



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y
BIOTECNOLOGÍA**

CARRERA DE ALIMENTOS

Tema: Evaluación del efecto de los tratamientos previos al secado en las propiedades tecnológicas de harinas elaboradas a partir de residuos de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* l.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck).

Trabajo de Titulación, modalidad de titulación, opción de titulación previo la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de La Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

AUTOR: Pico Fiallos Christopher Ariel

TUTOR: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato - Ecuador

Julio – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA:

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

Ambato, 23 de junio del 2025

Mg. Liliana Patricia Acurio Arcos

1804067088

TUTORA

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Christopher Ariel Pico Fiallos, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Informe Final del Trabajo de Titulación, Opción Proyecto de Investigación, previo a la obtención de título de Ingeniero en Alimentos son absolutamente originales, auténticos y personales; a excepción de las citas bibliográficas.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'A.P.F.', with several horizontal strokes crossing it.

Christopher Ariel Pico Fiallos

1850269737

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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



Christopher Ariel Pico Fiallos

1850269737

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

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

Para la constancia firman:

Presidente del Tribunal

Mg. Daniel Alberto Armas Real
1803542214

Mg. Juan de Dios Espinoza Moya
1803201431

Ambato, 7 de julio del 2025

DEDICATORIA

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte fundamental en la culminación de este trabajo de tesis. En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por darme la salud, la fortaleza y la perseverancia necesarias para completar esta etapa académica. A mi directora de tesis, Mg. Liliana Acurio, por su valiosa orientación, dedicación y exigencia, que fueron claves para el desarrollo de este trabajo. Su compromiso académico y apoyo constante marcaron una diferencia significativa en mi proceso de formación. A mis profesores y profesoras de la carrera, quienes con sus enseñanzas y ejemplo han contribuido a mi crecimiento personal y profesional.

.

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis primeramente a Dios, ya que ha sido un pilar fundamental para poder llegar donde estoy ahora. A mis Papás por nunca dejarme solo en este camino. A ti Nelly muchas gracias por siempre estar ahí con cada abrazo, con cada comida y sobre todo por tu inmenso amor. A tí Marco por ser mi compañía en todo lo que hago. A mis hermanas en especial a Liliana, gracias por ser como mi segunda madre. A mi sobrina Doménica, por siempre ser mi apoyo, por compartir momentos conmigo y sobre todo por aconsejarme cuando algo estoy haciendo mal.

A mi mejor amigo, Christian Lozada, gracias por enseñarme el verdadero significado de la amistad, han transcurrido más de 10 años en los que nos conocemos y nos seguimos llevando igual o mejor que el primer día, gracias por compartir cada momento conmigo ya sea bueno malo o terrible. A mis amigos de la Universidad, que sin ellos esta etapa no hubiera sido tan divertida como le fue. Kathy, Annabelle y Mirka gracias por cada aventura que vivimos juntos, cada risa y cada llanto.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	3
DERECHOS DE AUTOR.....	4
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS.....	7
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	12
RESUMEN EJECUTIVO	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO	15
1.1 Antecedentes investigativos	15
1.1.1 El brócoli y coliflor en el Mundo y en Ecuador	15
1.1.2 Origen del Brócoli.....	17
1.1.3 Taxonomía del Brócoli.....	17
1.1.4 Cultivo del brócoli.....	18
1.1.5 Residuos del brócoli.....	18
1.1.6 Consumo del brócoli	19
1.1.7 Coliflor.....	19
1.1.8 Utilización de residuos y su beneficio económico y ambiental	20
1.1.9 Consumo de coliflor	21
1.1.11 Tratamientos de pre-secado	21
1.1.12 Secado de coliflor y brócoli.....	22
1.1.13 Aplicaciones de la harina de coliflor y brócoli	22
1.2 Objetivos	22
1.2.1 Objetivo General.....	22
1.2.2 Objetivos Específicos	22
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1 Materiales, equipos y reactivos	23
2.1.1 Materiales	23
2.1.2 Equipos.....	23

2.1.3	Reactivos.....	23
2.2	Métodos	24
2.2.1	Obtención de los residuos de coliflor y brócoli.....	24
2.2.2	Limpieza y troceado de los residuos de coliflor y brócoli.....	24
2.2.3	Características tecnológicas de los residuos de coliflor y brócoli frescos	24
2.2.3.1	pH y °Brix.....	24
2.2.3.2	Acidez	24
2.2.3.3	Contenido de agua (x_w) y actividad del agua (a_w)	24
2.2.3.4	Colorimetría	25
2.2.3.5	Muestra control.....	25
2.2.4	Pre-tratamientos	25
2.2.4.1	Cocción directa en agua.....	25
2.2.4.2	Cocción indirecta al vapor.....	25
2.2.4.3	Microondas.....	25
2.2.5	Secado.....	25
2.2.6	Características tecnológicas de las harinas	26
2.2.6.1	Determinación del pH y °Brix.....	26
2.2.6.2	Acidez	26
2.2.6.3	Contenido de agua (x_w) y actividad del agua (a_w)	26
2.2.6.4	Densidad bulto floja (ρ_b), densidad aparente (ρ_t) y porosidad (ϵ).....	26
2.2.6.5	Tamaño de partícula.....	27
2.2.6.6	Higroscopicidad (H_y).....	27
2.2.6.7	Índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI) 27	
2.2.6.8	Capacidad de absorción de aceite (FAI).....	28
2.2.6.9	Colorimetría	28
2.2.6.10	Análisis Experimental.....	28
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		29
3	Análisis y discusión de resultados.....	29
3.1	Residuos de coliflor y brócoli fresco	29
3.1.1	Determinación de pH de muestras de residuos y de harina de coliflor fresca 29	
3.1.2	Determinación de sólidos solubles (°Brix) de muestras de residuos y de harina de coliflor fresca	30

3.1.3	Determinación de acidez titulable de muestras de residuos y de harina de coliflor fresca	32
3.1.4	Determinación del contenido de humedad de muestras de residuos y de harina de coliflor fresca.....	33
3.1.5	Determinación de la actividad de agua (a_w) en muestras de residuos y de harina de coliflor fresca.....	34
3.1.6	Determinación de pH de muestras de residuos y de harina de brócoli fresco	35
3.1.7	Determinación de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) en muestras de residuos y de harina de brócoli fresco	36
3.1.8	Determinación de acidez titulable de muestras de residuos y de harina de brócoli fresco	36
3.1.9	Determinación de contenido de humedad de muestras de residuos y de harina de brócoli fresco	37
3.1.10	Determinación de A_w de muestras de residuos y de harina de brócoli fresco.	38
3.1.11	Determinación de colorimetría en muestras de residuos y de harina de coliflor y brócoli fresco.....	39
3.2	Harina de residuos de coliflor y brócoli	42
3.2.1	Determinación de densidad bulto floja de las harinas de residuos de Brócoli y coliflor	42
3.2.2	Determinación de densidad aparente de las harinas de residuos de Brócoli y coliflor	42
3.2.3	Determinación de porosidad de las harinas de residuos de Brócoli y coliflor	44
3.2.4	Determinación de tamaño de partícula de las harinas de residuos de Brócoli y coliflor	45
3.2.5	Determinación de higroscopicidad de las harinas de residuos de brócoli y coliflor	46
3.2.6	Determinación del índice de absorción de agua de las harinas de residuos de brócoli y coliflor.....	47
3.2.7	Índice de solubilidad de agua de las harinas de residuos de brócoli y coliflor	49
3.2.8	Determinación del índice de absorción de aceite (FAI) de las harinas de residuos de brócoli y coliflor	50
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		52
MATERIALES DE REFERENCIA.....		54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del brócoli (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itálica</i>).	17
Tabla 2. Taxonomía de la coliflor (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Itálica</i>).	20
Tabla 3. Análisis del pH de muestras de residuos y de harina de coliflor fresca	30
Tabla 4. Análisis de sólidos solubles (° brix) de muestras de residuos y harina de coliflor fresca.....	31
Tabla 5. Análisis de acidez titulable de muestras de residuos y de harina de coliflor fresca	32
Tabla 6. Análisis de Humedad de muestras de residuos y harina de coliflor fresca ...	33
Tabla 7. Análisis de actividad de agua (A_w) en muestras de residuos y harina de coliflor fresca.....	34
Tabla 8. Análisis del pH de muestras de residuos y harina de brócoli fresco.....	35
Tabla 9. Análisis de sólidos solubles (° Brix) de las muestras de brócoli fresco.	36
Tabla 10. Análisis de acidez titulable de muestras de residuos y de harina de brócoli fresco.	37
Tabla 11. Análisis de contenido de Humedad de muestras y harinas de residuos de brócoli fresco.....	38
Tabla 12. Análisis de actividad de agua (a_w) en muestras de residuos y harina de brócoli fresco.....	39
Tabla 13. Análisis de colorimetría en muestras de residuos y harina de coliflor y brócoli.....	41
Tabla 14. Análisis de densidad bulto floja de muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	42
Tabla 15. Análisis de densidad aparente de muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	43
Tabla 16. Análisis de porosidad de muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	45
Tabla 17. Índice de absorción de agua en muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	48
Tabla 18. Índice de solubilidad de agua en muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	50
Tabla 19. Índice de absorción de aceite (FAI) en harinas de residuos de brócoli y coliflor	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tamaño de partícula de las muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	46
Figura 2. Higroscopicidad de las muestras de harinas de residuos de brócoli y coliflor	47

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación evaluó el impacto de distintos pretratamientos térmicos previos al secado (agua en ebullición, vapor y microondas), sobre las propiedades tecnológicas de harinas obtenidas a partir de residuos de coliflor y brócoli, con el objetivo de revalorizar estos subproductos agroindustriales. Los residuos frescos fueron sometidos a pretratamientos térmicos, posteriormente deshidratados y molidos para obtener harinas. Del producto resultante se analizó pH, acidez, grados Brix, contenido de humedad, actividad de agua (a_w), densidad, porosidad, tamaño de partícula, higroscopicidad, capacidad de absorción de agua y aceite. Los resultados revelaron que el tratamiento con microondas fue el más efectivo en reducir la actividad de agua y humedad, además de incrementar notablemente los grados Brix, lo que sugiere una mayor concentración de sólidos solubles. La cocción al vapor mantuvo mejor la integridad estructural de los compuestos, mientras que el agua en ebullición provocó mayor lixiviación de nutrientes. En términos generales, los tratamientos térmicos influyeron significativamente en las propiedades funcionales y tecnológicas de las harinas, lo cual abre posibilidades de uso en la industria alimentaria como ingredientes alternativos y funcionales. El estudio demuestra el potencial de aprovechamiento de residuos vegetales para la elaboración de harinas nutritivas, sostenibles y sin gluten, contribuyendo así a la economía circular y la reducción del desperdicio alimentario.

Palabras claves: harina, coliflor, brócoli, tratamientos térmicos, microondas.

ABSTRACT

This research evaluated the impact of different thermal pretreatments prior to drying (boiling, steaming, and microwaving) on the technological properties of flours obtained from cauliflower and broccoli residues, aiming to revalue these agro-industrial by-products. Fresh residues were subjected to thermal pretreatments, then dehydrated and milled to obtain flours, which were analyzed for parameters such as pH, acidity, °Brix, moisture content, water activity (a_w), bulk and tapped density, porosity, particle size, hygroscopicity, and water and oil absorption capacity. The results showed that the microwave treatment was the most effective in reducing water activity and moisture, as well as significantly increasing the °Brix value, indicating a higher concentration of soluble solids. Steam treatment better preserved the structural integrity of the compounds, while boiling caused greater nutrient leaching. Overall, the thermal treatments significantly influenced the functional and technological properties of the flours, suggesting their potential use in the food industry as alternative and functional ingredients. This study demonstrates the potential for utilizing vegetable residues to produce nutritious, sustainable, and gluten-free flours, thus contributing to a circular economy and reducing food waste.

Key Words: flour, cauliflower, broccoli, heat treatments, microwave.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 El brócoli y coliflor en el Mundo y en Ecuador

El brócoli es una hortaliza que se encuentra dentro del grupo de las plantas *Brassicas* y contiene una alta fuente de calcio y fósforo. Es consumida principalmente por los países de Oriente y es muy reconocida por sus propiedades beneficiosas para la salud, entre las cuales destaca su acción anticancerígena. Dentro de la escala mundial el consumo de este tipo de hortalizas per cápita es de 105 kg en promedio; sin embargo, en China su consumo ronda entre los 300 kg per cápita.

En Ecuador, Cotopaxi es la provincia de mayor producción con un 90%, mientras que en Chimborazo y Tungurahua se produce el 4,7 y 2,6%, respectivamente. En las provincias de Imbabura, Pichincha, Azuay, Cañar y Loja también se reporta producción pero en menor escala (**Sánchez et al., 2021**). Además, se ha observado un crecimiento notorio en el consumo de hortalizas, debido al cambio en los hábitos alimenticios de la población. Los principales destinos del brócoli ecuatoriano son principalmente Europa, América y Asia. Actualmente, el país cuenta con cuatro plantas procesadoras que tienen la capacidad de producir y exportar alrededor de 70.000 toneladas anuales de brócoli congelado de tipo IQF; es decir, que tiene una relación de una producción de aproximadamente 100.000 toneladas de brócoli fresco al año (**Duque & Murillo, 2021**).

La sierra ecuatoriana ofrece condiciones geográficas excepcionales para el cultivo de brócoli de alta calidad. Su ubicación privilegiada con respecto a la incidencia solar proporciona una luz única que intensifica el color verde de las cabezas de coliflor. La altitud, que oscila entre los 2700 y 3200 metros sobre el nivel del mar, reduce notablemente la presencia de plagas y favorece la formación de cabezas compactas. Además, el clima estable y los rendimientos constantes a lo largo del año permiten una producción continua, con hasta tres cosechas anuales, dado que cada ciclo productivo tiene una duración de entre 12 y 15 semanas (**Vélez & Álava, 2021**).

El tiempo que transcurre entre la siembra y la cosecha del brócoli es de aproximadamente 90 a 100 días. Para el año 2019, la producción por tonelada tuvo un decaimiento de un 10%; sin embargo, el año anterior se había registrado un incremento en su porcentaje de un 55%. De acuerdo con datos históricos, un aumento del 5% en la producción durante 2017 implicó un incremento del 31% en el área cultivada. Un escenario similar ocurrió en el 2018, cuando la área sembrada creció más del 59% y la producción en toneladas ascendió a un 65% **(Cevallos et al., 2021)**.

Por otro lado, la coliflor se ha convertido en un cultivo de alto valor económico tanto a nivel nacional como internacional, debido a su creciente demanda en el mercado. Esto se debe a que los consumidores la consideran un alimento esencial por sus beneficios para la salud. Es una hortaliza rica en nutrientes, incluyendo vitaminas A, K y B, así como magnesio, potasio y fósforo. Según **Sánchez (2022)**, proviene de diversas familias vegetales y regiones geográficas, lo que explica por qué algunas se adaptan mejor que otras a ciertos entornos. Esta capacidad de adaptación depende de factores como la temperatura, el tiempo que tarda la planta en desarrollarse y la época del año en que puede ser cultivada.

La coliflor requiere una alta cantidad de potasio, estimándose su extracción entre 100 y 125 kg por hectárea. Esta necesidad es difícil de cubrir si el suelo tiene menos del 1% de materia orgánica. Por ello, especialmente en suelos pobres, es recomendable incorporar suficiente materia orgánica en el cultivo previo para superar ese nivel mínimo **(Vila, 2020)**.

En el mundo se cultivan alrededor de 20 millones de toneladas de brócoli y coliflor en una extensión aproximada de 1,6 millones de hectáreas. China e India son los principales productores con 8,9 y 6,7 millones de toneladas anuales respectivamente, lo que en conjunto representa el 74% de la producción global. Otros países que también destacan en este sector, con producciones superiores a las 200 mil toneladas por año, incluyen a España, México, Italia, Francia, Estados Unidos, Polonia, Pakistán y Egipto **(Yara, 2018)**.

1.1.2 Origen del Brócoli

Su origen se encuentra en el Mediterráneo Oriental, específicamente en regiones como Libia y Siria. Aunque es un cultivo milenario, a lo largo del tiempo se han desarrollado distintas variedades mediante selección. Su expansión en Europa comenzó en el siglo XVI, especialmente en Italia. Las *Brassicáceas* se caracterizan por su sabor y aroma distintivos, debido a compuestos llamados isotiocianatos de alilo y butilo (Del Pino, 2016).

1.1.3 Taxonomía del Brócoli

El brócoli es un cultivo anual que alcanza entre 60 cm y 1 metro de altura. Su parte comestible es una pella, formada por un conjunto de flores inmaduras compactas, de unos 15 cm de diámetro y generalmente de color verde, aunque también existen variedades moradas. Tras la cosecha de la pella principal, pueden brotar otras más pequeñas e irregulares, lo que permite obtener hasta tres cosechas de buena calidad. La planta tiene una raíz principal con numerosas ramificaciones superficiales. Sus hojas son verde oscuro, festoneadas, con limbos hendidos y más pecioladas que las de la coliflor. A diferencia de esta última, el brócoli puede producir nuevas pellas luego de la cosecha inicial (Arellano, 2020).

Tabla 1.

Taxonomía del brócoli (Brassica oleracea var. Itálica).

Categoría	Clasificación
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotiledònea
Orden	Chaparrales
Familia	Brassicaceae
genero	<i>Brassica</i>
especie	<i>oleracea L.var.Italica</i>
Nombre común	Brócoli
Nombre científico	<i>Brassica oleracea L.var.Italic</i>

Fuente: Gutiérrez(2016).

1.1.4 Cultivo del brócoli

El brócoli se desarrolla mejor en suelos con buen drenaje, aunque puede adaptarse a distintos tipos de texturas (arenosos hasta arcillo-limosos), siempre con buenas camas de siembra para asegurar buenos resultados. Además, esta hortaliza tolera ligeramente los suelos ácidos, preferiblemente con un pH entre 6 y 6,8 (**Zamora, 2016**).

La cosecha del brócoli se realiza de forma manual utilizando un cuchillo afilado y desinfectado, dejando al menos 5 cm de tallo y eliminando las hojas externas. Este proceso debe hacerse en las primeras horas de la mañana, cuando el clima es fresco y la planta está turgente. Si al finalizar la cosecha se detectan infestaciones severas de plagas, es necesario retirar por completo la planta afectada (**Yineth, 2010**).

Según **Frutos et al. (2016)**, el brócoli se ha consolidado como uno de los cultivos no tradicionales más relevantes en la región andina del Ecuador, posicionando al país en los últimos años como el principal exportador de Sudamérica. Forma parte del grupo de cultivos de col y destaca por su elevado valor tanto nutricional como comercial.

1.1.5 Residuos del brócoli

Para abordar la problemática sobre los desechos que existen del brócoli como son sus tallos y hojas, **Salas et al. (2024)**, proponen implementar acciones estratégicas con el fin de minimizar el desperdicio de recursos valiosos. Estas medidas se centran en enfoques como la reducción del desperdicio de alimentos, la adopción de prácticas de cero residuos y la revalorización de los subproductos. Estas estrategias no solo promueven una economía circular, sino que también apoyan iniciativas para lograr una huella de carbono baja en la industria.

Aproximadamente 931 millones de toneladas de alimentos fueron desperdiciadas en la cadena de suministro alimentaria (CSA) en el año 2019, lo que representa entre el 8 % y el 10 % de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, debido a la pérdida de los recursos utilizados en la producción de dichos alimentos. Las pérdidas y el desperdicio de brócoli se dan en los siguientes porcentajes el 10 % se pierde durante la cosecha, el 3 % se pierde en la fábrica y aproximadamente el 2,5 % corresponde a desperdicio en el supermercado (**Rasines et al., 2023**).

1.1.6 Consumo del brócoli

El brócoli es una buena fuente de fibra dietética, así como de glucosinolatos. Los glucosinolatos son fitoquímicos que contienen una estructura conservada, una cadena lateral variable y una molécula de glucosa unida por un enlace de azufre. El microbiota gastrointestinal puede metabolizar los glucosinolatos, que son relativamente no bioactivos, en isotiocianatos (ITC) bioactivos, los cuales ralentizan el desarrollo del cáncer en humanos **(Kaczmarek et al., 2019)**.

La parte comestible del brócoli es su inflorescencia de color verde grisáceo, menos compacta que la de la coliflor. Este vegetal se destaca por su bajo contenido calórico y su riqueza en nutrientes como fibra, potasio, folatos y vitaminas C y K₁ característicos de las crucíferas.

Diversos estudios epidemiológicos y metaanálisis han vinculado el consumo frecuente de este tipo de hortalizas con una reducción en el riesgo de varios tipos de cáncer (como el de pulmón, estómago, colon, mama o próstata) y enfermedades cardiovasculares **(Baladia et al., 2020)**.

1.1.7 Coliflor

La coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.) es originaria del Medio Oriente, es ampliamente cultivada en Asia durante más de 1500 años, fue introducida en Europa en el siglo XVI desde Turquía y actualmente se cultiva a nivel mundial.

Es una planta de la familia de las Crucíferas, cuyo único componente comestible es la inflorescencia, conocida como "pella" o "cabeza". Esta parte de la planta es una floración de color blanco marfil, aunque existen variedades amarillas y rojas. La textura de la cabeza puede variar desde compacta hasta más suelta.

Es una hortaliza difícil de cultivar a la perfección, ya que se necesita un suelo rico en humus para desarrollar una pella grande y compacta. Se encuentran en su mejor estado entre los meses de septiembre y enero, pero se puede disponer de ellas durante todo el año. En función de su época de maduración, se clasifican en coliflores de verano, de otoño y de invierno **(Zamora, 2016)**.

Tabla 2.

Taxonomía de la coliflor (Brassica oleracea var. Itálica).

Categoría	Clasificación
Reino	plantae
división	Magnoliophyta
clase	Magnoliopsida
orden	Brassicales
familia	Brassicaceae
Genero	<i>Brassica</i>
Especie	<i>Olearacea</i>
Nombre común	coliflor
Nombre científico	Brassica oleracea

Fuente: **Moroto (1983)**

La coliflor se conforma principalmente de agua y presenta bajo contenido de carbohidratos, proteínas y grasas, lo que la convierte en un alimento de pocas calorías. Es rica en vitamina C y folatos, aunque parte de la vitamina C puede perderse al cocinarla. La vitamina C ayuda a proteger las células y mejora la absorción de hierro, mientras que los folatos son esenciales para la formación de células sanguíneas y el buen funcionamiento del sistema inmunitario. Una porción de coliflor cubre el 33% de las recomendaciones diarias de estos compuestos nutricionales. Además, la coliflor es una buena fuente de potasio, que es importante para el sistema nervioso, los músculos y el control de la presión arterial (**Moreiras et al., 2016**).

1.1.8 Utilización de residuos y su beneficio económico y ambiental

Las nuevas exigencias y oportunidades en los mercados alimentarios, las tendencias de producción con el mínimo desperdicio en todas las actividades tecnológicas del nuevo orden mundial y el cada vez más importante reclamo de la humanidad por el cuidado del medio ambiente, colocan en un plano prioritario la preocupación por la utilización de los residuos agroindustriales (**Álvarez 2003**).

1.1.9 Consumo de coliflor

Las hojas de coliflor son ricas en polifenoles, los cuales son resultado de su metabolismo secundario. Los polifenoles están formados de uno o varios anillos fenólicos y en estas verduras se han encontrado los siguientes grupos polifenólicos: ácidos fenólicos, estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos, y flavonoides (**Quiñones, 2012**). Según **Murugan et al. (2014)**, encontraron concentraciones de polifenoles de 7,8 mg EAG/g en hojas deshidratadas de brócoli. Mientras que **Hwang & Lim (2015)**, reportaron concentraciones de 13,10 mg EAG/g en hojas liofilizadas. Por tal motivo, estos subproductos representan una interesante fuente de compuestos bioactivos para ser incorporados en alimentos.

1.1.10 Tecnologías en la elaboración de harinas

Por otro lado, **Piepiórka-Stepuk et al. (2023)**, mencionan que el implementar nuevas tecnologías de pre-tratamiento como cocción al vapor, cocción directa, microondas, permiten que se aprovechen las cualidades nutricionales y organolépticas de los residuos vegetales. Así mismo, **Fernández (2016)**, menciona que es de interés mundial el desarrollar nuevas alternativas a la harina de trigo, ya que ésta presenta algunas desventajas hacia la salud del consumidor como es la alta cantidad de carbohidratos refinados, baja cantidad de fibra y alto contenido de gluten.

1.1.11 Tratamientos de pre-secado

La cocción directa con agua en ebullición y con vapor, con una duración de 5 minutos, permite conservar las propiedades nutricionales y el sabor característico de las hortalizas. Este método suave inhibe la actividad de enzimas y anti nutrientes, mejorando su digestibilidad y aprovechamiento de nutrientes.

La cocción en microondas es un método innovador ya que ofrece varias ventajas sobre los métodos tradicionales. Este proceso utiliza energía de microondas para calentar el agua dentro de las hortalizas acelerando su evaporación, sin someter el producto a altas temperaturas durante largos períodos. Este método es particularmente útil en contextos donde se requiere un secado rápido o donde el control preciso del proceso es fundamental (**Menéndez & Moreno ,2017**).

1.1.12 Secado de coliflor y brócoli

El uso de deshidratadores eléctricos es otra opción popular, especialmente en la producción a pequeña escala o en hogares. Estos dispositivos permiten un control preciso de la temperatura y la circulación del aire, asegurando una deshidratación eficiente y consistente. Los deshidratadores también minimizan la exposición del producto a contaminantes y condiciones externas variables.

1.1.13 Aplicaciones de la harina de coliflor y brócoli

Las harinas alternativas de hortalizas están ganando popularidad como ingredientes versátiles en la industria alimentaria. La harina de coliflor y brócoli pueden ser una excelente fuente de fibra, vitaminas y minerales. Además, podrán ser utilizadas en la elaboración de productos de panadería como panes, galletas y pasteles, ofreciendo una alternativa saludable a las harinas tradicionales. Además, su nulo contenido en gluten la convierte en una opción atractiva para dietas sin gluten. También podría ser utilizada en la fabricación de purés y sopas instantáneas, donde actuaría como espesante natural y mejoraría el valor nutricional (Moreno et al., 2023).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Evaluar el efecto de los tratamientos previos al secado en las propiedades tecnológicas de harinas elaboradas a partir de residuos de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck).

1.2.2 Objetivos Específicos

- Evaluar las propiedades tecnológicas de los residuos de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) frescos.
- Elaborar harinas a partir de residuos de coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) variando los tratamientos previos al secado.
- Evaluar las propiedades tecnológicas de las harinas obtenidas a partir de los residuos variando los tratamientos previos al secado.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales, equipos y reactivos

A continuación, se reportan los materiales, equipos y reactivos utilizados en esta investigación.

2.1.1 Materiales

- Fundas aluminizadas con cierre
- Balón de aforo de 50 ml
- Vaso de precipitación 50 ml
- Tubo de ensayo
- Bureta
- Matraz Erlenmeyer
- Agitador magnético
- Tubos de centrífuga
- Probeta plástica 50 ml
- Aceite de girasol

2.1.2 Equipos

- Cámara de secado
- pH- metro
- Balanza de humedad
- Refractómetro
- Plancha de agitación
- Balanza analítica
- Tamizador
- Agitador

2.1.3 Reactivos

- Hidróxido de sodio
- Fenolftaleína
- Alcohol

2.2 Métodos

2.2.1 Obtención de los residuos de coliflor y brócoli

Los residuos de coliflor y brócoli fueron adquiridos en mercados locales de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. Éstos se trasladaron a las instalaciones de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, en donde se desarrolló el proyecto de investigación.

2.2.2 Limpieza y troceado de los residuos de coliflor y brócoli

Los residuos de coliflor y brócoli se lavaron y se trocearon.

2.2.3 Características fisicoquímicas de los residuos de coliflor y brócoli frescos

2.2.3.1 pH y °Brix

Se pesaron 10 g de residuos y se añadió agua destilada. La mezcla se homogenizó con una Thermomix (TM 21, Vorwerk, Valencia, España) durante 30 s a 5200 rpm. Estas preparaciones se utilizaron para medir el pH y °Brix. El pH se determinó con un pH metro Basic 20 (Crison, España) y los grados °Brix con un refractómetro (Abbemat 200, Anton Paar, Austria) a 20°C, todas las determinaciones por triplicado.

2.2.3.2 Acidez

La determinación de la acidez titulable se realizó utilizando la Norma INEN 7035 (2015). Se pesaron 5 g de muestra de residuo de brócoli y coliflor fresco en un frasco de vidrio, posterior a eso se le añadieron 10 ml de agua destilada y se homogenizó. Seguido de ello se añadieron 90 ml de agua destilada a 45°C. Se agregó fenolftaleína y finalmente se tituló con una disolución de hidróxido de sodio 0,02 N.

2.2.3.3 Contenido de agua (x_w) y actividad del agua (a_w)

El contenido de humedad se determinó empleando una balanza de humedad marca Ken (modelo MLS 50-3). La actividad del agua (a_w) de las muestras se las midió en un higrómetro AquaLab PRE (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EE. UU.). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.3.4 Colorimetría

Se utilizó un colorímetro Lovibond RM-200 con un iluminante D65 y observador de 10° para medir las propiedades ópticas de los residuos frescos. Los resultados se expresaron en las coordenadas de color CIE Lab . Además, se analizó el croma (C^*), el tono (h^*) y la variación global de color (ΔE^*), según la metodología expresada por **Uribe et al. (2020)**.

2.2.4. Muestra control

Se utilizaron residuos de coliflor y brócoli crudos, las cuales fueron sometidas a secado directamente, sin tratamiento previo, para servir como muestra control.

2.2.5. Pre-tratamientos

2.2.5.1. Agua en ebullición

Se utilizó la metodología propuesta por **Piepiórka-Stepuk et al. (2023)**. Los residuos se sometieron a cocción en agua a la temperatura de ebullición local durante 5 minutos.

2.2.5.2. Vapor

Para la cocción indirecta al vapor se utilizó la metodología expuesta por **Piepiórka-Stepuk et al. (2023)**. Los residuos se sometieron a cocción al vapor durante 5 minutos utilizando una olla de cocción al vapor eléctrica.

2.2.5.3. Microondas

Se utilizó el método descrito por **Alibas (2007)**. Los residuos se colocaron en el microondas con una potencia de 750 W por 30 segundos.

2.2.6. Secado

Los residuos se llevaron a una cámara de secado Gander Mountain (modelo CD 160, Saint Paul, MN, USA). El proceso se llevó a cabo a 65 °C durante 8 horas, según la metodología expuesta por **Acurio et al. (2023)**.

Posteriormente, se sometieron a un proceso de molienda en un molino Hamilton Beach (modelo 80393, Picton, ON, Canadá), en 3 intervalos de 10 segundos cada uno, para evitar que las matrices aumenten su temperatura. Finalmente, la harina fue conservada en fundas aluminizadas para asegurar un mejor estado de conservación.

2.2.7. Características fisicoquímicas de las harinas

2.2.7.1. Determinación del pH y °Brix

Se pesaron aproximadamente 10 g de harina y se añadió agua destilada. La mezcla se homogeneizó con una Thermomix (TM 21, Vorwerk, Valencia, España) durante 30 segundos a 5200 rpm. Las muestras homogeneizadas se utilizaron para medir el pH y los °Brix. El pH se determinó utilizando un pH-metro Basic 20 (Crison, España) y los °Brix con un refractómetro (Abbemat 200, Anton Paar, Austria) a 20 °C. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.7.2. Acidez titulable

Para la determinación de la acidez titulable se utilizó la Norma **INEN 521 (2012)**. Se pesaron 5 g de harina en un frasco de vidrio. Se añadieron 10 ml de agua destilada y se homogeneizó. Posteriormente, se añadieron 90 ml más de agua destilada a 45 °C. A la mezcla final se le añadió fenolftaleína y se tituló con una disolución de hidróxido de sodio 0,02 N.

2.2.7.3. Contenido de agua (x_w) y actividad del agua (a_w)

El contenido de humedad se determinó empleando una balanza de humedad marca Ken (modelo MLS 50-3). La actividad del agua (a_w) de las muestras se midió en un higrómetro AquaLab PRE (Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, EE. UU.). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

2.2.8. Características tecnológicas de las harinas

2.2.8.1. Densidad aparente (ρ_b), densidad ajustada (ρ_t) y porosidad (ϵ)

Se utilizaron los métodos propuestos por **Sotelo-Díaz et al. (2023)**. La densidad de bulto floja (ρ_b) se calculó dividiendo la masa de la harina (pesada con una balanza de

precisión ($\pm 0,001$ g) – Mettler Toledo, Greifensee, Suiza) por el volumen (medido con una probeta de 10 ml), y el resultado se expresó en g/m^3 .

La probeta graduada se golpeó mecánicamente y la ρ_t (g/cm^3) se calculó dividiendo la masa de harina por el volumen ocupado después del golpeteo. La porosidad (ϵ) se calculó a partir de la densidad de bulto floja y la densidad aparente, según el método reportado por **García-Segovia et al. (2020)**. Los resultados se presentaron como un promedio de tres mediciones.

2.2.8.2. Tamaño de partícula

La harina obtenida con cada pretratamiento se sometió por separado a un tamizador eléctrico, para evaluar su tamaño de partícula. Se colocaron 100 g de harina de cada pretratamiento en un juego de tamices de diferente número de *mesh* y posteriormente se sometieron a agitación durante 11 minutos, según la metodología descrita por **Dussán et al. (2019)**. Al finalizar, se pesó el contenido de harina de cada tamiz.

2.2.8.3. Higroscopicidad (Hy)

La higroscopicidad (Hy) se determinó por medio del método de **Cai & Corke (2020)**. Las muestras de harina se colocaron en una caja de Petri dentro de un desecador con una solución saturada de Na_2SO_4 (81 % de humedad relativa a 25 °C). Después de 24, 96 y 168 horas, cada muestra fue pesada con una balanza de precisión ($\pm 0,001$ g) (Mettler Toledo, Greifensee, Suiza). Los valores de Hy se expresaron como gramos de agua ganados por 100 g de sólidos secos.

2.2.8.4. Índice de absorción de agua (WAI) e índice de solubilidad en agua (WSI)

El WAI y el WSI se determinaron utilizando los métodos propuestos por **Singh & Smith (1997)** y **Uribe et al. (2020)**. La muestra de harina (2,5 g) se combinó con 25 g de agua destilada. La mezcla se agitó usando un agitador magnético durante 30 minutos y se colocó en tubos de centrífuga (50 ml) hasta alcanzar un peso de 32,5 g. Los tubos se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos. El sobrenadante se decantó para determinar el peso del sedimento y los sólidos disueltos en el peso del sobrenadante.

Se utilizaron las ecuaciones reportadas a continuación para determinar el WAI y el WSI, respectivamente.

$$WAI = \frac{\text{peso del sedimento}}{\text{peso de sólidos secos}}$$

$$WSI (\%) = \left(\frac{\text{peso de sólidos disueltos en el sobrenadante}}{\text{peso de sólidos secos}} \right)$$

2.2.8.5. Capacidad de absorción de aceite (FAI)

El FAI se determinó utilizando el método propuesto por Navarro-González et al. (2011), con las modificaciones reportadas por Noguerol et al. (2022). La muestra de harina (4 g) se colocó en un tubo de centrifuga y se agregaron 24 g de aceite de girasol. La mezcla se agitó a 3000 rpm durante 30 segundos, cada 5 minutos, hasta alcanzar los 30 minutos. Después de la agitación, las muestras se centrifugaron a 1600×g durante 25 minutos y se decantó el aceite libre. Los valores de FAI se expresaron como g de aceite por g de muestra.

$$FAI = \frac{\text{Peso del aceite absorbido por la muestra}}{\text{Peso de la muestra}}$$

2.2.8.6. Colorimetría

Se utilizó un colorímetro Lovibond RM-200 con un iluminante D65 y observador de 10° para medir las propiedades ópticas de las muestras sin tratar y de la harina. Los resultados se expresaron en las coordenadas de color CIELab. Además, se analizaron el croma (C*), el tono (h*) y la variación global de color (ΔE^*), según la metodología de Uribe et al. (2020).

2.2.9. Análisis Experimental

Se utilizó el software libre PSPP para analizar la varianza (ANOVA) y la prueba de rangos múltiples de Tukey. Se empleó un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$) para evaluar las diferencias entre los pretratamientos.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3 Análisis y discusión de resultados

3.1 Propiedades fisicoquímicas de los residuos y harina de coliflor

3.1.1 pH

El pH es fundamental en la calidad de la harina, ya que influye directamente en cómo actúan las enzimas, cómo se forma la estructura del gluten y cómo se descompone el almidón, y a su vez determina las características finales de los productos horneados. En este contexto, se analizó el efecto de los diferentes pretratamientos (agua, vapor y microondas), tanto en la coliflor fresca como en la harina elaborada a partir de los residuos, mismas que fueron comparadas con una muestra control no tratada.

En el caso de la coliflor fresca, se obtuvo un pH de 6,75, esto quiere decir que es un alimento ligeramente alcalino, y se encuentra dentro de su rango óptimo de 6,0-7,0 (**Hesham et al., 2025**). Este comportamiento, se debe a que, al no estar expuesta a un tratamiento térmico, su estructura celular tiende a permanecer intacta; es decir, no se ve afectada, y se limita a liberar compuestos que puedan afectar su equilibrio químico.

Por otro lado, el pretratamiento con agua en ebullición mostró un descenso de pH a 4,75 en la coliflor fresca y 5,91 en la harina. Esta acidificación se da principalmente por la liberación y la formación de ácidos orgánicos durante el proceso de ebullición. La coliflor, como otros vegetales, tienden a contener una variedad de ácidos orgánicos entre los que destacan: ácido cítrico, málico y oxálico, que se encuentran dentro de las células, y que, al romperse las paredes celulares por acción del calor, se separan o se destruyen **Picchi et al. (2020)**.

En cuanto al pretratamiento con vapor, se obtuvo un pH de 5,4 en coliflor fresca y 7,22 en la harina. Al cocinar la coliflor a vapor el contacto con el agua líquida es mínimo, por no decir casi nulo; por ende, el rompimiento celular es mínimo y los compuestos no volátiles permanecen dentro del vegetal, mientras que los ácidos volátiles tienden a evaporarse.

Con respecto al tratamiento con microondas, se obtuvo un pH de 6,84 en la harina, valor comparable al de la muestra control (6,92) y cercano al registrado en la coliflor fresca. Este resultado indica que el calentamiento rápido y focalizado de esta tecnología ocasiona un daño celular menor, evitando la liberación significativa de compuestos ácidos.

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre los tratamientos térmicos, especialmente entre el control y la muestra sometida a agua en ebullición. Según **Orhotohwo et al. (2025)**, el pH de las harinas obtenidas a partir de muestras vegetales oscila entre 5,40 y 7,51. Por otro lado, **Bressani et al. (2001)**, reportaron que la calidad tecnológica, la funcionalidad de la harina y la acidificación podría ampliar la solubilidad de las proteínas, mientras que un incremento en los valores de pH podría favorecer a una mayor estabilidad estructural.

Tabla 3.

pH de los residuos y de la harina de coliflor

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	6,75 (0,09) <i>Ba</i>	6,92 (0,008) <i>Aa</i>
Agua	4,75 (0,08) <i>Bc</i>	5,91 (0,006) <i>Ac</i>
Vapor	5,4 (0,02) <i>Bb</i>	7,22 (0,02) <i>Ab</i>
Microondas	6,65 (0,01) <i>Ba</i>	6,84 (0,08) <i>Aa</i>

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.1.2 Sólidos solubles (°Brix)

Los grados Brix representan la cantidad de azúcares que se encuentran presentes en una muestra y por lo general se expresa como el porcentaje de sacarosa (azúcar). Sin embargo, esta medida no solo indica el contenido de azúcares, sino que también ayuda a identificar la presencia de ciertos ácidos, sales y demás compuestos solubles, los cuales se encuentran dentro del tejido vegetal (**Cardona et al., 2022**).

De acuerdo con **Khathir et al. (2019)**, el contenido de sólidos solubles de la coliflor fresca oscila entre 6,1-7,7 °Brix. Los valores bajos obtenidos en esta investigación pueden darse debido a cambios de temperaturas severos a los que se sometió la coliflor para su almacenamiento.

Además, los resultados revelaron diferencias significativas entre los tratamientos en las harinas obtenidas. Por ejemplo, la harina control presentó 3,89 °Brix, mientras que el valor de esta propiedad se redujo severamente a 1,63 en la muestra tratada con agua en ebullición, lo que indica una lixiviación de azúcares y compuestos solubles durante la cocción. Por otro lado, el tratamiento con vapor aumentó los °Brix a 11,73, posiblemente por la liberación de azúcares y sólidos solubles unidos. El mayor incremento se evidenció con el tratamiento de microondas, reportando un valor de 21,89, evidenciando una alta liberación y formación de azúcares (**Soriano, 2021**).

La presencia de diferencias significativas entre los tres tratamientos (Tabla 4), indica que cada método de procesamiento da un efecto único al momento de evaluar el contenido de sólidos solubles (°Brix), y que por ende tendrá implicaciones notables para su sabor en posibles aplicaciones tecnológicas. Se observó que el pretratamiento realizado con agua en ebullición tiende a reducir los °Brix de la coliflor debido a la pérdida de azúcares en el agua (**Olguín et al., 2015**).

Tabla 4.

Sólidos solubles (° Brix) de los residuos y de la harina de coliflor

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	3,48(0,01) ^{Bc}	3,89 (0,03) ^{Ac}
Agua	2,95 (0,03) ^{Bd}	1,63 (0,05) ^{Ad}
Vapor	2,92 (0,07) ^{Bb}	11,73 (0,30) ^{Ab}
Microondas	3,18 (0,02) ^{Ba}	21,89 (0,16) ^{Aa}

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.1.3 Acidez titulable

La acidez titulable representa la concentración total de ácidos que se encuentren presentes en un producto o muestra de alimento. Sin embargo, se conoce que los ácidos orgánicos, como el cítrico, málico, láctico, tartárico y acético, forman parte de un grupo predominante de acidez que se encuentran en la mayoría de los alimentos (**Sadler & Murphy, 2010**).

Los pretratamientos aplicados a la coliflor fresca (agua en ebullición, vapor y microondas) generaron diferencias significativas en la acidez titulable. La muestra control presentó una acidez de 0,49%, mientras que la muestra tratada con agua en ebullición resultó contener la mayor acidez con un valor de 0,64%. Según **Nasrin et al. (2022)**, la acidez titulable inicial de la coliflor fresca tiene un valor de 0,25% de ácido cítrico y que depende del nivel de madurez del vegetal.

Para el caso de la harina el valor más alto de acidez se observó en la muestra control con un valor de 0,75%, mientras que para el pretratamiento con agua en ebullición resultó dar un efecto reductor. Las diferencias que existió entre los otros métodos fueron estadísticamente notables, esto demuestra que los pretratamientos alteran de forma significativa la acidez de la harina, siendo así el pretratamiento con agua en ebullición el proceso más eficaz.

Tabla 5.

Acidez titulable (% de masa de ácido sulfúrico) de los residuos y de la harina de coliflor

Pretratamientos	Fresco	Harina
	(post tratamiento)	
Control	0,49 (0,003) ^{Ba}	0,75 (0,004) ^{Aa}
Agua	0,64 (0,002) ^{Bc}	0,52 (0,005) ^{Ac}
Vapor	0,52 (0,002) ^{Bb}	0,69 (0,004) ^{Ab}
Microondas	0,44 (0,002) ^{Bd}	0,59 (0,003) ^{Ad}

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.1.4 Contenido de humedad

El análisis de esta propiedad es esencial ya que influye directamente en la calidad de la harina y tiene un impacto económico para los productores. Por ejemplo, los granos con exceso de humedad son propensos al deterioro por moho, calor, plagas y germinación (Popescu et al., 2022).

En lo referente al contenido de humedad, la coliflor fresca control mostró un 84,55 %. Sin embargo, todos los pretratamientos incrementaron su valor; por ejemplo, con agua en ebullición alcanzó un 90,44% y con vapor un 92,47%, siendo este último el que registró el mayor contenido de humedad. Este aumento sugiere que la cocción, independientemente del método, tiende a hidratar la coliflor o a facilitar la retención de agua dentro de su estructura celular. De acuerdo con bibliografía, la coliflor fresca contiene entre un 92 y 94 % de humedad (base húmeda) y puede conservarse solo por unos pocos días en condiciones normales, por lo que el secado de la coliflor puede ser una alternativa para prolongar su vida útil (Zambare et al., 2024).

Por otra parte, en la harina de residuos de coliflor se evidenció que el tratamiento control obtuvo el mayor porcentaje de humedad con un valor 12,08 (Tabla 6). Los pretratamientos agua en ebullición (9,04%) y microondas (8,05%), arrojaron valores altos; mientras que el pretratamiento realizado con vapor se pudo considerar como el más eficaz para poder reducir la humedad en las diferentes muestras de harina, presentando también la menor variabilidad en los datos.

Tabla 6.

Contenido de humedad de los residuos y de la harina de coliflor

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	84,55 (2,32) <i>Aa</i>	12,08 (1,80) <i>Ba</i>
Agua	90,44 (0,87) <i>Aa</i>	9,04 (0,47) <i>Ba</i>
Vapor	92,47 (1,98) <i>Aa</i>	7,54 (0,22) <i>Ba</i>
Microondas	89,68 (1,25) <i>Aa</i>	8,05 (0,27) <i>Ba</i>

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.1.5 Actividad de agua (a_w)

La actividad de agua (a_w) indica cuánta agua libre hay en un alimento; es decir, la que no está unida a otros componentes y puede ser usada por microorganismos o en reacciones químicas. Aunque no refleja el contenido total de agua, es clave para determinar la vida útil del producto, ya que afecta el crecimiento microbiano y los cambios en la calidad del alimento durante su almacenamiento (Ovando et al., 2023).

Como se puede observar en la **Tabla 7** la muestra control presenta un valor de a_w de 0,99, muy similar a los valores que reportan Schmidt & Fontana (2007), en un rango de 0,984-0,990.

Además, se observa el efecto de los pretratamientos aplicados, debido a que se evidenció que todos son efectivos en la reducción del nivel de actividad de agua en las muestras de harina, lo cual es fundamental para mejorar su estabilidad y poder prolongar su vida útil. Por otro lado Marynin et al. (2021), reportan valores de a_w en un rango de 0,491-0,619 para la harina de trigo, valores muy similares a los descritos en la Tabla 7 en el apartado de harina.

Tabla 7.

Actividad de agua (a_w) de los residuos y de la harina de coliflor

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	0,99 (0,02) <i>Aa</i>	0,48 (0,02) <i>Ba</i>
Agua	0,99 (0,02) <i>Ab</i>	0,33 (0,001) <i>Bb</i>
Vapor	0,99 (0,03) <i>Ab</i>	0,33 (0,007) <i>Bb</i>
Microondas	0,99 (0,02) <i>Ab</i>	0,36 (0,01) <i>Bb</i>

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pretratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.2. Propiedades fisicoquímicas de los residuos y harina de brócoli

3.2.1. pH

El pH del brócoli fresco es normalmente de 6,5 y 6,8, lo que lo hace un alimento ligeramente ácido o casi neutro. Este valor puede variar levemente según factores como la variedad, el método de cultivo y las condiciones de almacenamiento (**González et al., 2025**). En la **Tabla 8** se puede evidenciar que existen diferencias significativas entre la muestra control y la muestra sometida a agua en ebullición, siendo la muestra control la que presenta un pH más elevado. Esta disminución de pH puede atribuirse a la lixiviación de los ácidos orgánicos del vegetal con relación al medio acuoso durante la cocción.

En cuanto a la harina de residuos de brócoli, el análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas entre los pretratamientos. Específicamente, el tratamiento realizado con agua en ebullición arrojó un pH más elevado (6,9), mientras que, los tratamientos de vapor (6,72) y microondas (6,64) generaron valores de pH próximos al control (6,68), lo que sugiere que estos métodos térmicos tienen la capacidad de modificar en menor medida la acidez del producto.

Según **Vázquez et al. (2014)**, la harina de brócoli presenta un pH de 5,45, apoyando la idea de que tanto la parte del vegetal empleado como el tipo de procesamiento utilizado, influyen de forma considerable en la acidez del producto final.

Tabla 8.

pH de los residuos y de la harina de brócoli

Pretratamientos	Fresco	Harina
	(post tratamiento)	
Control	6,60 (0,22) ^{Ba}	6,68 (0,06) ^{Aa}
Agua	4,53 (0,11) ^{Bc}	6,98 (0,005) ^{Ac}
Vapor	5,73(0,30) ^{Bb}	6,72 (0,015) ^{Ab}
Microondas	6,12 (0,14) ^{Bb}	6,64 (0,011) ^{Ab}

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.2.2. Sólidos solubles (° Brix)

Los datos de la **Tabla 9**, indican que los tratamientos térmicos tienen un impacto directo en los °Brix de la harina de residuos de brócoli. El grupo control presentó el valor más bajo 2,58; mientras que el tratamiento realizado con agua en ebullición reflejó un valor de 4,57. Estos resultados indican que los métodos de procesamiento por calor concentran los sólidos solubles en la harina de residuos de brócoli, lo cual permite tener implicaciones importantes para sus propiedades tanto funcionales como nutricionales.

En comparación con los datos para los residuos de brócoli fresco se evidencia que hay de igual manera diferencias significativas, en donde para la muestra de residuos sometida al proceso de microondas obtuvo un valor de 3,06; esto quiere decir que es donde más azúcares se liberó al igual que la harina tratada por el mismo pretratamiento, esto se da principalmente porque se le atribuye especialmente por la reducción del contenido de agua ocasionada por el calentamiento **(Fernández et al., 2008)**.

Tabla 9.

Sólidos solubles (° Brix) de los residuos y de la harina de brócoli.

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	2,17 (0,02) <i>Bd</i>	2,58 (0,02) <i>Ad</i>
Agua	2,18 (0,02) <i>Bc</i>	4,57 (0,03) <i>Ac</i>
Vapor	2,99 (0,01) <i>Bb</i>	21,77 (0,25) <i>Ab</i>
Microondas	3,06 (0,04) <i>Ba</i>	22,92 (0,07) <i>Aa</i>

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.2.3. Acidez titulable

La calidad postcosecha de frutas y hortalizas está favorablemente relacionada con su concentración de acidez titulable. Los cambios en dicha concentración pueden deberse al proceso respiratorio del brócoli, el cual implica un equilibrio metabólico entre ácidos orgánicos y carbohidratos **(Guo et al., 2024)**.

La aplicación de pretratamientos térmicos como ebullición, cocción al vapor y microondas provocó modificaciones significativas en los niveles de acidez titulable de los residuos de brócoli. El pretratamiento realizado con agua en ebullición generó un aumento considerable en este parámetro (1,005% frente a 0,62% del grupo control).

Por otra parte, se observaron diferencias significativas en la acidez titulable de la harina de residuos de brócoli según el pretratamiento aplicado. El tratamiento con microondas resultó en la mayor acidez 1,48%, mientras que el tratamiento de ebullición produjo la menor con un valor de 0,53%.

Tabla 10.

Acidez titulable de los residuos y de la harina de brócoli.

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	0,62 (0,002) ^{Ba}	0,90 (0,004) ^{Aa}
Agua	1,005 (0,002) ^{Bc}	0,53 (0,03) ^{Ac}
Vapor	0,82 (0,002) ^{Bb}	1,03 (0,002) ^{Ab}
Microondas	0,82 (0,002) ^{Bd}	1,48 (0,004) ^{Ad}

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.2.4. Contenido de humedad

Los resultados del análisis de humedad en brócoli fresco, comparado con distintos tratamientos térmicos, muestran variaciones notables en su contenido de agua. El brócoli fresco control registró un 86,43% de humedad, mientras que la muestra tratada con agua en arrojó el porcentaje de humedad más elevado (89,03%), lo que sugiere una absorción de agua por parte del vegetal durante la cocción. En contraste, las microondas produjeron el menor porcentaje de humedad (84,44%), incluso ligeramente inferior al control, posiblemente debido a la evaporación eficiente del agua durante este proceso.

Para el caso de las muestras de harina de residuos de brócoli se evidenció que existen diferencias significativas en el contenido de humedad dependiendo del pretratamiento térmico aplicado.

La muestra control obtuvo el mayor valor de humedad con 10,44 %, mientras que la muestra sometida al proceso de microondas mostró el valor más bajo con 6,28 %, donde se recalca la alta eficiencia de dicho tratamiento para reducir el contenido de agua. Las muestras de harina tratadas con ebullición (7,26 %) y vapor (7,12 %) sufrieron una disminución en la humedad en comparación con la muestra control, aunque en menor medida que el tratamiento por microondas, esto se origina por la suspensión parcial de agua la cual está ligada a la cocción en medios que sean húmedos. De tal forma se sabe que un menor contenido de humedad, como el logrado por el tratamiento con microondas, tiende a ayudar a la conservación y reduce el riesgo de deterioro microbiológico durante el proceso de almacenamiento.

Tabla 11.

Contenido de humedad de los residuos y de la harina de brócoli.

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	86,43 (1,41) <i>Aa</i>	6,49 (0,92) <i>Ba</i>
Agua	89,03 (1,34) <i>Aa</i>	5,33 (0,93) <i>Ba</i>
Vapor	85,57 (1,36) <i>Aa</i>	5,71 (0,26) <i>Ba</i>
Microondas	84,44 (1,10) <i>Aa</i>	8,37 (0,86) <i>Ba</i>

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.2.5. Actividad de agua

La determinación de la actividad de agua (a_w) del brócoli fresco evidenció que no existen diferencias significativas entre los pretratamientos térmicos. Según **Tangkham (2019)**, el brócoli hervido presenta una actividad de agua de 0,98, similar a los reportados en esta investigación.

En cuanto a la actividad de agua de la harina se observaron diferencias significativas en los valores de a_w . El tratamiento con vapor obtuvo la a_w más baja con un valor de 0,30, en comparación con la muestra sometida a agua en ebullición (0,38). Estas variaciones proponen que cada tratamiento térmico altera la estructura del alimento de manera diferente, afectando así la liberación de agua.

Datos reportados por **Mohammadi et al. (2020)**, indican que en los productos secos, los dos aspectos más cruciales a analizar para garantizar la seguridad y calidad alimentaria de los productos son el contenido de humedad residual y la actividad del agua, deben ser bajas y la actividad máxima del agua debe ser 0,6 o inferior.

Tabla 12.

Actividad de agua (a_w) en residuos y harina de brócoli

Pretratamientos	Fresco (post tratamiento)	Harina
Control	0,98 (0,002) <i>Abc</i>	0,33 (0,005) <i>Bbc</i>
Agua	0,99 (0,002) <i>Aa</i>	0,38 (0,01) <i>Ba</i>
Vapor	0,98 (0,002) <i>Ac</i>	0,30 (0,03) <i>Bc</i>
Microondas	0,98 (0,0008) <i>Aab</i>	0,37 (0,01) <i>Bab</i>

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.3. Colorimetría de los residuos y de la harina de coliflor y brócoli

El color es frecuentemente interpretado como un atributo sensorial de carácter psicológico que influye en la percepción del consumidor y actúa como un parámetro decisivo en la selección de productos alimentarios. En el caso de productos vegetales, este parámetro se asocia comúnmente con el estado de madurez y la aptitud del producto para su consumo. No obstante, la relación entre las características cromáticas y la calidad natural del alimento no siempre es confiable, pues tienden a depender de varios factores (**Rettig & Hen, 2014**).

Para el caso de la coliflor tanto en fresco como harina tienden a poseer valores distintos en a^* , en el caso del fresco presenta colores con una tonalidad verde, ya que estos datos están en los ángulos de 90° a 180° , donde la tonalidad tiende a ser verde y escasamente amarilla (**Valdes et al., 2023**). Además, con respecto al parámetro b^* , que denota la intensidad del color amarillo, se observaron los valores más altos en la muestra tratada térmicamente en microondas, seguida por la sometida a agua en ebullición. Esto podría correlacionarse con la concentración de pigmentos amarillos presentes en cada muestra (**Dutta & Nath, 2024**).

Para el caso del brócoli, con el pretratamiento de agua en ebullición y vapor se lograron valores más altos de a^* (23,38 y 25,98, respectivamente). Esto se da principalmente por el proceso brusco al que fue sometida esta muestra degradando su color y dando una tonalidad más opaca. Según **Valverde et al. (2019)**, la coloración amarillenta de la cabeza floral es el principal factor crucial de deterioro de la calidad durante el almacenamiento postcosecha de brócoli. En contraste, los tratamientos térmicos aplicados en microondas y la cocción en agua resultan en una menor luminosidad. Este fenómeno podría atribuirse a la degradación de compuestos sensibles, según lo sugerido por **Ngaha Damndja et al. (2024)**.

Tabla 13.*Análisis de colorimetría en muestras de residuos y harina de coliflor y brócoli*

Coliflor						
Fresco						
Pretratamiento	<i>L</i>*	<i>a</i>*	<i>b</i>*	<i>C</i>*	<i>h_{ab}</i>	ΔE
Control	89,68 (0,82) ^{Aa}	−3,23 (0,70) ^{Ba}	22,05 (1,42) ^{Ba}	22,29 (1,4)0 ^{Ba}	99,33 (0,16) ^{Aa}	
Agua	83,40 (3,74) ^{Aa}	−4,43 (1,94) ^{Bb}	17,28 (3,15) ^{Bc}	17,97 (2,70) ^{Bc}	105,17 (8,17) ^{Ab}	
Vapor	74 (1,96) ^{Aa}	−4,45 (0,82) ^{Bb}	18,40 (1,56) ^{Bcb}	18,95 (1,39) ^{Bcb}	102,43 (2,27) ^{Ab}	
Microondas	79,28 (3,11) ^{Aa}	−2,88 (1,04) ^{Bb}	23,50 (4) ^{Bba}	23,70 (3,94) ^{Bba}	98,28 (2,36) ^{Ab}	
Harina						
Control	66,28 (3,72) ^{Ba}	8,15 (0,90) ^{Aa}	25,13 (1,43) ^{Aa}	26,43 (1,19) ^{Aa}	71,79 (3,13) ^{Ba}	26,32 (3,15) ^a
Agua	74,25 (2,69) ^{Ba}	4,70 (0,78) ^{Ab}	18,53 (1,61) ^{Ac}	19,13 (1,47) ^{Ac}	76,07 (3,58) ^{Bb}	13,65 (5,13) ^b
Vapor	73,23 (0,69) ^{Ba}	3,53 (0,25) ^{Ab}	19,25 (0,66) ^{Ac^b}	19,57 (0,60) ^{Ac^b}	80 (0,84) ^{Bb}	8,78 (1,28) ^b
Microondas	78,18 (1,50) ^{Ba}	4,35 (0,39) ^{Ab}	21,90 (0,66) ^{Aba}	22,33 (0,66) ^{Aba}	78,58 (1,15) ^{Bb}	8,67 (1,66) ^b
Brócoli						
Fresco						
Pretratamiento	<i>L</i>*	<i>a</i>*	<i>b</i>*	<i>C</i>*	<i>h_{ab}</i>	ΔE
Control	37,60 (1,82) ^{Bc}	−4,30 (1,76) ^{Bb}	16,50 (2,25) ^{Bb}	17,08 (2,59) ^{Ab}	104,19 (4,26) ^{Ac}	
Ebullición	30,70 (0,69) ^{Bd}	−13,93 (1,61) ^{Bc}	22,03 (1,16) ^{Bb}	26,08 (1,76) ^{Aa}	122,23 (2,01) ^{Aa}	
Vapor	41,47 (5,14) ^{Bb}	−8,17 (4,34) ^{Bb}	18,87 (3,61) ^{Bb}	20,69 (4,85) ^{Aba}	112,34 (7,95) ^{Ab}	
Microondas	64,90 (0,44) ^{Ba}	−2,53 (0,38) ^{Ba}	26,33 (0,38) ^{Ba}	26,46 (0,47) ^{Aa}	95,49 (0,74) ^{Ad}	
Harina						
Control	64,20 (1,71) ^{Ac}	−3 (0,36) ^{Ab}	24,10 (1,57) ^{Ab}	24,29 (1,60) ^{Ab}	97,08 (0,45) ^{Bc}	27,87 (3,33) ^{Aa}
Ebullición	59,23 (2,91) ^{Ad}	−5,27 (0,45) ^{Ac}	21,77 (0,76) ^{Ab}	22,40 (0,79) ^{Aa}	103,60 (1,04) ^{Ba}	29,83 (2,42) ^{Aa}
Vapor	69,37 (0,25) ^{Ab}	−4,53 (0,21) ^{Ab}	25,30 (0,17) ^{Ab}	25,70 (0,21) ^{Aba}	100,16 (0,39) ^{Bb}	29,25 (5,28) ^{Aa}
Microondas	62,70 (0,85) ^{Aa}	1,10 (0,26) ^{Aa}	24,33 (0,47) ^{Aa}	24,36 (0,47) ^{Aa}	87,41 (0,63) ^{Bd}	4,76 (0,33) ^{Ab}

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.4. Propiedades tecnológicas de las harinas de residuos de coliflor y brócoli

3.4.1. Densidad aparente

La densidad aparente en harinas es crucial para entender cómo se comportan al ser manejadas, transportadas y envasadas. Sirve para predecir el volumen que ocupará una determinada masa de harina, lo cual es fundamental para el diseño de equipos de procesamiento, la optimización del espacio de almacenamiento y el control de calidad durante el empaquetado (**Ramirez & Wanderlei, 2012**).

El análisis de varianza (ANOVA) revela diferencias significativas en la densidad aparente de las harinas de residuos de brócoli y coliflor, dependiendo del tratamiento aplicado. Para la harina de residuos de brócoli, el control y el vapor resultaron en densidades de 0,61 y 0,68 g/cm³, respectivamente, siendo las más bajas y similares estadísticamente. En contraste, para la harina de residuos de coliflor, el microondas resultó en la densidad más alta (2,92 g/cm³) frente al resto de tratamientos que reflejaron densidades más bajas.

Tabla 14.

Densidad aparente (g/cm³) de las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Pretratamientos	Brócoli	Coliflor
Control	0,68 (0,001) ^a	1,72 (0,02) ^a
Agua	0,72 (0,02) ^b	0,86 (0,1) ^b
Vapor	0,61 (0,01) ^a	0,79 (0,004) ^b
Microondas	0,68 (0,002) ^b	2,92 (0,04) ^a

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.4.2. Densidad ajustada

Las propiedades reológicas de las harinas, como su densidad ajustada, son cruciales porque afectan directamente la calidad sensorial del producto final y la eficiencia en el proceso de envasado y manipulación.

La densidad es una medida práctica y fundamental en el control de calidad, ya que permite determinar la viabilidad de mezclar materias primas y su capacidad para ser contenidas en un recipiente predeterminado (**Cerezal et al., 2011**).

Dentro del estudio para las harinas de coliflor y brócoli, la densidad ajustada es significativamente influenciada por los tratamientos térmicos empleados. En la harina de brócoli, el vapor resultó en la menor densidad ($0,57\text{g/cm}^3$), mientras que la ebullición y el microondas mostraron valores ligeramente superiores al control. Sin embargo, la harina de coliflor exhibió una mayor variabilidad, con el control presentando la densidad más alta ($1,63\text{ g/cm}^3$). Dentro de la **Tabla 15** se visualiza que el tratamiento por microondas presentó una densidad ajustada de la harina de coliflor de $2,75\text{ g/cm}^3$. Estas diferencias estadísticamente significativas en la densidad ajustada son cruciales, ya que impactan directamente las propiedades tecno-funcionales de las harinas en aplicaciones alimentarias.

Dentro del estudio realizado por **Zelaya et al. (2024)**, se reporta un valor de densidad ajustada de $0,76\text{ g/cm}^3$ acercándose al valor de densidad de coliflor obtenida con el pretratamiento vapor; sin embargo, otro estudio realizado por **Blandón & Larios (2019)**, mencionan un valor de $0,71\text{ g/cm}^3$.

Tabla 15.

Densidad ajustada (g/cm^3) de las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Pretratamientos	Brócoli	Coliflor
Control	$0,63 (0,004)^a$	$1,63 (0,01)^a$
Agua	$0,66 (0,02)^b$	$0,82 (0,09)^b$
Vapor	$0,57 (0,01)^a$	$0,73 (0,008)^b$
Microondas	$0,64 (0,002)^b$	$2,75 (0,03)^a$

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.4.3. Porosidad

Estudios similares como el de **Gremaqui et al. (2021)**, indican que la harina de quinua hidrolizada se disuelve fácilmente en líquidos gracias a su buena porosidad y capacidad de dispersión, lo que la hace ideal para mezclar en bebidas o preparaciones líquidas, los valores obtenidos de porosidad para este tipo de harina fueron de 61,13%. Se empleó también harina de haba, la cual mostró un contenido porcentual menor, específicamente del 29,50%. En consecuencia, los datos presentados en la **Tabla 16** difieren de los obtenidos en el estudio mencionado, debido a que los tratamientos térmicos, como la ebullición, el vapor y las microondas, influyen directamente en la porosidad de las harinas al modificar sus componentes principales: el almidón y las proteínas.

La ebullición induce la gelatinización del almidón, lo que resulta en la formación de geles que pueden disminuir la porosidad al densificar la estructura de la harina. Por otro lado, el vapor, al proveer un ambiente de alta humedad, promueve una gelatinización más completa y puede contribuir a una mejora en el volumen y la uniformidad de la porosidad, dependiendo de la aplicación específica. En contraste, las microondas calientan rápidamente el contenido de agua en la harina, lo que acelera la gelatinización del almidón y provoca la desnaturalización de las proteínas. Este proceso puede generar una estructura final más porosa o, alternativamente, más quebradiza (**Santacruz et al., 2011**).

En el brócoli, la muestra control y los tratamientos ebullición y vapor no mostraron diferencias significativas en la porosidad, con valores de 7,67% para control y ebullición, y 6,83% para vapor. Sin embargo, el tratamiento con microondas presentó una porosidad significativamente menor (5,17%).

Por otro lado, en la coliflor, el tratamiento con vapor resultó en la mayor porosidad (7,67%), diferenciándose significativamente de los tratamientos control (5,17%) y ebullición (5,33%). Finalmente, el tratamiento con microondas mostró una porosidad de 6%, sin diferencias significativas con otros tratamientos.

Tabla 16.

Porosidad de las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Pretratamientos	Brócoli	Coliflor
Control	7,67 (0,006) ^a	5,17 (0,003) ^b
Agua	7,67 (0,006) ^a	5,33 (0,01) ^b
Vapor	6,83 (0,003) ^a	7,67 (0,006) ^a
Microondas	5,17 (0,003) ^b	6 (0,02) ^{ba}

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.4.4. Tamaño de partícula

La distribución del tamaño de partícula de la harina juega un papel crucial en la determinación de las propiedades funcionales del almidón y la proteína, e influye en las propiedades nutricionales, lo que finalmente se refleja en la calidad del producto final (**Islam et al., 2024**).

Dentro de la **Figura 1** se puede observar los diferentes #mesh utilizados para medir el tamaño de partícula de cada una de las harinas tanto para brócoli como para coliflor, los cuales fueron de 100 μm , 200 μm y 300 μm . También se observa el porcentaje de harina retenida en cada uno de los tamices.

Para el caso de la muestra de coliflor control se observa que tiene la mayor cantidad retenida de harina en el tamiz de 300 μm con un porcentaje de 52,95%. Para el caso de la harina de residuos de brócoli tratada con vapor se tiene que en su base retuvo mayor cantidad de harina con un valor de 35,94%, esto se debe porque dicha muestra presentó partículas más pequeñas a diferencia de la harina de residuos de coliflor que es más homogénea y sin tendencia a la formación de grumos.

Según **Kent & Evers (2018)**, para la elaboración de pastas alimenticias, dichas harinas deben poseer una granulometría de tamaños entre 150 μm y 450 μm . Por otro lado, una harina con alta uniformidad de granulometría promueve una mejor calidad sensorial de textura, sabor y apariencia visual al producto final, ya que absorbe el agua de manera homogénea, promueve una cocción uniforme (**Bezerra et al., 2018**).

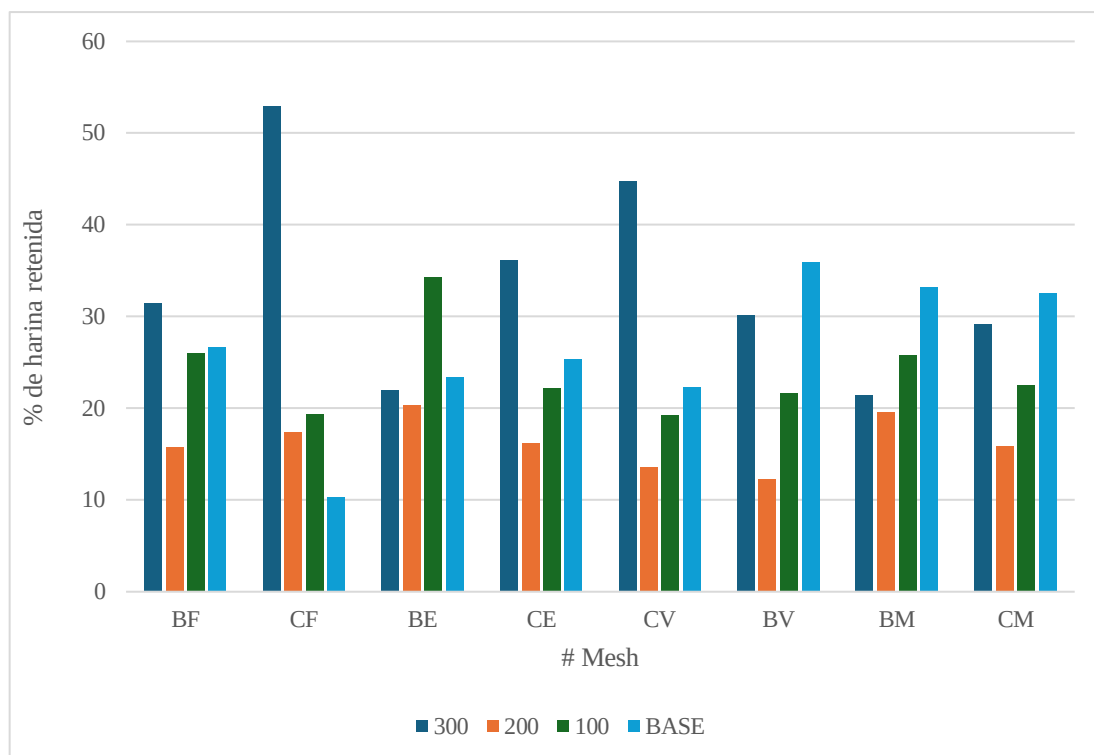


Figura 1.

Tamaño de partícula de las harinas de residuos de brócoli y coliflor.

Donde: **BF**: brócoli control; **CF**: coliflor control; **BE**: brócoli en agua en ebullición; **CE**: coliflor en agua en ebullición; **BV**: brócoli vapor; **CV**: coliflor vapor; **BM**: brócoli microondas; **CM**: coliflor microondas.

3.4.5. Higroscopicidad

Las sales de sodio, especialmente NaCl , NaNO_3 y Na_2SO_4 , tienen la capacidad para absorber agua (higroscopicidad), la cual influye directamente en el ciclo hidrológico, por esa razón para las harinas mencionadas, dichas sales son higroscópicas; es decir, captan agua del ambiente. En una harina, esta propiedad influye directamente en la humedad del producto, especialmente en condiciones de alta humedad relativa ($\text{HR} > 75\%$) (H. Zhang et al., 2020).

Para esta propiedad se llevó a cabo en intervalos de 3 tiempos como son: 24 horas, 96 horas y 168 horas, donde es evidente que al acabo de las 168 horas van a absorber más humedad del ambiente todas las muestras de harinas, ya que están expuestas directamente con la sal de sodio por más tiempo.

Para el caso del brócoli a las 24 horas, la harina sin tratamiento previo BF (brócoli control) y BE (brócoli a ebullición) presentan mayor absorción de humedad a diferencia de los otros tratamientos para esta harina, ya que depende netamente del tratamiento térmico que se aplicó previo a realizar dicha propiedad.

Dentro de la **Figura 2** se puede observar el nivel de absorción de humedad al ambiente de cada una de las muestras de harina de residuos de coliflor y de brócoli. Para el caso de la harina de residuos de coliflor por los 3 tratamientos se evidenció que tiene una mayor absorción de humedad al ambiente en comparación con la harina de los residuos de brócoli, que presenta una menor absorción de humedad, esto se debe principalmente porque la coliflor podría contener una mayor proporción de azúcares simples o polisacáridos que tienen una alta afinidad por el agua.

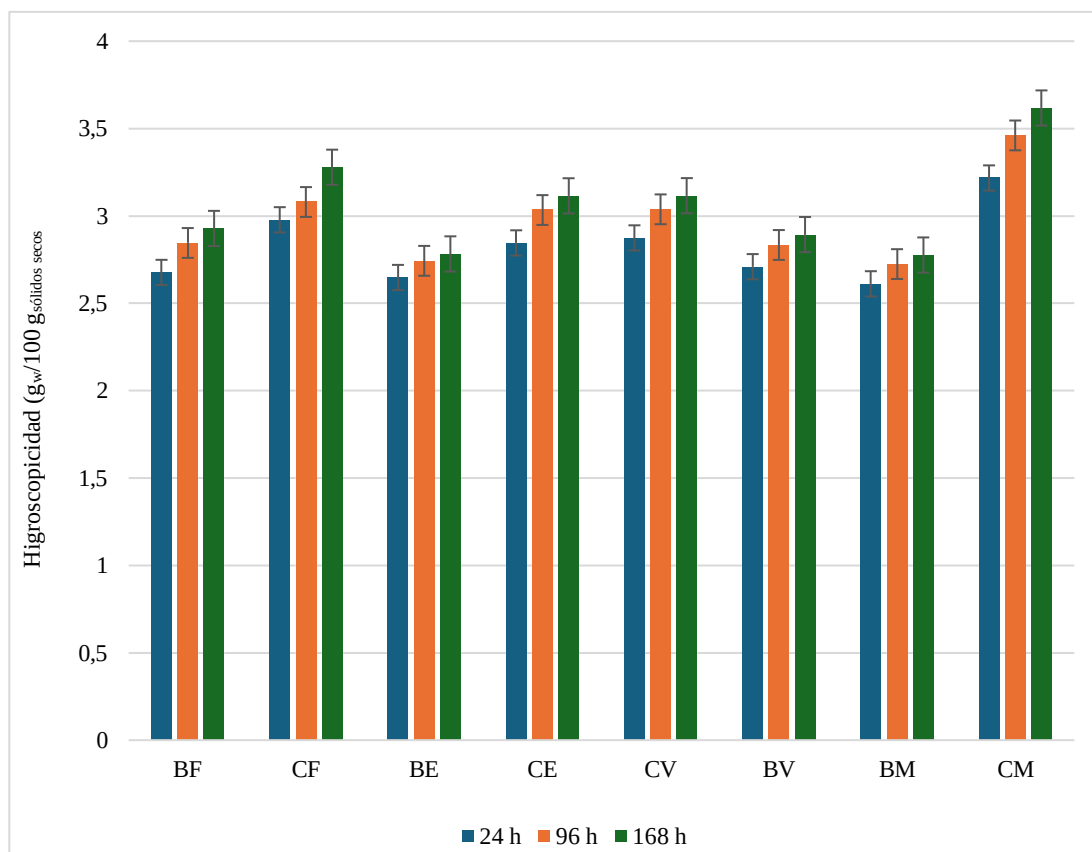


Figura 2.

Higroscopicidad de las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Donde: **BF**: brócoli control; **CF**: coliflor control; **BE**: brócoli en agua en ebullición; **CE**: coliflor en agua en ebullición; **BV**: brócoli vapor; **CV**: coliflor vapor; **BM**: brócoli microondas; **CM**: coliflor microondas.

3.4.6. Índice de absorción de agua

El índice de absorción de agua (WAI) cuantifica la cantidad máxima de agua que un gramo de harina puede absorber a una temperatura específica. Un incremento en el WAI está relacionado con una mayor lixiviación y solubilidad de la amilosa, además de una reducción en la estructura cristalina del almidón. Las harinas que muestran una alta absorción de agua a menudo poseen componentes más hidrófilos, como polisacáridos (Chandra et al., 2015).

Como se puede apreciar en la **Tabla 17** los pretratamientos influyen de manera variable en la capacidad de absorción de agua (WAI) de las harinas de residuos de brócoli y coliflor. En la harina de brócoli los pretratamientos realizados con microondas y vapor evidenciaron altos valores de WAI, en comparación con el control.

Por otro lado, en la harina de coliflor tratada con microondas también resultó en el WAI más alto, mientras que el tratamiento realizado con agua en ebullición redujo drásticamente el WAI en comparación con el control y vapor. Las variaciones en el WAI entre diferentes harinas pueden atribuirse a distintas concentraciones de proteínas, su grado de interacción con el agua y las características que han adquirido según su origen (Navia et al., 2013).

Tabla 17.

Índice de absorción de agua (WAI) de las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Pretratamientos	WAI	
	Brócoli	Coliflor
Control	2,63 (0,03) ^a	3,07 (0,04) ^a
Agua	2,96 (0,17) ^b	4,13 (0,37) ^b
Vapor	5,63 (0,05) ^a	4,07 (0,03) ^b
Microondas	3,54 (0,52) ^b	5,55 (0,26) ^a

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.4.7. Índice de solubilidad de agua

Los resultados obtenidos del análisis de la solubilidad en agua (WSI) de harinas de residuos de brócoli y coliflor revelan diferencias significativas en función del tratamiento térmico aplicado.

En las harinas de residuos de brócoli, el WSI basal fue de 25,26 para el grupo control, mientras que los tratamientos de ebullición (46,34) y vapor (51,19) indujeron un incremento en la solubilidad, siendo el tratamiento de microondas el que produjo el mayor WSI (67,59).

Por otro lado, en las harinas de residuos de coliflor, el WSI inicial del grupo control fue de 43,12. Notablemente, el tratamiento de ebullición provocó una disminución pronunciada en el WSI (16,40), mientras que el vapor mantuvo un valor similar (43,30) y el tratamiento con microondas incrementó la solubilidad a 50,75.

Estos hallazgos sugieren que el tratamiento con microondas es consistentemente el más efectivo para mejorar la solubilidad en agua en ambos tipos de harinas de residuos. Sin embargo, la ebullición ejerce un efecto diferencial, disminuyendo la solubilidad en la coliflor mientras la aumenta en el brócoli. Estas variaciones son de considerable importancia para la comprensión de las propiedades funcionales de estos subproductos y su potencial aplicación en diversas industrias.

Los tratamientos térmicos como la ebullición, el vapor y el microondas alteran la solubilidad de las harinas de residuos de brócoli y coliflor de diferentes maneras; en general, el microondas tiende a aumentar la solubilidad en ambos casos, mientras que la ebullición puede tener efectos opuestos según el tipo de residuo.

Además de los tratamientos, la composición de la harina también influye: la solubilidad disminuye si hay un alto contenido de almidón total o un mayor índice de gluten, pero aumenta cuando la proporción de amilosa (un componente del almidón) es mayor en relación con la amilopectina (**Zhang, 2020**).

Tabla 18.

Índice de solubilidad de agua (WSI) de las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Pretratamientos	WSI	
	Brócoli	Coliflor
Control	25,26 (3,52) ^a	43,12 (0,05) ^a
Agua	46,34 (0,33) ^b	16,40 (0,38) ^b
Vapor	51,19 (0,19) ^a	43,30 (0,01) ^b
Microondas	67,59 (0,53) ^b	50,75 (0,30) ^a

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas ($p < 0,05$) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

3.4.8. Determinación del índice de absorción de aceite (FAI)

La cantidad de aceite que un alimento absorbe al freírse es fundamental, pues afecta de manera directa sus propiedades organolépticas. Esto significa que el sabor, color y aroma del producto final dependen en gran medida de cuánto aceite contenga y de qué tipo sea (Montes et al., 2016).

Dentro de la Tabla 19 se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los pretratamientos, tanto para la harina de residuos de coliflor como de brócoli. Los valores reducidos de absorción de aceite en la harina de residuos de brócoli sometida a ebullición y microondas, en contraste con los tratamientos control y vapor, sugieren que estos métodos térmicos alteran significativamente la estructura de las biomoléculas presentes, principalmente proteínas y polisacáridos. Se respalda que la ebullición y el microondas, al ser procesos más intensos, podrían inducir una desnaturalización o reorganización más acentuada de las proteínas y polisacáridos, disminuyendo la disponibilidad de sitios hidrofóbicos y la porosidad de la matriz de la harina, lo que resulta en una menor capacidad para retener aceite.

Para la harina de brócoli, los tratamientos en donde menos se absorben aceite es en ebullición y microondas donde sus valores de absorción de aceite son relativamente iguales con 0,78. Por otro lado, para la harina de coliflor el tratamiento menos efectivo

para absorción de aceite es por vapor, dando un valor muy bajo de 0,72; seguido del proceso de ebullición con 0,73; los demás valores tienden a ser superiores, es decir son óptimos para este proceso

Según datos reportados por **García et al. (2025)**, donde realizan un estudio sobre las propiedades físicas de tortillas de maíz horneadas y tortillas de maíz fortificadas con polvo de subproductos de brócoli, se obtienen valores entre 0,72 y 0,89, comparables con los de este estudio.

Tabla 19.
Índice de absorción de aceite (FAI) en las harinas de residuos de brócoli y coliflor

Pretratamientos	FAI	
	Brócoli	Coliflor
Control	0,90 (0,033) ^a	0,84 (0,001) ^a
Agua	0,78 (0,005) ^b	0,73 (0,02) ^b
Vapor	0,87 (0,019) ^a	0,72 (0,02) ^b
Microondas	0,78 (0,004) ^b	0,81 (0,003) ^a

Diferentes letras mayúsculas en las columnas representan diferencias significativas (p < 0,05) en el estado (fresco y harina), y letras minúsculas en las columnas representan diferencias significativas (p < 0,05) por pre-tratamiento (control, ebullición, vapor, microondas).

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La evaluación del efecto de los tratamientos previos al secado en las propiedades tecnológicas de las harinas obtenidas de residuos de coliflor y brócoli ha demostrado la importancia crítica de estas intervenciones para optimizar las características funcionales de los productos finales. Los resultados de este estudio permiten comprender mejor cómo factores como el tipo de tratamiento, las condiciones de secado y la naturaleza de la materia prima influyen en sus propiedades tanto físicas como químicas.
- Las propiedades tecnológicas de las harinas de residuos de brócoli y coliflor se vieron afectadas al ser sometidas a pretratamientos térmicos. El tratamiento con microondas ayudó a una mejor capacidad de absorción de agua, esencial para la elaboración de alimentos de panificación. Por otro lado, se obtuvo que el pretratamiento por vapor mostró mejoras en cuanto a la propiedad de solubilidad en agua, lo cual es fundamental en la formulación de sopas instantáneas. Sin embargo, en el tratamiento de agua en ebullición evidenció que produce una cantidad alta de lixiviados durante la cocción, afectando a varias propiedades tecnológicas de las harinas antes mencionadas.
- De forma general se evaluó que el tratamiento térmico que mejor conserva las propiedades tecnológicas de las harinas de residuos de brócoli y coliflor, fue el tratamiento con microondas, seguido por el tratamiento al vapor, debido a que evidenciaron óptimas propiedades fisicoquímicas y tecnológicas, óptimas para que sean utilizadas en la elaboración de productos que se hagan en base a estas harinas.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un análisis sensorial de las muestras de las harinas hechas a partir de los residuos de coliflor y brócoli, para evidenciar la aceptabilidad de dichas muestras.

- Se recomienda elaborar un producto con las harinas trabajadas a partir del mejor pretratamiento, de tal forma que se pueda evaluar sus propiedades y verificar que este sea óptimo en sus funcionalidades.
- Expandir el análisis realizado mediante pruebas más estructuradas como son las aplicaciones de Mixolab o RVA para poder detallar más a fondo el comportamiento y sus propiedades tecnológicas de dichas harinas.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Arellano, J. (2020). Evaluación del desarrollo morfológico de diferentes variedades de brocoli (*brassica oleracea* var. *Itálica*) bajo un sistema hidropónico NFT.
- Baladia, E., Moñino, M., Martinez, R., Miserachs, M., & Russolillo, G. (2020). Área de Gestión del Conocimiento Científico de la Academia Española de Nutrición y Dietética.
- Bezerra, M. J. B. L., Damasceno, K. J., Moreira, R. S. D. R., Figueiredo, E. A. T. D., Rocha, M. D. M., & Hashimoto, J. M. (2018). Chemical, granulometric and technological characteristics of whole flours from commercial cultivars of cowpea. *Revista Caatinga*, 31(1), 217-224. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n125rc>
- Blandón, S. L., & Larios, X. J. (2019). Evaluación de sustitución parcial de harina de trigo por harina de frijol *Phaseolus Vulgaris* en la formulación de tortas. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 9(1), 35-44. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v9i1.8995>
- Bressani, R., Turcios, J. C., Reyes, L., & Mérida, R. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 309-313.
- Cano, J. E. (2016). La influencia del almacenamiento y envasado sobre los parámetros de calidad físico-químicos del brocoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Cardona, J. L., Castro, E., & Suárez, E. A. (2022). Los grados brix como herramienta para determinar el potencial nutricional en forrajes (1.^a ed.). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7405798>
- Cerezal, P., Urtuvia, V., Ramírez, V., & Arcos, R. (2011). <https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.1.4939>

- Cevallos, L., Aguirre, F., Chiriboga, J., & Robalino, J. (2021). Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo, 2(3), Article 3.
- Del Pino, M. (2016). El cultivo del brócoli. Contacto Rural, no. 3 (2016). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69028>
- Duque, P. I. V., & Murillo, A. Á. (2021). Análisis de los canales de comercialización del brócoli en Ecuador. Revista Tecnológica - ESPOL, 33(3), Article 3. <https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.857>
- Fernández, C., García, M., Tineo, Y., & Altomare, V. (2008). Efecto de la irradiación con microondas sobre las propiedades sensoriales de algunos productos cárnicos y marinos. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, 31(ESPECIAL), 130-150.
- Frutos, V., Pérez, M., & Risco, D. (2016). Efecto de diferentes mulches orgánicos sobre el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *Itálica*) en Ecuador. Idesia (Arica), ahead, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016005000038>
- García, N., Libero, C., Frouzaki, N., Livigni, C., & Aguayo, E. (2025). Sustainable Fortification of Corn Tortillas with Broccoli By-Products. Foods, 14(5), 799. <https://doi.org/10.3390/foods14050799>
- Gonzalez, C. N., Aguirre, R. Y., Asca, J. A., Aguilar, C. N., & Soriano-Melgar, L. de A. A. (2025). Enzyme-assisted recovery of phenolic compounds from broccoli waste with antioxidant and antihyperglycemic activities evaluated through in vitro and molecular docking studies. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 67, 103632. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103632>
- Gremasqui, A., Giménez, M., Lobo, M., & y Sammán, N. (2021). Propiedades químicas y físicas de harinas proteicas obtenidas por hidrólisis enzimática. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA 7, 229-236.
- Guo, X., Liu, W., Zhang, L., Zhu, X., Wang, X., & Mi, S. (2024). Improvement of Storage Quality of Broccoli Using a Cold-Shock Precooling Way and the Related Molecular Mechanisms. Foods, 13(21), 3401. <https://doi.org/10.3390/foods13213401>

- Gutiérrez, P. (2020). La coliflor como sustituto de otras harinas. Food & Wine en Español. <https://foodandwineespanol.com/actualidad/coliflor-sustituto-de-otras-harinas/>
- Gutierrez, Y. (2016). Elaboración de un dip vegetal a partir de sub—Productos de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) y zanahoria (*Daucus carota*), como alternativa para el consumo.
- Hegazy, A., & Ammar, M. (2019). Utilization of cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. *Botrytis*) stem flour in improving Balady bread quality. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 44(1), 112-118. <https://doi.org/10.21608/ajar.2019.59703>
- Hesham, R., Abd El-Aziz, H., & El-Shaheny, R. (2025). Utility of cauliflower waste/garlic biomass admixture for green synthesis of multi-doped CQDs as a fluorescent optosensor for Fe³⁺ in different matrices. *Microchemical Journal*, 208, 112322. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.112322>
- Islam, M. A., Kulathunga, J., Ray, A., Ohm, J.-B., & Islam, S. (2024). Particle size reduction influences starch and protein functionality, and nutritional quality of stone milled whole wheat flour from hard red spring wheat. *Food Bioscience*, 61, 104612. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104612>
- Kaczmarek, J. L., Liu, X., Charron, C. S., Novotny, J. A., Jeffery, E. H., Seifried, H. E., Ross, S. A., Miller, M. J., Swanson, K. S., & Holscher, H. D. (2019). Broccoli consumption affects the human gastrointestinal microbiota. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 63, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.09.015>
- Kent, N. L., & Evers, A. D. (2018). *Technology of Cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*. Woodhead Publishing.
- Khathir, R., Agustina, R., Nurba, D., Syafriandi, & Putra, D. (2019). Shelf-life estimation of cauliflower based on total soluble solids by using the Arrhenius and Q₁₀ approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 365(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/365/1/012006>

- Maldonado, R., & Pacheco, E. (2003). Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica oleraceae* L var. *Italica* Plenck) y coliflor (*Brassica oleraceae* L var. *Botrytis* L). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(3), 306-319.
- Marynin, A., Pasichny, V., Litvynchuk, S., Khomichak, L., Kuznietsova, I., & Vysotska, S. (2021). Influence of water activity on the properties of wheat flour. *Food Technology*.
- Mohammadi, X., Deng, Y., Matinfar, G., Singh, A., Mandal, R., & Pratap-Singh, A. (2020). Impact of Three Different Dehydration Methods on Nutritional Values and Sensory Quality of Dried Broccoli, Oranges, and Carrots. *Foods*, 9(10), 1464. <https://doi.org/10.3390/foods9101464>
- Montes, N., Millar, I., Provoste, R., Martínez, N., Fernández, D., Morales, G., & Valenzuela B, R. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista chilena de nutrición*, 43(1), 87-91. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000100013>
- Nasrin, T. A. A., Yasmin, L., Arfin, Most. S., Rahman, Md. A., Molla, M. M., Sabuz, A. A., & Afroz, M. (2022). Preservation of postharvest quality of fresh cut cauliflower through simple and easy packaging techniques. *Applied Food Research*, 2(2), 100125. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100125>
- Navia, D. P., Ayala, A. A., & Villada C., H. S. (2013). DETERMINACIÓN DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE AGUA ENBIOCOMPUESTOS DE HARINA TERMOPLÁSTICA Y FIQUE. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 144-153.
- Olguin, G., Amador, M., Guzman, A., Díaz, F., Sanchez, I., Avila-Pozos, R., de, de F., & de, de A. (2015). CORRELACIÓN DE ENTALPIAS DE GELATINIZACIÓN CON LOS ÍNDICES DE ABSORCIÓN DE AGUA Y DE SÓLIDOS SOLUBLES EN AGUA DE SEMOLAS, GRANILLOS Y HARINAS DE MAÍZ NIXTAMALIZADO. 14(2).
- Orhotohwo, O. L., Fanesi, B., Darko, H. S. O., Ismaiel, L., Lucci, P., Pacetti, D., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2025). Development and characterisation of

broccoli by-product-enriched starch-carrageenan films for extending the shelf life of fresh-cut fruits. *Food Bioscience*, 69, 106976. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106976>

Ovando, A. C., Godínez, J. R., & Rodríguez, J. F. G. (2023). Actividad de Agua.

Park, J., Sung, J. M., Choi, Y.-S., & Park, J.-D. (2021). pH-dependent pasting and texture properties of rice flour subjected to limited protein hydrolysis. *Food Hydrocolloids*, 117, 106754. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106754>

Picchi, V., Fibiani, M., & Lo Scalzo, R. (2020). Chapter 2—Cauliflower. En A. K. Jaiswal (Ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 19-32). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00002-7>

Popescu, G. S., Radu, F., Velciov, A. B., Pîrvulescu, L., Cozma, A., Stănciugelu, M. M., Marcu, D.-F., & Hădărugă, N. G. (2022). A review: Water and methods employed for moisture determination in food. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*.

Ramirez, J., & Wanderlei, C. (2012). Efecto de los parametros de extrusion, características de pasta y textura de pellets (snaks de tercera generacion) producidos a partir de trigo y maiz. <https://agris.fao.org/search/en/providers/123819/records/64735c2ee17b74d22251f368>

Rasines, L., Castillejo, N., San Miguel, G., & Aguayo, E. (2023). Can household storage conditions reduce food waste and environmental impact? A broccoli case study. *Science of The Total Environment*, 892, 164779. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164779>

Rettig, K., & Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57-66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>

Sadler, G. D., & Murphy, P. A. (2010). pH and Titratable Acidity. En S. S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis* (pp. 219-238). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1_13

- Salas, J., Conesa, A., & Aguayo, E. (2024). A novel antidiabetic lactofermented beverage from agro-industrial waste (broccoli leaves): Process optimisation, phytochemical characterisation, and shelf-life through thermal treatment and high hydrostatic pressure. *Food Bioscience*, 59, 103999. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103999>
- Sánchez, A., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2021). Producción de brócoli en Ecuador.
- Santacruz, C., Santacruz, V., & Luna. (2011). Determinación de los cambios morfológicos, a partir de la dimensión fractal y su relación con los parámetros fisicoquímicos de un producto de harina de trigo en forma laminar durante el proceso de freído por inmersión.
- Schmidt, S. J., & Fontana Jr., A. J. (2007). Appendix E: Water Activity Values of Select Food Ingredients and Products. En *Water Activity in Foods* (pp. 407-420). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470376454.app5>
- Soriano, sergio. (2021). Análisis físico-químico, sensorial y microbiológico para el desarrollo de una formulación de una mermelada de coco [Universidad Politecnica de Valencia]. <http://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/3293>
- Tangkham, W. (2019). Effects of Cooking Methods on Sensory, Chemical, and Microbial Characteristics of Broccoli (*Brassica Oleracea*). *Journal of Food Industry*, 3(1), 63. <https://doi.org/10.5296/jfi.v3i1.16039>
- Valdes, M., Delgado, J., Londoño, L., & Rodríguez, R. A. (2023). Sistema de medición del color como parámetro de calidad en la industria de alimentos. *Temas Agrarios*, 28(1), 69-81. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3200>
- Valverde, J. M., Serrano, M., Guillén, F., Martínez-Romero, D., & Díaz-Mula, H. M. (2019). Parámetros de calidad en brócoli, *Brassica oleracea* L. var. *Itálica*, ecológico y convencional durante la conservación postcosecha.

- Vázquez, A., Gallegos, A., Bernal, H., López, M., & Méndez, A. (2014). Physicochemical, nutritional and sensory properties of deep fat-fried fortified tortilla chips with broccoli (*Brassica oleracea* L. convar. Italica Plenck) flour.
- Vélez, P. I., & Álava, A. (2021). Análisis de los canales de comercialización del brócoli en Ecuador. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 33(3), 181-201. <https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.857>
- Verónica Michelle Nachimba Sánchez. (2022). Adaptabilidad de nueve cultivares de coliflor (*brassica oleracea* var. *Botrytis* L.) en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. 66.
- Vila, F. C. (2020). Cultivo de Coliflor. *Agente de Extensión Agraria*, 21/81.
- Wadmare, V., Gadhe, K., & Joshi, M. (2019). Studies on physical and chemical composition of Broccoli (*Brassica oleracea* L.). *International Journal of Chemical Studies*.
- Yara. (2018, febrero 7). Producción mundial | Yara Ecuador. Yara None. <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/brassicas/produccion-mundial/>
- Yineth, P. (2010). Manual poscosecha de brócoli, espinaca y lechuga en la sabana de Bogotá: Diagnóstico, manejo y tecnologías poscosecha. Editorial Tadeo Lozano.
- Zambare, A. V., Kulkarni, D. A., & Patole, M. B. (2024). Mathematical modeling of drying of Cauliflower.
- Zamora, E. (2016, enero). El cultivo del Bròcoli. Serie guías - producción de hortalizas DAG/HORT-010.
- Zelaya, D. S., Torres, M. I., González, J. G., & Sánchez, D. A. (2024). Evaluación de sustitución parcial de harina de trigo por la harina de pulpa de nancite (*byrsonima crassifolia*) en la formulación de galletas, a escala de laboratorio. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 14(2), 103-119. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v14i2.19417>

Zhang. (2020). Effect of wheat flour with different quality in the process of making flour products. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 11, 6. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2020005>

Zhang, H., Gu, W., Li, Y. J., & Tang, M. (2020). Hygroscopic properties of sodium and potassium salts as related to saline mineral dusts and sea salt aerosols. *Journal of Environmental Sciences*, 95, 65-72. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.046>