	T1	0.00	0.00	13.33	43.33	18.33	20.00	5.00	43.33
	T2	0.00	0.00	5.00	33.33	50.00	8.33	3.33	61.66
	T3	0.00	5.00	13.33	28.33	40.00	8.33	5.00	53.33
Olor %	T1	0.00	5.00	10.00	41.67	31.67	10.00	1.67	43.34
	T2	0.00	5.00	10.00	56.67	23.33	5.00	0.00	28.33
	T3	0.00	5.00	8.33	36.67	38.33	8.33	3.33	49.99
Sabor %	T1	1.67	3.33	21.67	23.33	23.33	16.67	10.00	50.00
	T2	0.00	1.67	13.33	30.00	23.33	30.00	1.67	55.00
	T3	0.00	5.00	6.67	26.67	30.00	23.33	8.33	61.66
Textura %	T1	1.67	1.67	21.67	28.33	20.00	25.00	1.67	46.67
	T2	1.67	0.00	11.67	26.67	33.33	23.33	3.33	59.99
	T3	0.00	1.67	16.67	21.67	28.33	23.33	8.33	59.99
Aceptación global %	T1	0.00	0.00	20.00	28.33	23.33	25.00	3.33	51.66
	T2	0.00	0.00	13.33	40.00	23.33	20.00	3.33	46.66
	T3	0.00	0.00	13.33	18.33	40.00	16.67	0.00	56.67

En el atributo color, el tratamiento T2 presentó el mayor porcentaje de aceptación positiva (61.66 %), seguido de T3 (53.33 %) y T1 (43.33 %). Mientras que el 43.33 % de los jueces calificó el color de T1 como "aceptable" (puntuación 4), en los tratamientos T2 y T3 predominó la categoría "bueno" (puntuación 5), con valores de 50.00 % y 40.00 %, respectivamente. Estos resultados sugieren una tendencia a una mejor valoración visual de las formulaciones con concentraciones más altas de bioactivos.

En el olor, el tratamiento T3 alcanzó el mayor porcentaje de aceptación positiva (49.99 %), seguido de T1 (43.34 %) y T2 (28.33 %). El tratamiento T2 presentó la mayor frecuencia de respuestas en la categoría "aceptable" (56.67 %), lo que indica que

los evaluadores calificaron este atributo de manera intermedia. En cambio, el tratamiento T3 obtuvo un mayor nivel de aceptación, resultado que coincide con el análisis estadístico, en el cual se evidenciaron diferencias significativas entre ambos tratamientos.

En el sabor, el tratamiento T3 obtuvo la mayor aceptación positiva (61.66 %), seguido de T2 (55.00 %) y T1 (50.00 %). En la evaluación de este atributo, el tratamiento T2 obtuvo el mayor porcentaje de respuestas en la categoría "muy bueno" (30,00 %), mientras que T3 concentró la mayor frecuencia en la categoría "bueno" (30,00 %). Aunque el tratamiento T1 alcanzó el porcentaje más alto de calificaciones en la categoría "excelente" (10,00 %), su aceptación general fue menor en comparación con los demás tratamientos.

Respecto a la textura, los tratamientos T2 y T3 mostraron niveles de aceptación muy similares, con un 59,99 % de respuestas favorables en ambos casos, superando al tratamiento T1, que registró un 46,67 %. Además, T3 presentó la mayor proporción de calificaciones en la categoría "excelente" (8,33 %), mientras que T2 destacó por obtener el porcentaje más alto en la categoría "bueno" (33,33 %). Estos resultados reflejan una valoración favorable de la textura en los tratamientos con niveles más altos de bioactivos.

En la aceptación global, el tratamiento T3 presentó el mayor porcentaje de respuestas favorables (56.67 %), seguido de T1 (51.66 %) y T2 (46.66 %). Aunque T1 mostró una mayor proporción de respuestas en las categorías "muy bueno" y "excelente" (28.33 %), T3 concentró el mayor porcentaje de respuestas en la categoría "bueno" (40.00 %), lo que se tradujo en una mejor valoración global del producto. Estos resultados sugieren que la incorporación del 5 % de bioactivos favoreció la aceptación general de las manzanas confitadas.

Los resultados del análisis inferencial mediante la prueba de Friedman (Tabla 14) mostraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos en los atributos de olor ($p = 0.0064$), textura ($p = 0.0417$) y aceptación global ($p = 0.0478$). Sin embargo, las comparaciones pareadas ajustadas mediante el método de Holm confirmaron diferencias significativas únicamente entre T2 y T3 en el atributo de olor. El coeficiente de concordancia de Kendall (W) indicó magnitudes de efecto moderadas a grandes en todos los atributos evaluados, lo que sugiere una

concordancia relevante entre las valoraciones de los jueces, incluso en aquellos atributos en los que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 14. Análisis inferencial para los atributos sensoriales

Atributo	X ²	gl	p-valor	Kendall's W	Magnitud
Color	2.2454	2	0.3254	0.5516	Grande, pero no significativo
Olor	10.1062	2	0.0064	0.6570	Grande
Sabor	2.5165	2	0.2842	0.5480	Grande, pero no significativo
Textura	6.3563	2	0.0417	0.5654	Grande
Aceptación global	6.0833	2	0.0478	0.5884	Grande

Debido a que la prueba de Friedman fue significativa para olor, textura y aceptación global, se realizaron comparaciones post-hoc pareadas con la prueba de Wilcoxon ajustada por Holm (Tabla 15).

Tabla 15. Comparaciones múltiples (prueba post-hoc)

Atributo	Comparación	p ajustado	Significancia
Olor	T1 vs T2	0.057	No significativo
Olor	T1 vs T3	0.300	No significativo
Olor	T2 vs T3	0.001	**
Textura	T1 vs T2	0.250	No significativo
Textura	T1 vs T3	0.250	No significativo
Textura	T2 vs T3	0.638	No significativo
Aceptación global	T1 vs T2	0.798	No significativo
Aceptación global	T1 vs T3	0.135	No significativo
Aceptación global	T2 vs T3	0.058	No significativo

Nota. Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

La comparación entre T2 y T3 fue significativa ($p_{\text{adj}} = 0.001$), indicando que los jueces percibieron claramente una mejoría en el olor del tratamiento T3 (5 % de bioactivos) frente a T2 (2.5 %). Las diferencias entre T1 y T2 ($p_{\text{adj}} = 0.057$) y entre T1 y T3 ($p_{\text{adj}} = 0.300$) no fueron significativas.

En cuanto a la textura, ninguna de las comparaciones pareadas alcanzó significación estadística después del ajuste ($p_{\text{adj}} > 0.05$ en todos los casos). Esto sugiere que, aunque globalmente existen diferencias en la textura, no se pudo identificar qué par de tratamientos es el responsable, posiblemente debido a la pequeña magnitud de la diferencia o a la alta variabilidad entre jueces.

En la aceptación global, de manera similar, ninguna comparación fue significativa ($p_{\text{adj}} > 0.05$). La comparación T2 vs. T3 presentó un valor p ajustado de 0.058, cercano al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$); sin embargo, no se considera estadísticamente significativa.

En términos generales, el análisis sensorial demuestra que las manzanas confitadas enriquecidas con polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao fueron bien aceptadas por los consumidores. El tratamiento T3 (5 %) destacó en los atributos de olor, sabor y aceptación global, mientras que T2 (2.5 %) presentó la mayor valoración del color y una aceptación comparable en la textura. El análisis inferencial mostró diferencias significativas entre los tratamientos para los atributos olor, textura y aceptación global. No obstante, al realizar las comparaciones múltiples con el ajuste de Holm, únicamente se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos T2 y T3 en el atributo olor. Estos resultados indican que la incorporación de extracto de mucílago de cacao no afecta negativamente la percepción sensorial del producto y que el tratamiento T3 constituye la alternativa más prometedora, al combinar la mayor actividad antioxidante con una elevada aceptación por parte de los consumidores.

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Caracterización de la materia prima (manzana)

La materia prima utilizada en la presente investigación presentó características fisicoquímicas dentro de los rangos típicos reportados para manzanas frescas destinadas a procesamiento. La humedad de 84.93 % y la actividad de agua de 0.96 son consistentes con los valores descritos por Patocka et al. (2020) para variedades de manzana de consumo fresco con humedad entre 84 a 86 % y una actividad de agua entre 0.95 a 0.98, lo que garantiza una adecuada pérdida de agua durante la deshidratación osmótica y el posterior confitado.

El pH de 4.04 y la acidez titulable de 0.28 % reflejan un contenido moderado de ácidos orgánicos, principalmente ácido málico. Muñoz-Pina et al. (2022) reportaron que manzanas con pH entre 3.8 y 4.2 presentan una actividad de polifenoloxidasas (PPO) óptima para el pardeamiento enzimático. Este hallazgo es relevante, ya que justifica la necesidad de incorporar compuestos antioxidantes externos para mitigar el oscurecimiento durante el procesamiento.

El contenido de sólidos solubles de 12 °Brix indica que las manzanas presentaron un nivel de azúcares adecuado para el proceso de confitado. De acuerdo con Sadeh et al. (2022), valores superiores a 10 °Brix corresponden a frutos con un estado de madurez favorable para la impregnación osmótica. Asimismo, la dureza promedio de 8,00 Kg/cm² refleja una pulpa firme, característica que favorece la conservación de

la estructura de los cubos de manzana durante las inmersiones sucesivas en jarabes de alta concentración, evitando deformaciones o daños en el producto (Lustre y Cabrera, 2021).

4.2.2 Correlación de los parámetros fisicoquímicos

La relación observada entre el índice de polifenoles totales (IPT), el índice de flavonoides (ICF) y la actividad antioxidante determinada mediante el método DPPH concuerda con lo descrito en investigaciones previas. Estos estudios indican que los compuestos fenólicos y los flavonoides son los principales responsables de la capacidad antioxidante presente en las frutas y en sus productos derivados (Valenzuela et al., 2014; Gu et al., 2019; Mendoza-Isaza et al., 2020). En este sentido, las muestras con mayores concentraciones de estos compuestos también presentaron niveles más altos de actividad antioxidante.

De manera similar, las correlaciones negativas encontradas entre IPT, ICF y las variables relacionadas con el contenido de agua (humedad y actividad de agua) concuerdan con investigaciones realizadas en productos sometidos a deshidratación osmótica, donde la reducción del contenido de agua suele estar acompañada por una mayor concentración relativa de compuestos bioactivos (Osorio et al., 2019; Tylewicz et al., 2020; Karlińska et al., 2025).

Por otra parte, la actividad antioxidante mostró asociaciones negativas con la humedad, la actividad de agua, el pH y la acidez. Hallazgos similares han sido descritos en frutas deshidratadas, donde los productos con menor contenido de agua tienden a conservar niveles más altos de actividad antioxidante y presentan una mayor estabilidad fisicoquímica (Lavelli y Vantaggi, 2009; Rezagholizade-Shirvan et al., 2023; Vargas et al., 2024).

Las variables bioactivas y la actividad antioxidante siguieron patrones de comportamiento similares, mientras que las variables asociadas al contenido de agua presentaron relaciones inversas. Este comportamiento ha sido reportado previamente en frutas deshidratadas por osmosis (Yulni et al., 2024; Wojtyś et al., 2024).

4.2.3. Parámetros fisicoquímicos del producto final

4.2.3.1. Humedad y actividad de agua (aw)

Las manzanas confitadas presentaron valores de humedad entre 20.14 % y 20.22 %, sin diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$). Este resultado indica que la

incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao no afectó la capacidad de deshidratación osmótica del producto. La reducción de humedad desde 84.93 % en la fruta fresca hasta aproximadamente 20 % en el producto final es consistente con los reportes de Osorio Gutiérrez et al. (2019), quienes documentaron que la deshidratación osmótica en soluciones hipertónicas de sacarosa permite reducir el contenido de humedad hasta un 50-60 % del peso inicial.

La actividad de agua (a_w) presentó valores entre 0.52 y 0.56, con una reducción significativamente mayor en el tratamiento T3 (5 % de bioactivos, a_w = 0.52) en comparación con T1 y T2. Lustre y Cabrera (2021) establecieron que los productos confitados con a_w < 0.80 son microbiológicamente estables a temperatura ambiente. En este sentido, todos los tratamientos cumplen con este requisito. La menor a_w en T3 puede atribuirse a la mayor concentración de compuestos fenólicos en el jarabe, que podrían haber incrementado la presión osmótica efectiva de la solución y favorecido una mayor salida de agua del tejido vegetal, tal como lo observaron Karlińska et al., (2025), quienes encontraron que la presencia de polifenoles en la solución osmótica intensificó la migración de agua (pérdida de aproximadamente 3 g/g de materia seca) desde el tejido de la manzana en comparación con soluciones de sacarosa pura.

4.2.3.2. pH y acidez titulable

El pH final de las manzanas confitadas mostró una tendencia inversa a la concentración de bioactivos añadidos: T1 (1%) presentó el valor más alto (4.50), mientras que T2 y T3 registraron 4.11 y 4.18, respectivamente, sin diferencias estadísticas entre ellos. La acidez titulable fue de 0.02 % para T1 y T2, y de 0.01 % para T3. Estos valores son considerablemente más bajos que los reportados por Browne y Badrie (2006) para manzanas confitadas convencionales (acidez entre 0.35-0.63 g/100 g de ácido cítrico). La baja acidez observada en los tres tratamientos puede atribuirse a tres factores: la adición de bicarbonato de sodio durante el confitado, que neutraliza parcialmente los ácidos orgánicos de la fruta; el alto contenido de azúcar (72 °Brix), que ejerce un efecto tampón sobre la acidez; y la posible interacción entre los polifenoles añadidos y los ácidos orgánicos endógenos, formando complejos que reducen la acidez titulable.

Desde la perspectiva de la calidad sensorial, esta baja acidez no representa una desventaja. Vega et al. (2023) reportaron que néctares elaborados con mucílago de

cacao presentaron pH entre 3.17 y 3.30, valores considerablemente más ácidos que los obtenidos en este estudio. La acidez moderada de las manzanas confitadas las hace organolépticamente más agradables, ya que evita la percepción excesivamente ácida que podría rechazar el consumidor.

4.2.3.3. Sólidos solubles (°Brix)

Los sólidos solubles se mantuvieron constantes en 72 °Brix en todos los tratamientos, valor característico de frutas confitadas de alta calidad (Lustre, 2021). Este valor es comparable al reportado por Browne y Badrie (2006) para manzanas deshidratadas osmóticamente (73.6-76.3 °Brix), aunque ligeramente inferior. La ausencia de diferencias significativas indica que la incorporación de los extractos de mucílago no interfirió con la ganancia de sólidos durante el confitado. Karlińska et al. (2025) observaron que la presencia de polifenoles en la solución osmótica no afectó la migración de sacarosa hacia el tejido de la manzana, lo que concuerda con los hallazgos de este estudio.

4.2.3.4. Polifenoles y flavonoides totales

Metodológicamente, se trabajó con un extracto seco de polifenoles y flavonoides obtenidos a partir del mucílago de cacao, el cual fue redissuelto en agua ultrapura para el análisis. Los polifenoles totales aumentaron progresivamente desde 23.80 mg/100 mL en T1 (1%) hasta 34.71 mg/100 mL en T3 (5%), mientras que los flavonoides totales se incrementaron de 13.87 mg/100 mL (T1) a 24.83 mg/100 mL (T3). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tres tratamientos, confirmando una relación dosis-respuesta directa. Este comportamiento demuestra que la deshidratación osmótica es eficaz para impregnar compuestos bioactivos en matrices frutales, coincidiendo con lo reportado por Osorio Gutiérrez et al. (2019).

Los valores obtenidos son inferiores a los cuantificados por Reyes Ullón (2020) en mucílago de cacao fresco (105.08 mg/100 mL de polifenoles y 36.80 mg/100 mL de flavonoides), lo cual era esperable debido a que en el presente estudio los compuestos se incorporaron diluidos en el jarabe de confitado. Llerena et al. (2023) reportaron un perfil dominado por catequina, procianidinas y epicatequina en mucílago de cacao Nacional × Trinitario, lo que explica la capacidad antioxidante observada y sugiere que una fracción significativa de los bioactivos se retuvo en el producto final a pesar de la dilución.

La incorporación de los compuestos bioactivos puede explicarse por el proceso de deshidratación osmótica, durante el cual el agua se desplaza desde el interior de la manzana hacia la solución hipertónica, mientras que los azúcares y los compuestos presentes en el jarabe difunden hacia el tejido del fruto. Además, los polifenoles y flavonoides pueden establecer interacciones con componentes de la pared celular, como pectinas y celulosa, favoreciendo su retención en la matriz vegetal. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Hernández (2020), quien demostró que los extractos microencapsulados de mucílago de cacao conservan su actividad antioxidante después del procesamiento térmico, lo que respalda su aplicación en alimentos procesados.

Por otra parte, los polifenoles y flavonoides incorporados podrían contribuir a disminuir el pardeamiento enzimático al interferir con la actividad de la polifenoloxidasa (PPO), ya sea mediante la competencia con los sustratos fenólicos o por su capacidad para unirse al cobre presente en el sitio activo de la enzima (Moon et al., 2020). En conjunto, los resultados obtenidos muestran que el mucílago de cacao de la variedad CCN-51 representa una alternativa para el aprovechamiento de un subproducto agroindustrial, ya que puede utilizarse como fuente de compuestos bioactivos en la elaboración de manzanas confitadas. Asimismo, ofrece la posibilidad de ajustar su concentración de acuerdo con las características funcionales y sensoriales que se deseen obtener en el producto final.

4.2.3.5. Actividad antioxidante (% inhibición DPPH)

La actividad antioxidante medida por el método DPPH mostró una clara relación dosis-respuesta: 59.71 % (T1), 62.88 % (T2) y 66.77 % (T3). Este incremento puede atribuirse a la mayor concentración de polifenoles y flavonoides presentes en el producto final. La capacidad de captación de radicales libres obtenida en el presente estudio es superior a la reportada para manzanas frescas sin enriquecimiento, cuyos valores suelen situarse entre 15 % y 30 % de inhibición (Tareen et al., 2021).

Por su parte, Hernández (2020) reportó que la incorporación de microencapsulados de mucílago de cacao en chocolate blanco permitió alcanzar hasta un 85 % de inhibición del radical DPPH, valor ligeramente superior al registrado en el mejor tratamiento de esta investigación (66,77 %). La diferencia puede explicarse por la mayor estabilidad de los compuestos bioactivos en una matriz lipídica como el

chocolate, en comparación con una matriz hidrofílica como la fruta confitada, donde la humedad residual podría favorecer reacciones de oxidación durante el procesamiento.

Por otra parte, Llerena et al. (2023) encontraron que la actividad antioxidante de los residuos de cacao se correlacionó fuertemente (coeficiente < 0.99) con las procianidinas, epicatequina y catequina. En el presente estudio, si bien no se realizó un perfil detallado de los compuestos individuales, los elevados valores de % inhibición DPPH sugieren que los polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao conservaron su actividad biológica después del proceso de extracción y confitado. Este hallazgo es de gran relevancia desde el punto de vista funcional, ya que el producto final no solo es nutricionalmente mejorado, sino que además ofrece al consumidor los beneficios asociados al consumo de antioxidantes naturales, como la reducción del estrés oxidativo y la prevención de enfermedades cardiovasculares (Castillo Mendoza et al., 2022).

4.2.4. Calidad microbiológica

Los resultados microbiológicos evidenciaron que todos los tratamientos cumplieron con los límites establecidos en la norma NTE INEN 2217 (2000) para productos de confitería. Se detectó ausencia de mohos y levaduras en los tres tratamientos, así como en aerobios mesófilos. Este comportamiento se debe fundamentalmente a dos factores: la reducción de la actividad de agua (a_w entre 0.52 y 0.56), que inhibe el crecimiento de microorganismos; y el elevado contenido de azúcar (72 °Brix), que ejerce una presión osmótica letal para la mayoría de las bacterias, levaduras y mohos. Lustre y Cabrera (2021) señaló que las frutas confitadas con $a_w < 0.80$ y contenido de azúcar $> 70\%$ son microbiológicamente estables bajo las condiciones evaluadas.

Con una a_w de 0.52–0.56, el producto final se encuentra en la zona donde no existe proliferación microbiana ($a_w < 0.60$). (AQUALAB, 2023) indica que las bacterias patógenas y alterantes requieren $a_w \geq 0.85$ –0.97 para crecer. *Staphylococcus aureus* (el patógeno más resistente en términos de a_w) necesita al menos 0.86 en condiciones aeróbicas y 0.90 en anaerobiosis. Con a_w de 0.52–0.56, no hay riesgo de desarrollo de *Salmonella*, *E. coli*, *Listeria*, *Clostridium* ni *Bacillus cereus*. Para mohos, la mayoría de las especies de *Aspergillus*, *Penicillium* y *Eurotium* cesan su crecimiento por debajo de a_w 0.70–0.75. Incluso los xerófilos más resistentes como *Eurotium*

amstelodami (límite 0.70) o *Aspergillus restrictus* (0.75) no pueden activarse. Únicamente *Monascus bisporus* tiene un límite de 0.61, aún superior a los valores del producto. Las levaduras por su parte, la especie más tolerante, *Saccharomyces rouxii*, requiere $a_w \geq 0.62$ para crecer, valor que no se alcanza en ninguno de los tratamientos (máximo 0.56 en T2).

Es importante destacar que la reducción de la a_w no elimina los microorganismos ya presentes en la materia prima, sino que los obliga a entrar en estado de latencia. Sin embargo, para productos confitados con $a_w < 0.60$ y alta concentración de azúcar (72 °Brix), la combinación de barreras garantiza que, incluso si esporas o células permanecen viables, no podrán germinar, multiplicarse ni producir toxinas durante la vida útil del producto a temperatura ambiente (AQUALAB, 2023).

En consecuencia, desde el punto de vista microbiológico, las manzanas confitadas enriquecidas con polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao son excelentes, y cumplen los requisitos de la norma NTE INEN 2217:2000. El tratamiento T3 ($a_w = 0.52$) ofrece el margen de seguridad más holgado, aunque los tres tratamientos son igualmente estables microbiológicamente. Este comportamiento sugiere que la deshidratación osmótica, en combinación con altas concentraciones de sacarosa, constituye una tecnología de conservación efectiva, ya que permite la estabilidad del producto sin necesidad de incorporar aditivos antimicrobianos adicionales ni mantener condiciones de refrigeración posteriores.

4.2.5. Evaluación sensorial

El análisis sensorial mostró que las manzanas confitadas enriquecidas con polifenoles y flavonoides provenientes del mucílago de cacao alcanzaron niveles de aceptación positivos superiores al 43 % en todos los atributos y tratamientos. Este resultado, que agrupa las respuestas “bueno”, “muy bueno” y “excelente”, evidencia una buena aceptación por parte de los consumidores. En el color, el tratamiento T2 (2.5 %) presentó el mayor porcentaje de aceptación (61.66 %), seguido de T3 (53.33 %) y T1 (43.33 %). Esto sugiere que la concentración intermedia de bioactivos generó una tonalidad percibida como más agradable, mientras que la mayor dosis (T3) podría haber ocasionado ligeras variaciones en el color asociadas a la oxidación parcial de polifenoles durante el proceso de confitado. Sin embargo, la prueba de Friedman no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que las variaciones observadas en los porcentajes no cuentan con respaldo estadístico.

En el olor, el tratamiento T3 alcanzó el valor más alto de aceptación (49.99 %), seguido de T1 (43.34 %) y T2 (28.33 %). La prueba de Friedman evidenció diferencias significativas entre los tratamientos, y las comparaciones post hoc ajustadas mediante el método de Holm confirmaron que T3 presentó valores significativamente superiores a T2. Este comportamiento sugiere que la concentración del 5 % de extracto aporta un perfil aromático más agradable, lo cual podría estar relacionado con la presencia de compuestos volátiles del mucílago de cacao, como ésteres, aldehídos y alcoholes de cadena corta. Estos resultados coinciden con lo reportado por Vega et al. (2023) en néctares enriquecidos con mucílago, donde se observaron mejoras en las características sensoriales asociadas a estos compuestos.

El sabor fue el atributo que obtuvo los mayores porcentajes de aceptación en la evaluación sensorial. Los tratamientos T3 y T2 presentaron valores de 61.66 % y 55.00 %, respectivamente, superiores a T1 (50.00 %). Aunque la prueba de Friedman no evidenció diferencias significativas en términos globales, los resultados sugieren que la incorporación de polifenoles y flavonoides, incluso al 5 %, no genera sabores desagradables ni un amargor marcado. Por el contrario, los compuestos fenólicos podrían interactuar con los azúcares del jarabe, modulando la percepción del dulzor y aportando notas frutales características. Resultados similares fueron reportados por Hernández (2020) en chocolate blanco enriquecido con mucílago de cacao.

En cuanto a la textura, los tratamientos T2 y T3 presentaron el mismo nivel de aceptación (59.99 %), siendo superiores al tratamiento T1 (46.67 %). La prueba de Friedman fue significativa, aunque las comparaciones post-hoc no identificaron diferencias entre pares específicos. La mejor percepción textural de T3 y T2 podría deberse a que los polifenoles interactúan con las pectinas y la fibra de la pared celular, modificando la reticulación y resultando en una consistencia más firme y agradable, tal como lo observaron Osorio Gutiérrez et al. (2019).

En la aceptación global, el tratamiento T3 presentó el mayor porcentaje de respuestas positivas (56.67 %), seguido de T1 (51.66 %) y T2 (46.66 %). La prueba de Friedman fue significativa, pero las comparaciones post-hoc no mostraron diferencias significativas entre pares. Esta tendencia sugiere que la mayor concentración de bioactivos en T3 no afecta negativamente la aceptación global del producto. Por el contrario, las mejoras observadas en sabor y textura parecen compensar las variaciones en color u olor, lo que permite considerar a T3 como una alternativa sensorialmente competitiva, además de presentar un mayor potencial funcional. En

conjunto, los resultados demuestran que las manzanas confitadas enriquecidas con polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao son aceptables para los consumidores, y el tratamiento T3 (5 %) constituye la mejor alternativa desde el punto de vista funcional y sensorial.

La presente investigación se relaciona con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. En primer lugar, contribuye al ODS 2 (Hambre Cero) al revalorizar el mucílago de cacao, un subproducto agroindustrial que comúnmente es desaprovechado, lo que permite generar alimentos con mayor valor agregado sin requerir un incremento en los recursos de producción. En relación con el ODS 3 (Salud y Bienestar), las manzanas confitadas enriquecidas con polifenoles y flavonoides pueden aportar compuestos antioxidantes asociados con la reducción del estrés oxidativo y la prevención de enfermedades crónicas (Castillo Mendoza et al., 2022). Además, el proceso de confitado favorece la estabilidad microbiológica del producto, lo que contribuye a su inocuidad durante el almacenamiento y la distribución.

Respecto al ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), el estudio propone un protocolo tecnológico de confitado enriquecido con extractos de mucílago de cacao que puede ser aplicado en pequeñas y medianas agroindustrias, facilitando la diversificación de productos y la generación de valor agregado sin requerir inversiones complejas en infraestructura.

El ODS 12 (Producción y Consumo Responsables) se aborda de manera directa mediante la valorización del mucílago de cacao, un residuo que en muchos casos se dispone sin tratamiento adecuado, generando impactos ambientales (Ramírez y Almeida, 2026). Su aprovechamiento como insumo alimentario se enmarca en los principios de economía circular, al transformar un subproducto en un recurso útil y reducir la carga ambiental asociada a su eliminación. En esta misma línea, Romero y Almeida (2026) reportan que la valorización del mucílago de cacao en la obtención de alcohol genera beneficios económicos, sociales y ambientales coherentes con este objetivo.

Finalmente, en términos generales, los resultados obtenidos permiten sustentar la hipótesis de investigación. Aunque el efecto de la incorporación de polifenoles y flavonoides no fue homogéneo en todas las variables evaluadas, se observaron cambios significativos en parámetros clave, especialmente en la actividad

antioxidante y en algunos indicadores fisicoquímicos y sensoriales relacionados con la calidad del producto. En consecuencia, los resultados respaldan la hipótesis alternativa (H_1), al evidenciar que la incorporación de estos compuestos bioactivos influye de manera significativa en las características de las manzanas confitadas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao incrementó significativamente la capacidad antioxidante de las manzanas confitadas en una relación directamente proporcional a la dosis aplicada. El tratamiento T3 (5 % de extracto) alcanzó la mayor actividad antioxidante (66.77 % de inhibición DPPH), siendo significativamente superior a T2 (62.88 %) y T1 (59.71 %). Los polifenoles totales aumentaron desde 23.80 mg/100 mL (T1) hasta 34.71 mg/100 mL (T3), y los flavonoides totales desde 13.87 mg/100 mL (T1) hasta 24.83 mg/100 mL (T3).
- Todos los tratamientos cumplieron con los límites microbiológicos establecidos en la norma NTE INEN 2217:2000 para productos de confitería. Se detectó ausencia de mohos y levaduras (< 10 UFC/g) y recuentos de aerobios mesófilos. La reducción de la actividad de agua (a_w entre 0.52 y 0.56) y el elevado contenido de azúcar (72 °Brix) favorecieron la estabilidad microbiológica del producto final bajo las condiciones evaluadas.
- La adición de bioactivos afectó significativamente la actividad de agua (menor en T3: 0.52) y la acidez (0.01 % en T3), pero no modificó la humedad (≈ 20 %) ni los sólidos solubles (72 °Brix). Sensorialmente, las manzanas confitadas fueron aceptables en todos los atributos. El tratamiento T3 (5 %) obtuvo el mayor porcentaje de aceptación global (56.67 % en las categorías "bueno", "muy bueno" y "excelente"), además de destacar en sabor (61.66 %) y textura (59.99 %). Aunque la prueba de Friedman mostró diferencias significativas en aceptación global, las comparaciones post-hoc no identificaron diferencias entre pares específicos, por lo que T3 se posiciona como la mejor opción funcional y sensorialmente competitiva.
- La incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao mediante deshidratación osmótica es una estrategia tecnológica viable para obtener manzanas confitadas con alta capacidad antioxidante, estabilidad microbiológica garantizada y atributos sensoriales aceptables T3 (5%) fue el

tratamiento que presentó el mejor desempeño entre las concentraciones evaluadas, desde el punto de vista funcional (mayor contenido de compuestos bioactivos y mayor actividad antioxidante), y la mejor aceptación global porcentual.

- Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis alternativa (H_1) y rechazar la hipótesis nula (H_0), ya que se evidenció que la incorporación de polifenoles y flavonoides del mucílago de cacao ejerce un efecto significativo sobre la actividad antioxidante, algunos parámetros fisicoquímicos y la aceptación global de las manzanas confitadas. Además, el producto se mantuvo dentro de los límites microbiológicos establecidos por la normativa vigente, lo que respalda su estabilidad e inocuidad.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar la estabilidad de los polifenoles y flavonoides durante el almacenamiento de las manzanas confitadas, con el fin de determinar su vida útil y la cinética de degradación de los compuestos bioactivos.
- Se sugiere cuantificar los compuestos fenólicos individuales, tales como catequina, epicatequina, procianidinas y ácido clorogénico, mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) tanto en el extracto de mucílago como en las manzanas confitadas. Esto permitirá identificar los compuestos mejor retenidos durante el proceso y establecer relaciones más precisas entre su estructura y función.
- Desarrollar un protocolo a escala piloto que permita la producción de manzanas confitadas enriquecidas con mucílago de cacao en pequeñas y medianas empresas agroindustriales, incluyendo un análisis de costos de producción y viabilidad económica.
- Se recomienda extender esta tecnología a otras frutas confitadas (piña, papaya, cereza, cítricos) y a otros productos deshidratados osmóticamente (snacks de frutas, frutas deshidratadas), evaluando la transferencia de bioactivos y la aceptación sensorial.
- Evaluar la capacidad inhibitoria de la polifenoloxidasas (PPO) mediante ensayos de laboratorio con el extracto de mucílago y, posteriormente, confirmar este efecto en las manzanas confitadas durante su procesamiento y almacenamiento, así como estudios sensoriales con un mayor número de

jueces (>100) y consumidores de diferentes grupos etarios para validar la aceptación en el mercado local.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allauca, A. (2018). *Análisis de la cadena agroproductiva de la Manzana (Malus) en tres provincias de la Sierra-Centro Zona 3*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/61c2bd49-3313-49e0-93e7-749fe3405d05>
- Antolinez Sandoval, E. Y., Almanza Merchán, P. J., Barona Rodríguez, A. F., Polanco Díaz, E., & Serrano Cely, P. A. (2020). Estado actual de la cacaocultura: Una revisión de sus principales limitantes. *Ciencia y Agricultura*, 17(2), 1-11. <https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n2.2020.10729>
- AQUALAB. (2023). *Cómo controla la actividad del agua el crecimiento microbiano*. <https://aqualab.com/es/learn/how-water-activity-controls-microbial-growth>
- Araujo Pallares, D. L. (2021). *Fenología floral, rendimiento y calidad de fruto en "Honeycrisp" con diferentes portainjertos de manzano [Malus sylvestris (L.) var. domestica (Borkh) Mansf)]* [Masters, Universidad Autónoma de Chihuahua]. <http://repositorio.uach.mx/415/>
- Bermeo Escobar, L. P. (2021). Evaluación de la influencia del grado de madurez de la gulupa (*Passiflora edulis* Sims) sobre la aceptación sensorial en productos alimenticios. *Enfoque UTE*, 12(1), 29-43. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.554>
- Browne, J., & Badrie, N. (2006). Effects of pre-treatments on the physicochemical quality and sensory acceptance of osmo-air-dehydrated «dwarf» golden apples (*Spondias cytherea* Sonn.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 4, 11-16.
- Calderón-Uraga, E., Cabirol, N., Rojas-Oropeza, M., Hinojosa-Díaz, I. A., Leclercq, N., & Vereecken, N. J. (2024). Sustainability and the social fabric in commercial apple orchards in Puebla, Mexico. *Environmental and Sustainability Indicators*, 24, 100507. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100507>
- Carvajal Heredia, G. A. (2012). *Evaluación de las pérdidas poscosecha tanto físicas y de calidad en el sistema de producción agrícola del CADET. Tumbaco, Pichincha*. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/81fc33bf-0e49-4f6d-b526-80fc2d2ff6ec/www.dspace.uce.edu.ec>
- Carvajal, V. (2020). *Caracterización fisicoquímica del mucilago del cacao*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/55647>
- Carvallo, J. (2020, noviembre 27). *Tipos de Cacao: Criollo, trinitario y forastero, ¿qué son?* Le Vice Chocolat. <https://levicechocolat.com/blogs/articulos/tipos-de-cacao-criollo-trinitario-y-forastero-conoces-la-diferencia>

- Castillo Mendoza, B. E., Cajas Palacios, M. P., Montoya Vizuete, S. N., & Garcia Larreta, F. S. (2022). Actividad Antioxidante, Polifenoles Totales y Tamizaje Fitoquímico de Chilangua (*Eryngium Foetidum*). *RECIAMUC*, 6(3), 480-489. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.480-489](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.480-489)
- Coyago-Cruz, E., Salazar, I., Guachamin, A., Alomoto, M., Cerna, M., Mendez, G., Heredia-Moya, J., & Vera, E. (2025). Bioactive Compounds, Antioxidant, and Antimicrobial Activity of Seeds and Mucilage of Non-Traditional Cocos. *Antioxidants*, 14(3), 299. <https://doi.org/10.3390/antiox14030299>
- Espinoza, E. (2012). (PDF) *Bioquímica y Genética de las Antocianinas del Grano de Maíz*. 2012. INIFAP. MEXICO. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/313427218_Bioquimica_y_Genetica_de_las_Antocianinas_del_Grano_de_Maiz_2012_INIFAP_MEXICO
- García, L. (2013). *Tema: Procesamiento de frutas confitadas, usos Y aplicaciones en el campo agroindustrial*.
- Hernández, A. (2020). "*Incorporación de compuestos bioactivos de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L) y pulpa de mortiño (*Vaccinium floribundum* kunth.) en el desarrollo de chocolate blanco con propósitos funcionales*". <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/59c5cc29-8246-40a6-8659-70959e10fb77>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Hernández, S., Marino, L., Isern, D., Coria, I., & Iruzon, I. (2019). *FLAVONOIDES: APLICACIONES MEDICINALES E INDUSTRIALES*. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/113738/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1
- ICCO. (2024). Latest News Archives. *International Cocoa Organization*. <https://www.icco.org/category/latest-news/>
- Ignaczak, A., Woźniak, Ł., Marzec, A., Kowalska, J., Chobot, M., & Kowalska, H. (2025). The Influence of Osmotic Treatment, Edible Coatings Application, and Reduced Pressure on Microwave–Vacuum-Dried Carrot Properties. *Molecules*, 30(9), 1877. <https://doi.org/10.3390/molecules30091877>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2000). *NTE INEN 2217. Productos de confitería. Requisitos*. <https://www.scribd.com/doc/260689572/Norma-para-caramelos>
- Irma, R., Amiruddin, R., Jafar, N., Wahiduddin, W., Rifai, A., Alam, G., Yodha, A. W. M., Sudargo, T., Nasir, S., & Moedjiono, A. I. (2024). Evaluation of the bioactive composition of cocoa pod husk from Sulawesi Island, Indonesia, for health benefits. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 23(2), 163-177. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.001202>
- Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., Grześkowiak, T., & Ramakrishna, A. (Eds.). (2021). *Analytical Methods in the Determination of Bioactive Compounds and*

Elements in Food. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61879-7>

- Karlińska, E., Milala, J., Kosmala, M., & Klewicki, R. (2025). Osmotic Dehydration of Apples in a Saccharose Solution Containing Fragrant Agrimony or Rosehip Extract. *Molecules*, 30(24), 4708. <https://doi.org/10.3390/molecules30244708>
- Korban, S. S., & Skirvin, R. M. (1984). Nomenclature of the Cultivated Apple. *HortScience*, 19(2), 177-180. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.177>
- La Hora. (2023). *En Ecuador se desperdician más de 900 toneladas de comida al año*. <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/En-Ecuador-se-desperdician-mas-de-900-toneladas-de-comida-al-ano-20230401-0026.html>
- Liu, Y., Du, Y.-Q., Wang, J.-H., Zha, X.-Q., & Zhang, J.-B. (2014). Structural analysis and antioxidant activities of polysaccharide isolated from Jinqian mushroom. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 63-68. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.11.029>
- Llerena, W., Samaniego, I., Vallejo, C., Arreaga, A., Zhunio, B., Coronel, Z., Quiroz, J., Angós, I., & Carrillo, W. (2023). Profile of Bioactive Components of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) By-Products from Ecuador and Evaluation of Their Antioxidant Activity. *Foods*, 12(13), 2583. <https://doi.org/10.3390/foods12132583>
- Lourenço, K. S., Barthel, M., Velthof, G., Westerik, D., Rahn, E., Pulleman, M., Six, J., & Giller, K. E. (2024). Assessing greenhouse gas emissions from post-harvest residue management in coffee and cocoa production systems. <https://agris.fao.org/search/en/records/669f647d00eb85b7d72c7fea>
- Lustre Urbano, J. Y., & Cabrera Flores, J. M. (2021). *Evaluación de la concentración de colorante natural del Arándano (*Vaccinium myrtillus*) en la elaboración de fruta confitada de la Cáscara de Sandía (*Citrullus lanatus*)*.
- MAGAP. (2025). *Proyecto de Reactivación de Café y Cacao Nacional Fino de Aroma realizó mesa de concertación de cafés especiales del Ecuador – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca*. <https://www.agricultura.gob.ec/proyecto-de-reactivacion-de-cafe-y-cacao-nacional-fino-de-aroma-realizo-mesa-de-concertacion-de-cafes-especiales-del-ecuador/>
- Moon, K. M., Kwon, E.-B., Lee, B., & Kim, C. Y. (2020). Recent Trends in Controlling the Enzymatic Browning of Fruit and Vegetable Products. *Molecules*, 25(12), 2754. <https://doi.org/10.3390/molecules25122754>
- Mora, K. (2019). *Mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) de origen trinitario (CCN-51) como medio antioxidante para la obtención de almíbar de manzana (*Pyrus malus* L.)*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/5de6c954-d907-4cb8-94cd-b0f34952ff85>
- Muñoz-Pina, S., Duch-Calabuig, A., Ruiz De Assín David, E., Ros-Lis, J. V., Amorós, P., Argüelles, Á., & Andrés, A. (2022). Bioactive compounds and enzymatic browning inhibition in cloudy apple juice by a new magnetic UVM-7-SH

- mesoporous material. *Food Research International*, 162, 112073. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112073>
- Osorio Gutiérrez, F. X., Peñaloza Ortiz, A., Maldonado Astudillo, Y. I., Jiménez Hernández, J., Salazar, R., Osorio Gutiérrez, F. X., Peñaloza Ortiz, A., Maldonado Astudillo, Y. I., Jiménez Hernández, J., & Salazar, R. (2019). Evaluación de la deshidratación osmótica para el enriquecimiento con compuestos bioactivos en manzana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1151-1156. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1770>
- Patocka, J., Bhardwaj, K., Klimova, B., Nepovimova, E., Wu, Q., Landi, M., Kuca, K., Valis, M., & Wu, W. (2020). *Malus domestica*: A Review on Nutritional Features, Chemical Composition, Traditional and Medicinal Value. *Plants*, 9(11), 1408. <https://doi.org/10.3390/plants9111408>
- Portal Frutícola. (2024, octubre 17). *Arranca la temporada de manzanas europeas en Ecuador*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2024/10/17/arranca-la-temporada-de-manzanas-europeas-en-ecuador/>
- Ramírez Romero, C., & Almeida-Guzmán, M. (2026). Circular Economy in The Cocoa Industry: A Proposal for The Recovery of Cocoa Mucilage for Alcohol Production. *Estudios de La Gestión*, (19), 163-188. <https://doi.org/10.32719/25506641.2026.19.8>
- Reyes Ullon, B. P. (2020). "Contenido de vitamina C, polifenoles y flavonoides totales presentes en mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51 y nacional". <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5939>
- Romero, C. R., & Almeida-Guzmán, M. (2026). Economía circular en la industria cacaotera: Una propuesta para la recuperación del mucilago de cacao para la elaboración de alcohol. *Estudios de la Gestión: Revista Internacional de Administración*, (19), 163-188. <https://doi.org/10.32719/25506641.2026.19.8>
- Sadef, Y., Javed, T., Javed, R., Mahmood, A., Alwahibi, M. S., Elshikh, M. S., AbdelGawwa, M. R., Alhaji, J. H., & Rasheed, R. A. (2022). Nutritional status, antioxidant activity and total phenolic content of different fruits and vegetables' peels. *PLOS ONE*, 17(5), e0265566. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265566>
- Santos-Buelga, C., González-Paramás, A. M., Oludemi, T., Ayuda-Durán, B., & González-Manzano, S. (2019). Plant phenolics as functional food ingredients. *Advances in Food and Nutrition Research*, 90, 183-257. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.012>
- Surco-Laos, F., Ayquipa Paucar, H., Quispe Gamboa, W., García Ceccarelli, J., Valle Campos, M., Surco-Laos, F., Ayquipa Paucar, H., Quispe Gamboa, W., García Ceccarelli, J., & Valle Campos, M. (2020). Determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante de extracto de semillas de uvas residuos de la producción de Piscos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(2), 123-131. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i2.282>

- Swamy, K. (2023). Origin, domestication, taxonomy, botanical description, genetics and cytogenetics, genetic diversity, breeding, cultivation and processing of cocoa (*theobroma cacao* L.). *International Journal of Current Research*, 15(8). <https://doi.org/https://doi.org/10.24941/ijcr.45776.08.2023>
- Tareen, A., Panezai, mohammad A. panezai, Sajjad, A., Khan Achakzai, J., Kakar, A., & Khan, N. (2021). ANALYSIS OF ANTIOXIDANT PROPERTIES, TOXICITY AND MINERAL COMPOSITION OF SELECTED APPLE (*MALUS DOMESTICA* BORKH) VARIETIES FROM BALOCHISTAN. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*, 06, 21-44. <https://doi.org/10.35410/IJAEB.2021.5680>
- Trujillo, M. P. O., & Guerrero, D. F. E. (2025). *Viabilidad técnica del aprovechamiento del mucílago de cacao (Theobroma cacao)*.
- Vega, S. S. V., Troya, V. A. G., Álava, G. M. G., Miranda, S. E. B., Escobar, K. Y. R., & Morejón, J. P. A. (2023). Utilización de mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) con mora (*Rubus ulmifolius*) arándano (*Oxycoccus microcarpus*) y frambuesa (*Rubus idaeus*) en la elaboración de un néctar. *Revista de Investigación Talentos*, 10(2), 41-52. <https://doi.org/10.33789/talentos.10.2.189>
- Yu, K., Zhou, L., Sun, Y., Zeng, Z., Chen, H., Liu, J., Zou, L., & Liu, W. (2021). Anti-browning effect of *Rosa roxburghii* on apple juice and identification of polyphenol oxidase inhibitors. *Food Chemistry*, 359, 129855. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129855>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND
NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Jenny Madelaine Villarreal Rosero DATE: Friday, July 3, 2026 Topic: Incorporation of polyphenols and flavonoids from cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.) Mucilage into Candied Apples (<i>Pyrus malus</i> L.)				
MARKS AWARDED		QUANTITATIVE AND QUALITATIVE		
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
Co	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 ☐	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
TOTAL/AVERAGE 9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,5: GOOD 6 - 6,5: AVERAGE 5 - 4,5: LIMITED TOTAL 9				



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Jenny Madelaine Villarreal Rosero

Fecha de recepción del abstract: Martes, 23 de junio de 2026

Fecha de entrega del informe: Viernes, 3 de julio de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente,



MA. Jairo Guevara
Director de Centros y de Formación
Complementaria

Anexo 2. Obtención de compuestos bioactivos



Figura 6. Cacao lavado



Figura 7. Obtención de mucílago



Figura 8. Secado del mucílago



Figura 9. Mucílago seco



Figura 10. Mezcla disolvente y mucílago



Figura 11. Extracción a alta temperatura



Figura 12. Enfriamiento del extracto

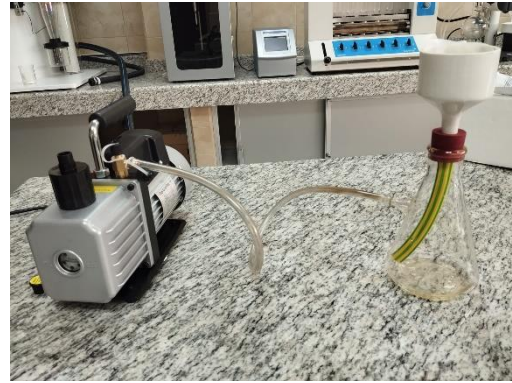


Figura 13. Filtrado del extracto



Figura 14. Evaporación del disolvente



Figura 15. Secado del extracto

Anexo 3. Proceso de elaboración de manzanas confitadas



Figura 16. Manzana lavada



Figura 17. Escaldado de la manzana



Figura 18. Corte de la manzana

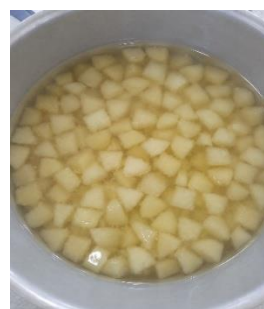


Figura 19. Maceración de la manzana



Figura 20. Inmersión en jarabe



Figura 21. Secado de la manzana confitada



Figura 22. Envasado de la manzana confitada

Anexo 4. Análisis de la materia prima y producto terminado



Figura 23. Humedad de la manzana



Figura 24. Actividad de agua de la manzana

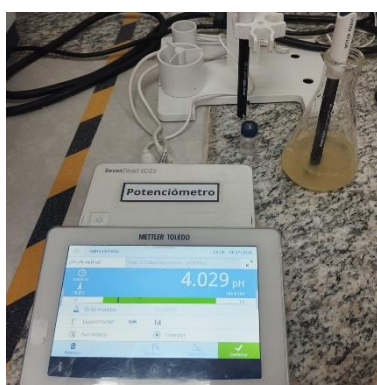


Figura 25. pH de la manzana



Figura 26. Acidez de la manzana



Figura 27. Índice de almidón



Figura 28. IPT y ICF del extracto



Figura 29. Humedad en el producto final



Figura 30. Aw en el producto final



Figura 31. pH en el producto final



Figura 32. Acidez en el producto final

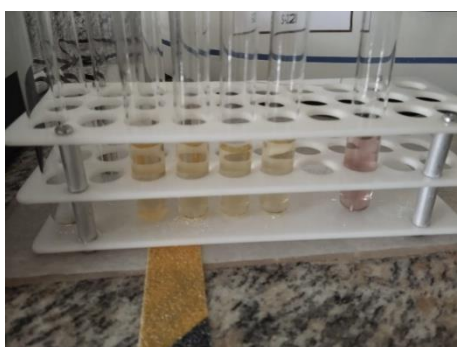


Figura 33. DPPH en el producto final



Figura 34. Mohos y levaduras



Figura 35. Aerobios mesófilos

Anexo 5. Análisis sensorial



UNIVERSIDAD POLITECNICA ESTATAL DEL CARCHI
FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE ALIMENTOS
FICHA DE EVALUACION SENSORIAL

Proyecto: Incorporación de polifenoles y flavonoides del mucilago de cacao (*Theobroma cacao L.*) en manzanas (*Pyrus malus L.*) confitadas.

Género:

Edad:

Fecha:

Objetivo: Determinar el grado de aceptación en los atributos, color, olor, sabor, textura en 3 muestras de manzanas confitadas con diferentes concentraciones de polifenoles y flavonoides.

Instrucciones:

1. Tomar las muestras en orden secuencial de acuerdo con la hoja de catación.
2. Enjuague con agua cada vez que termine de probar cada muestra.
3. Evalúe el color (brillante, uniforme), olor (dulce característico de la fruta), sabor (dulce intenso, sin amargor), textura (firme al tacto, blanda en la boca) y aceptación global (gusto general percibido) de acuerdo con la escala hedónica de 7 puntos evidenciado en la tabla 1 y registre los valores según la escala en la tabla 2:



Tabla 1: Escala hedónica

Escala	Significado
1	Muy malo
2	Malo
3	Poco aceptable
4	Aceptable
5	Bueno
6	Muy bueno
7	Excelente



Tabla 2: Atributos de los tratamientos de manzanas confitadas.

Código de muestra	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptación global
492					
157					
836					

Observaciones:



Figura 36. Evaluación de los jueces 1



Figura 37. Evaluación de los jueces 2