



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y
COMERCIO EXTERIOR**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE RODAJAS DE
MANZANAS IMPREGNADAS CON JUGO DE ARÁNDANO**

**PARA OPTAR EL GRADO DE BACHILLER EN
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

Autoras:

Cano Prado Milagros Belen

<https://orcid.org/0000-0002-9364-9284>

Siancas Montalvo Maria Lourdes

<https://orcid.org/0000-0003-4009-7508>

Asesor:

Mg. Simpalo Lopez Walter Bernardo

<https://orcid.org/0000-0001-9930-3076>

Línea de investigación:

**Tecnología e innovación en desarrollo de la construcción y la industria en
un contexto de sostenibilidad**

Sublínea de Investigación:

**Innovación y tecnificación en ciencia de los materiales, diseño e
infraestructura**

Pimentel - Perú

2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscribimos la **DECLARACIÓN JURADA**, somos egresadas de la Escuela Profesional de **Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autoras del Trabajo de Investigación titulado:

**CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE RODAJAS DE MANZANA IMPREGNADAS
CON JUGO DE ARÁNDANO**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Cano Prado Milagros Belen	DNI: 73133707	
Siancas Montalvo María Lourdes	DNI: 72466686	

Pimentel, de febrero de 2025

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
32 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a mis padres, quienes han sido mi mayor inspiración y guía en cada paso de mi camino. Gracias por su amor incondicional y por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia los sueños pueden hacerse realidad.

A mis hermanos, por sus grandes enseñanzas, virtudes y el ejemplo que me han brindado. Su apoyo constante me ha motivado a ser mejor cada día.

A mi familia y amigos, que con sus palabras de ánimo y su confianza en mí han iluminado mi camino en los momentos más desafiantes. Este logro también es de ustedes. Gracias a todos por ser mi fuerza y mi razón para no rendirme.

Milagros Belén Cano Prado

A mi madre, por ser mi mayor ejemplo de perseverancia, por su apoyo incondicional y por enseñarme que con esfuerzo y dedicación podemos hacer realidad nuestras metas.

A mis hermanos, por ser mi respaldo inquebrantable y mis compañeros de vida en cada paso que doy.

A mi padre, quien ya no está básicamente conmigo, pero sigue siendo mi mayor inspiración. Este logro es también un homenaje a su memoria y al inmenso legado que dejó en mi vida.

A mis queridos sobrinos, quienes con su alegría y espontaneidad iluminan mis días. Su energía y curiosidad me recuerdan la importancia de seguir aprendiendo y soñando.

A toda mi familia y amigos, quienes con sus palabras de motivación y su confianza me brindaron la fuerza necesaria para seguir adelante durante estos años de estudio.

Maria Lourdes Siancas Montalvo

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme brindado la fortaleza, salud y perseverancia necesarias para completar este trabajo de investigación.

A mis padres, quienes, con su amor incondicional, valores y enseñanzas han sido el pilar fundamental en mi vida.

A mis hermanos, por su apoyo constante y por recordarme siempre el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mis docentes, quienes con su conocimiento, paciencia y orientación me guiaron en este proceso académico.

A mis amigos y compañeros, por su compañía en este viaje lleno de retos, pero también de aprendizajes y alegrías.

A mi compañera y amiga Lourdes, con quien he compartido estos cinco años de carrera. Tu amistad, apoyo y compañía han sido fundamentales para enfrentar cada reto académico y alcanzar nuestras metas juntas.

Muchas gracias a todos.

Milagros Belén Cano Prado

Agradecer primeramente a Dios por haberme brindado salud, durante este largo camino de la carrera universitaria y para realizar este trabajo de investigación para optar el grado de bachiller.

A mi madre, por ser mi mayor ejemplo de perseverancia y por su apoyo incondicional siendo fundamental en mi vida personal y profesional.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional y estar acompañándome, haciéndome recordar que con esfuerzo y dedicación podría lograr mis metas trazadas,

A mis docentes, quienes con su conocimiento y paciencia me guiaron en este largo proceso académico.

A mi compañera y amiga Belén, por tu valiosa compañía a lo largo de este camino tan desafiante. Agradecerte por tu apoyo incondicional, y por ser esa verdadera compañera de este hermoso reto académico, Infinitas gracias a todos ustedes.

Maria Lourdes Siancas Montalvo

INDICE

Dedicatoria	III
Agradecimiento	V
RESUMEN	X
I. INTRODUCCION	12
1.1. Realidad Problemática	12
1.2. Trabajos Previos	14
1.2.1. Trabajos internacionales	14
1.2.2. Trabajos Nacionales	15
1.3. Teorías relacionadas al tema	15
1.4. Formulación del problema	21
1.5. Justificación e importancia del estudio	21
1.6. Hipótesis	22
1.7. Objetivos	22
1.7.1. Objetivo general	22
1.7.2. Objetivos específicos	22
2. MATERIALES Y METODOS	23
2.1. Diseño de investigación	23
2.2. Variables, operacionalización	23
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección	24
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	24
2.5. Procedimiento de análisis de datos	27
2.6. Criterios éticos	27
3. RESULTADOS	29
3.1. Caracterización fisicoquímica de rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano	29
3.2. Atributos de color de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano.	30
3.3. Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros fisicoquímicos	31
3.4. Gráficos de los parámetros fisicoquímicos de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano en Tiempos de reposo	38
4. DISCUSIONES	46
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
6. REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA I Operacionalización de variables</i>	23
<i>TABLA II Criterios de selección de la manzana</i>	24
<i>TABLA III Criterios de selección del arándano</i>	24
<i>TABLA IV Condiciones experimentales</i>	26
<i>TABLA V Parámetros fisicoquímicos de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	29
<i>TABLA VI Parámetros de color de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	30
<i>TABLA VII Análisis de varianza para el pH de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	31
<i>TABLA VIII Análisis de varianza para la acidez titulable de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	32
<i>TABLA IX Análisis de varianza para los sólidos solubles totales de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	33
<i>TABLA X Análisis de varianza para la actividad de agua de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	34
<i>TABLA XI Análisis de varianza para la humedad de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	35
<i>TABLA XII Análisis de varianza para la luminosidad (L*) de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	35
<i>TABLA XIII Análisis de varianza para el parámetro a* de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	36
<i>TABLA XIV Análisis de varianza para el parámetro b* de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano</i>	37

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Fig. I. Equipo de impregnación al vacío.....</i>	<i>20</i>
<i>Fig. II pH en tiempo de reposo 3 min y 5 min</i>	<i>38</i>
<i>Fig. III Acidez titulable (% ácido málico) en tiempo de reposo de 3 min y 5 min.....</i>	<i>39</i>
<i>Fig. IV Solidos solubles totales (°Brix) en tiempo de reposo 3 min y 5 min</i>	<i>40</i>
<i>Fig. V Actividad de agua en tiempo de reposo 3 min y 5 min</i>	<i>41</i>
<i>Fig. VI Humedad (%) en tiempo de reposo 3 min y 5 min.....</i>	<i>42</i>
<i>Fig. VII Luminosidad en tiempo de reposo 3 min y 5 min</i>	<i>43</i>
<i>Fig. VIII a* en tiempos de reposo de 3 min y 5 min</i>	<i>44</i>
<i>Fig. IX b* en tiempos de reposo de 3 min y 5 min</i>	<i>45</i>

RESUMEN

La impregnación al vacío (VI) con jugos naturales se empleó como una técnica innovadora que permite incorporar compuestos bioactivos en matrices alimenticias. En este estudio, se centró específicamente en el uso de esta tecnología para incorporar jugo de arándano en rodajas de manzana, conocido por su alto contenido de antioxidantes y compuestos fenólicos.

Se efectuaron análisis fisicoquímicos para caracterizar los cambios en la matriz de la manzana tras el proceso de impregnación al vacío. Entre los parámetros evaluados se incluyen el pH, °Brix (como indicador de sólidos solubles), humedad y composición general de los sólidos totales. Estos resultados permitieron evaluar cómo la impregnación influye en la calidad sensorial

Palabras Clave: Impregnación al vacío, jugos naturales, manzana, arándano, compuestos bioactivos.

ABSTRAC

Vacuum impregnation (VI) with natural juices was employed as an innovative technique to incorporate bioactive compounds into food matrices. In this study, we specifically focused on the use of this technology to incorporate cranberry juice into apple slices, known for its high content of antioxidants and phenolic compounds.

Physicochemical analyses were performed to characterize changes in the apple matrix after the vacuum impregnation process. Parameters evaluated included pH, °Brix (as an indicator of soluble solids), moisture and overall total solids composition. These results made it possible to evaluate how impregnation influences sensory quality.

Key Words: Vacuum impregnation, natural juices, apple, blueberry, bioactive compounds.

I. INTRODUCCION

1.1. Realidad Problemática

En las últimas décadas, los cambios en el estilo de vida, como una alimentación desequilibrada y la falta de actividad física, han llevado al aumento de enfermedades no transmisibles, como enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la diabetes, las cuales representan una de las principales causas de problemas de salud e incluso mortalidad a nivel mundial [1] [2]. Dichas enfermedades están estrechamente relacionadas por un patrón dietético caracterizado por un alto consumo en grasas, azúcar refinado, sal y colesterol [2]. En el Perú, las ENT son responsables del 69 % de muertes y a nivel mundial el 70% [3].

Diversos estudios han demostrado que una dieta rica en frutas y verduras, con un alto contenido de vitaminas y antioxidantes, está asociada con un menor riesgo de desarrollar enfermedades no trasmisibles [4]. Por ende, el consumo de alimentos enriquecidos con ingredientes funcionales, como vitaminas, minerales, probióticos, fibra y antioxidantes, podría contribuir a reducir estos riesgos y a mejorar el bienestar físico y mental [2] [5].

Frutas como la manzana, es ampliamente consumida a nivel mundial debido a que son una fuente rica de monosacáridos, minerales, fibra dietética y compuestos fenólicos [9], por otro lado, el consumo de arándanos es de gran interés debido a su alto contenido en compuestos antioxidantes (flavonoides y antocianinas), vitamina C, B, E y A, y son bien conocidos por sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antidiabéticas [10].

En este sentido, el mercado de alimentos funcionales ha crecido significativamente en los últimos años, impulsado por una mayor conciencia de los consumidores sobre los beneficios de una alimentación saludable y un estilo de vida equilibrado [4]. Este interés ha fomentado el desarrollo de productos funcionales, apoyado por métodos innovadores de procesamiento y conservación de alimentos. Sin embargo, uno de los principales desafíos dentro de la industria alimentaria es conservar las propiedades nutricionales y funcionales de los compuestos bioactivos durante el procesamiento y muchos de los métodos tradicionales de procesamiento utilizados para la conservación de productos frescos afectan negativamente los valores sensoriales y nutritivos [6].

En el procesamiento de alimentos, este objetivo se logra mediante el desarrollo de acciones y procesos que permitan el enriquecimiento de productos vegetales con compuestos deseables [4]. Dentro de este contexto, uno de los métodos utilizados para enriquecer los alimentos con compuestos deseables es la impregnación al vacío, ya que se puede utilizar para introducir compuestos como: minerales, vitaminas, probióticos, entre otros, en un tejido poroso con una solución que contiene las sustancias deseadas [7]. Además, diversos estudios han demostrado que la impregnación al vacío afecta positivamente la estructura, durabilidad y propiedades físicas, químicas y microbiológicas de las frutas [8].

Por ello, es importante investigar el impacto de la impregnación al vacío con jugo acuoso de arándano sobre las propiedades fisicoquímicas de las rodajas de manzana. Este enfoque no solo contribuirá al desarrollo de nuevos productos funcionales con alto valor añadido, sino que también proporcionará información valiosa sobre la optimización de este proceso para aplicaciones futuras.

1.2. Trabajos Previos

1.2.1. Trabajos internacionales

Esparza et al. [9] estudiaron la optimización de la impregnación al vacío con jugo acuoso de cálices de *Hibiscus sabdariffa* en rodajas de manzana mediante la metodología de superficie de respuesta: efecto sobre fenoles solubles, flavonoides, actividad antioxidante y parámetros fisicoquímicos, en el cual los fenoles solubles totales (TSP) y flavonoides, la capacidad antioxidante y los parámetros fisicoquímicos se evaluaron antes y después de la impregnación al vacío, y reportaron que la impregnación al vacío mejoró las actividades flavonoides y antioxidantes (DPPH y ABTS) de las rodajas de manzana y promovió cambios en los parámetros de sólidos solubles totales, pH, acidez titulable, actividad del agua, humedad y color (luminosidad, a^* y b^*).

Gonzales – Pérez et al. [10] impregnaron al vacío manzanas con concentrado de jugo de uva y evaluaron los efectos de la presión, el tiempo de procesamiento y la concentración del jugo. Evaluaron el efecto de la reducción de presión ($VP = 100\text{--}500$ mmHg), tiempo de inmersión ($t = 10\text{--}30$ min) y concentración de jugo de uva ($C = 40\text{--}60^\circ$ Brix) utilizando la metodología de superficie de respuesta y obtuvieron que el aumento de la reducción de presión y el tiempo de procesamiento favorecieron el aumento de los parámetros de transferencia de masa (pérdida de agua y ganancia de soluto) y la impregnación de sólidos solubles totales, actividad antioxidante, compuestos fenólicos totales y antocianina monomérica total.

Tischer et al. [11] utilizaron tecnologías no convencionales como estrategia para mejorar el potencial fenólico y antioxidante de productos de calabacín enriquecidos con jugo de arándano, en donde obtuvieron que, el calentamiento óhmico aplicado después de la impregnación al vacío condujo a mayores tasas de retención de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a 70°C durante 30 min y $7,8$ V cm^{-1} , así mismo que el proceso de impregnación promovió el oscurecimiento de las piezas de calabacín (debido a la retención de antocianinas) y aumentó los sólidos solubles. Después del secado con aire caliente y microondas al vacío, el contenido fenólico, la capacidad antioxidante, las características

fisicoquímicas y de color de los calabacines impregnados y no impregnados se alteraron distintivamente.

1.2.2. Trabajos Nacionales

Mejía - Águila et al. [12] impregnaron al vacío rodajas de manzana con fructooligosacáridos (FOS) de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) para mejorar las propiedades funcionales del snack de frutan en el cual obtuvieron un jugo de yacón parcialmente purificado, clarificado, decolorado y concentrado con alto contenido de prebióticos y obtuvieron rodajas de manzana con altas concentraciones de FOS sin afectar significativamente el contenido de compuestos fenólicos totales y disminuyeron ligeramente la actividad antioxidante ABTS, además, en las rodajas de manzana impregnadas y deshidratadas, el contenido de FOS se mantuvo estable durante 4 semanas, presentando solo pequeños cambios en aw, color, pH y textura.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Manzana

- **Origen y distribución**

El manzano (*Malus x domestica* Borkh.) es una de las frutas más cultivadas, consumidas y apreciadas en todo el mundo y se encuentra entre las especies frutales más diversas y económicamente importantes de la familia de las rosáceas [13]. Se cultiva desde la antigüedad, alrededor de 8000 a 2000 a. C., es originaria de Asia Central, incluidos Kazajistán, Kirguistán y Tayikistán, y es conocida por los griegos y romanos a lo largo de las rutas comerciales de la Ruta de la Seda desde Asia Central, al este hasta la República Popular China y al oeste hasta Europa [14].

- **Variedad**

Las principales variedades de manzana se pueden dividir aproximadamente en variedades rojas como 'Red Delicious', 'Fuji' y 'Royal Gala' y variedades sin color como 'Golden Delicious', 'Granny Smith' y 'Orin' [15]. Por otro lado, de acuerdo a la

Asociación Mundial de Manzanas y Peras (WAPA) reporto que en Estados Unidos las principales cultivares son “Gala”, “Red Delicious” y “Honey Crips” y en el hemisferio sur, la variedad Gala fue la más cultivada en países como Argentina, Australia, Brasil y Nueva Zelanda con una producción de 1,931,000 ton. seguido de “Fuji” y “Red Delicious” [16][17]. En el Perú las variedades predominantes de manzanas son “Ana de Israel”, “Delicia de Viscas”, “San Antonio” y “Winter”[17].

- **Producción**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de manzanas en 2015 superó los 80 millones de toneladas [15]. Esta fruta es cultivada en más de 93 países, incluidos EE. UU., China, Turquía, Polonia, India, Chile, Italia, Federación Rusa, Irán y Francia [18]. Según un informe reciente, la producción anual mundial de manzanas asciende a más de 70 millones de toneladas, y estas manzanas se consumen directamente o se procesan en diversos productos alimenticios como jugo, mermeladas, jaleas, bebidas, sidra y dulces [19]. En el Perú, la región de Lima lidera la producción de manzanas, superando a otras áreas como Áncash, Arequipa, La Libertad e Ica [20].

- **Composición nutricional**

Las manzanas tienen una composición variada y equilibrada; más del 84% de su peso está representado por agua, en la que se disuelven minerales como K, Mg, Ca y Na y oligoelementos como Zn, Mn, Cu, Fe, B, F, Se y Mo. Las proteínas y los lípidos representan un pequeño aporte energético a los frutos de *Malus domestica*, debido a sus concentraciones relativamente pequeñas [18][21][13]. Por el contrario, el contenido de fibras, es decir, polisacáridos complejos como pectina, celulosas, hemicelulosas y lignina, es alto en las manzanas en comparación con otras frutas frescas [21]. Aunque está presente una gran variedad de vitaminas, las vitaminas del complejo B son las más abundantes y se consideran una fuente importante de

polifenoles, responsables de sus conocidas propiedades antioxidantes [22].

- **Compuestos bioactivos**

La manzana es una fruta popular con muchos beneficios para la salud. Se ha demostrado que minimiza el riesgo de cáncer de pulmón, asma, diabetes, accidente cerebrovascular trombótico, obesidad, enfermedad cardiovascular y actividades de proliferación [13].

Los flavonoides y compuestos fenólicos presentes en la manzana muestran actividades biológicas como antioxidantes, antimicrobianos y efectos inhibidores de enzimas. Los estudios informaron que las cáscaras de manzana muestran una mejor actividad que las pulpas. Se ha informado que los jugos de agua, alcohol y polifenoles de la fruta de *M. domestica* resultaron ser más efectivos contra bacterias gram +ve y gram -ve como *B. subtilis*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *K. pneumonia*, *E. coli* y *P. aeruginosa*, respectivamente, que podrían aplicarse de manera útil a las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética [23].

1.3.2. Arándano

- **Origen y distribución**

El arándano forma parte del género *Vaccinium* siendo un cultivo frutal con alta demanda comercial importante en Perú siendo popular por su sabor y alto valor nutricional [24]. Estas especies se encuentran en rango altitudinal entre 1500 y 4500 n.s.n.m, en temperatura de 3 a 17°C [25].

Los principales productores de arándanos son EEUU (255.050 toneladas), Canadá (164.205 toneladas), Perú (94.805 toneladas) y España (43.516 toneladas) [26].

- **Variedad**

El Perú cuenta 5 variedades comerciales las cuales son Biloxi, Misty Ventura, Esmerald y Snow Chaser [27]. La variedad que se utilizó en el proyecto de investigación fue Ventura la cual

se caracteriza por tener frutos grandes y firmes con excelente adaptación a climas cálidos y una floración temprana.

- **Composición nutricional**

Se logró identificar que el arándano posee un 85,78 % de humedad, 70,65 % de azúcar, 4,10 % de proteína y 0,73 % de contenido de grasa así mismo, se observó que entre el 50 % y el 80 % de los polifenoles totales eran fenólicos (3000 mg/kg), mientras que las antocianinas representaban el 60 % (16-160 mg/100 g) [28].

- **Compuestos bioactivos**

El arándano es considerado una fruta ampliamente apreciada por su valor nutricional de ácidos orgánicos enriquecidos con ácidos cítricos, ascórbico, fenólicos y taninos, compuestos fenólicos como estilbenoides, taninos y compuestos flavonoides, incluyendo antocianina, flavanona, flavanol y quercetina [29].

- **Aplicación**

Cuenta con diversas aplicaciones dentro de la industria de las cuales se puede destacar su uso en bebidas, galletas, mermelada, jalea y producto de panadería [30].

1.3.3. Jugos Naturales

Los jugos naturales se pueden obtener de frutas, verduras, hierbas y subproductos animales. Todos estos compuestos naturales se pueden aplicar como conservantes en productos de frutas y verduras para garantizar la seguridad, proteger su calidad y prolongar su vida útil [31]. Además, estos compuestos naturales también contienen altos niveles de sustancias bioactivas que, en consecuencia, son beneficiosas para la salud cuando se consumen los productos de frutas y verduras [32]. Por lo tanto, el uso de jugos naturales como conservantes de alimentos es una estrategia notable para satisfacer las demandas de los consumidores y, al mismo tiempo, promover la innovación en la creación de productos de frutas y verduras de valor agregado [33].

Dentro de los jugos naturales más utilizados en la impregnación al vacío tenemos:

- **Aloe vera:** El aloe vera, en particular el gel de aloe vera, se compone principalmente de agua (98,5 % - 99,5 %), la parte sólida restante contiene más de 200 componentes diferentes, principalmente polisacáridos y otros compuestos menores como azúcares solubles, glicoproteínas, antraquinonas fenólicas, flavonoides, flavonoles, enzimas, minerales, aminoácidos, esteroides, saponinas y vitaminas [7].
- **Jugo de uva:** Estudios han revelado que los antioxidantes y compuestos fenólicos presentes en este concentrado contribuyen a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, como hipertensión e hipercolesterolemia, así como la infertilidad masculina [10]. Asimismo, su elevado contenido de glucosa y fructosa lo convierte en una alternativa viable a las soluciones de sacarosa [34].
- **Té verde:** El té verde se considera una planta con una variedad de beneficios para la salud debido a su actividad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria y anticancerígena además sus propiedades farmacológicas del té verde se atribuyen principalmente a su contenido de alcaloides (cafeína) y catequinas [35].
- **Jugo de arándanos:** En los arándanos se encuentra un alto contenido de antocianinas, estos compuestos son responsables del color púrpura del fruto y se señalan como los principales factores responsables de sus bioactividades, que incluyen actividades antioxidantes, antiproliferativas y antidiabéticas [36].

1.3.4. Impregnación al vacío

La impregnación al vacío (IV) es una tecnología de procesamiento que utiliza la estructura porosa de las matrices alimentarias y se aplica principalmente como pretratamiento antes del proceso de deshidratación. Esta tecnología es fácil de implementar, rentable y evita los tratamientos térmicos, preservando así compuestos valiosos en los alimentos tratados y las soluciones de impregnación. La IV representa una alternativa tecnológicamente viable para la funcionalización de vegetales, tubérculos y frutas deshidratadas mediante la incorporación de aceites esenciales,

minerales, vitaminas, depresores de la actividad del agua, reguladores de pH, antimicrobianos, texturizantes, probióticos, prebióticos y extractos naturales con actividades antioxidantes [37].

- **Proceso de impregnación al vacío**

El proceso de impregnación al vacío consiste primero en colocar el alimento a impregnar en la cámara de vacío que serán sumergidas por inmersión en la solución impregnadora y luego se cerrara el sistema de impregnación al vacío. Durante la IV, el alimento se sumerge en una solución y se somete a presión negativa para eliminar el gas ocluido en la matriz alimentaria (aplicación de vacío). Al restablecerse la presión atmosférica, la presión diferencial positiva resultante impulsa el transporte de la solución de inmersión hacia los espacios libres de la matriz alimentaria a través de mecanismos hidrodinámicos y fenómenos de relajación debido a los cambios de presión. Finalmente, transcurrido el tiempo de impregnación, se retiraron las muestras y el exceso de líquido es secado con papel toalla [38].



Fig. I. Equipo de impregnación al vacío

- **Variables del proceso**

Dentro del proceso de impregnación al vacío existen variables que son fundamentales como lo son la presión al vacío esta es la más importante dentro de este proceso, el tiempo de impregnación es la fase que permite que el vacío surta efecto

antes de pasar a la siguiente etapa del proceso, lo que permite la extracción de aire y otros gases de la cámara mediante la bomba de vacío; el tiempo de reposo los compuestos funcionales disueltos de interés se incorporan a la solución de impregnación. En esta etapa, el gradiente de presión se crea al restaurar la presión de vacío a la presión atmosférica, sirviendo como fuerza impulsora para la incorporación de la solución de impregnación [39].

- **Solución de impregnación**

Durante la impregnación al vacío es fundamental considerar las características fisicoquímicas de la solución impregnadora. Uno de estos factores es la viscosidad de la solución. Una viscosidad demasiado baja puede resultar en una penetración rápida y una mala retención de la solución, mientras que una viscosidad demasiado alta puede dificultar la penetración adecuada [40].

1.4. Formulación del problema

¿Cuáles son las características fisicoquímicas de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano?

1.5. Justificación e importancia del estudio

El consumo de alimentos funcionales ha aumentado por sus beneficios adicionales para la salud, contribuyendo a la prevención de enfermedades y la mejora del bienestar físico y mental representa así una respuesta innovadora a las tendencias del mercado actual.

Las frutas mínimamente procesadas son uno de los segmentos en crecimiento en los establecimientos de venta minorista de alimentos, y desempeñan un papel importante en la ingesta de antioxidantes de un número cada vez mayor de consumidores. La producción de manzanas mínimamente procesadas enriquecidas con jugo acuoso de arándano podría permitir combinar las propiedades saludables de ambos componentes para obtener un alimento innovador. Sin embargo, se deben tener en cuenta varios aspectos. Para este producto, es crucial comprender no solo el efecto directo del enriquecimiento con impregnación al vacío en el contenido de sus

componentes bioactivos, sino también su comportamiento durante el almacenamiento.

La técnica de impregnación al vacío permite la incorporación de soluciones en la estructura de los alimentos bajo condiciones de vacío, optimizando sus propiedades nutricionales y organolépticas, además de favorecer la conservación de nutrientes durante el proceso de deshidratación. Por otro lado, el jugo de arándano, con alto contenido de compuestos fenólicos y antocianinas de potente actividad antioxidante, contribuye al desarrollo de alimentos funcionales y saludables. Estos productos podrían ayudar a disminuir la incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles, como el sobrepeso, la obesidad y la hipertensión, asociadas al consumo excesivo de alimentos ultraprocesados.

1.6. Hipótesis

(H_i) Las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano ayuda en la conservación de las características fisicoquímicas

(H₀) Las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano no ayuda en la conservación de las características fisicoquímicas

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

- Caracterizar fisicoquímicamente las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

1.7.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el pH por el método de potenciómetro 981.12 de la AOAC internacional.
- Evaluar la acidez titulable por el método volumétrico 942.15 del AOAC International.
- Medir los sólidos solubles totales por método refractométrico 932.12. del AOAC International.
- Determinar la actividad de agua.
- Caracterizar la humedad por el Método 950.466 de AOAC International.
- Evaluar el color de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano utilizando un colorímetro con sistema CIE-Lab.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Diseño de investigación

2.1.1. Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo Aplicado en función a su finalidad, de carácter Experimental en cuanto al manejo de sus variables y según su contexto de Laboratorio.

2.1.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación será de tipo experimental cuantitativo, dado que implicará la manipulación de variables independientes y dependientes.

2.2. Variables, operacionalización

En la Tabla I, se muestra la operacionalización de variables de estudio del presente trabajo de investigación.

TABLA I

Operacionalización de variables

	Variable de estudio	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Valores
VARIABLES INDEPENDIENTES	Rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano	pH	Método potenciómetro 981.12 [41]	Hoja de recolección de datos elaborado por el autor	Escala de pH (0 -14)
		Acidez titulable	Método volumétrico 942.15 [42]		g/mL
		Sólidos solubles totales	Método refractométrico 932.12 [43]		Grados Brix
		Actividad de agua	Método 978.18 [41]		Escala de 0 - 1
		Contenido de humedad	Método 920.151 [41]		Porcentaje
		Colorimetría	Colorímetro - Sistema CIE-Lab		CIELab
VARIABLES DEPENDIENTES	Caracterización fisicoquímica	pH	Método potenciómetro 981.12 [41]	Hoja de recolección de datos elaborado por el autor	Escala de pH (0 -14)
		Acidez titulable	Método volumétrico 942.15 [42]		g/mL
		Sólidos solubles totales	Método refractométrico 932.12 [43]		Grados Brix
		Actividad de agua	Método 978.18 [41]		Escala de 0 - 1
		Contenido de humedad	Método 920.151 [41]		Porcentaje
		Colorimetría	Colorímetro - Sistema CIE-Lab		CIELab

Fuente: Elaboración propia

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

2.3.1. Población

Está formado por manzana (variedad Granny Smith) y arándanos (variedad ventura) procedente de la provincia de Ferreñafe.

2.3.2. Muestra

Está constituida por 6 kilos de manzana variedad "Granny Smith" y 6 kilos de arándanos variedad "Ventura", comprados específicamente en el mercado de la provincia de Ferreñafe.

2.3.3. Muestreo

Se realizó un muestreo no probabilístico a conveniencia del investigador.

2.3.4. Criterios de selección

- **Criterios de selección de manzana (Variedad Granny Smith)**

TABLA II

Criterios de selección de la manzana

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
De la variedad que se especifica.	De la variedad que no se especifica.
Madurez óptima.	Madurez no óptima
Que no presente defectos visuales.	Que presentes defectos visuales

- **Criterios de selección de arándano (Variedad Ventura)**

TABLA III

Criterios de selección del arándano

Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
De la variedad que se especifica.	De la variedad que no se especifica.
Madurez óptima.	Madurez no óptima.
Que no presente defectos visuales.	Que presentes defectos visuales.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Elaboración de jugo de arándano

- **Recepción de materia prima:** Se recibieron arándanos frescos verificando que cumplieran con los criterios de calidad y madurez requeridos para el proceso. La cantidad recibida fue de 2 kg.

- **Selección:** Se revisaron los arándanos y se descartaron aquellos que presentaban daños, estaban sobre maduros o en malas condiciones.
- **Lavado y desinfección:** Los arándanos fueron lavados con agua limpia para eliminar suciedad, restos de pesticidas y microorganismos. Luego, se desinfectaron sumergiéndolos en una solución de hipoclorito de sodio a 20 ppm preparada con 2 litros de agua durante un tiempo de 3 a 5 minutos. Finalmente, se enjuagaron con agua destilada para retirar cualquier residuo de cloro.
- **Escurrido:** Los arándanos se dejaron escurrir en bandejas cubiertas con papel toalla para eliminar el exceso de agua superficial antes de proceder a secarlos.
- **Escaldado:** Se sometieron los arándanos a un escaldado a una temperatura de 90°C durante 4 minutos, utilizando una proporción de 1 litro de agua por cada kilogramo de arándano.
- **Triturado:** Los arándanos fueron triturados junto con el agua usada durante el escaldado en una licuadora.
- **Filtrado:** Se separaron las partículas sólidas del jugo líquido empleando una tela organza, para obtener un jugo limpio y sin impurezas.
- **Aplicación en la impregnación:** El jugo acuoso de arándano, libre de partículas sólidas, se destinó al proceso de impregnación al vacío.

2.4.2. Impregnación al vacío de manzanas impregnadas con jugo de arándano

- **Recepción de materia prima:** Se recibieron 6 kg de manzanas y se aseguró que estas cumplan con los requisitos de calidad y madurez.
- **Lavado:** Las manzanas fueron lavadas con agua potable para eliminar suciedad, residuos de pesticidas y microorganismos. Luego, se desinfectaron sumergiéndolas en una solución compuesta por 4 ml de hipoclorito de sodio al 5% disueltos en 10 litros de agua por un tiempo de 5 y 10 minutos. Luego, se enjuagaron con agua limpia para retirar cualquier residuo de cloro.
- **Secado:** Las manzanas fueron secadas con papel toalla para eliminar el exceso de humedad superficial.
- **Pelado:** Se procedió a retirar la cáscara de las manzanas con pelador manual.

- **Cortado:** Las manzanas fueron cortadas en rodajas con un grosor de 3 mm.
- **Inmersión en ácido ascórbico:** Las rodajas fueron sumergidas en una solución de ácido ascórbico al 1% p/v para evitar la oxidación.
- **Inmersión en solución:** Las rodajas de manzana fueron colocadas en el jugo de arándano.
- **Impregnación al vacío:** Se llevó a cabo el tratamiento de impregnación al vacío aplicando los parámetros establecidos en el diseño experimental, como tiempo de tratamiento, tiempo de reposo y presión de vacío.
- **Envasado:** Las rodajas impregnas fueron envasadas en bolsas ziploc.
- **Almacenado:** El producto final fueron almacenadas a una temperatura de 10°C.

2.4.3. Formulaciones

En el proceso de impregnación al vacío de manzana con jugo de arándano se evaluaron doce condiciones experimentales de acuerdo con un diseño factorial simple en la cual se visualiza en la Tabla IV.

TABLA IV

Condiciones experimentales

N°	Presión de vacío (bar)	Tiempo de impregnación (min)	Tiempo de reposo (min)
1	-0.30	5	3
2	-0.40	10	5
3	-0.30	5	3
4	-0.30	10	3
5	-0.30	5	3
6	-0.30	10	5
7	-0.30	5	3
8	-0.30	5	5
9	-0.40	5	3
10	-0.40	5	5
11	-0.40	10	3
12	-0.30	5	3

Fuente: Elaboración propia con ayuda del software Design Expert v.7.0.0.

2.4.4. Determinación de las propiedades fisicoquímicas

- pH

Se determinará por el método de potenciómetro 981.12 de la AOAC International [41].

- **Acidez titulable**

Se determinará por el método volumétrico 942.15 del AOAC International [42].

- **Sólidos Solubles Totales**

Se determinará por método refractométrico 932.12. del AOAC International [43].

- **Actividad de agua**

Se determinará por el Método 978.18 de AOAC International [41].

- **Contenido de humedad:**

Se determinará por el Método 920.151 de AOAC International [41].

- **Color**

Indicaciones del fabricante: Mide Luminosidad, parámetros L*, a, b.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

Los datos se obtuvieron de doce condiciones experimentales los cuales fueron procesados por análisis de varianza ANOVA, utilizando el modelo Factorial.

2.6. Criterios éticos

Este estudio se regirá por los principios éticos establecidos en el CÓDIGO DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C., versión 9, aprobado el 26 de abril de 2023, considerando específicamente los artículos 6°, 7° y 8°, los cuales desarrollan los principios generales, específicos y de integridad científica, respectivamente. Los criterios éticos más relevantes para esta investigación se detallan a continuación:

- Garantizar transparencia en la selección y ejecución de los temas de investigación.
- Utilizar materia prima de calidad e inocua.
- Realizar el procesamiento alimentario de acuerdo a las buenas prácticas de manufactura e higiene.

- Manejar los datos de forma correcta y veraz, evitando alteraciones intencionadas.
- Prohibir el uso indebido de la información obtenida.
- Promover la integridad científica e intelectual.
- Reconocer exclusivamente la participación y contribución de los involucrados en la investigación.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización fisicoquímica de rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano

Los datos correspondientes a la caracterización fisicoquímica de las rodajas de manzana impregnadas se presentan en la Tabla V.

TABLA V

Parámetros fisicoquímicos de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

N°	pH	Acidez titulable (% ácido málico)	Sólidos Solubles Totales (°Brix)	Actividad de agua	Humedad (%)
T1	3.42 ± 0.08 ^e	0.33 ± 0.02 ^a	8.24 ± 0.08 ^f	0.86 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T2	3.64 ± 0.09 ^d	0.27 ± 0.01 ^{abc}	9.40 ± 0.04 ^c	0.86 ± 0.01 ^a	88.67 ± 1.59 ^a
T3	3.42 ± 0.09 ^e	0.33 ± 0.01 ^a	8.24 ± 0.05 ^f	0.86 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T4	3.54 ± 0.04 ^{de}	0.30 ± 0.02 ^{ab}	10.37 ± 0.07 ^a	0.85 ± 0.01 ^a	86.43 ± 3.10 ^a
T5	3.42 ± 0.03 ^e	0.33 ± 0.01 ^a	8.24 ± 0.02 ^f	0.86 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T6	4.20 ± 0.13 ^a	0.25 ± 0.02 ^{bcd}	8.07 ± 0.04 ^g	0.86 ± 0.01 ^a	88.36 ± 8.60 ^a
T7	3.42 ± 0.11 ^e	0.33 ± 0.02 ^a	8.24 ± 0.02 ^f	0.86 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T8	4.02 ± 0.07 ^b	0.29 ± 0.01 ^{ab}	8.87 ± 0.04 ^e	0.85 ± 0.01 ^a	87.18 ± 3.03 ^a
T9	3.65 ± 0.04 ^d	0.26 ± 0.01 ^{abc}	9.20 ± 0.02 ^d	0.85 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T10	3.88 ± 0.08 ^c	0.20 ± 0.01 ^{cd}	10.17 ± 0.07 ^b	0.85 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T11	3.64 ± 0.04 ^d	0.27 ± 0.01 ^d	9.12 ± 0.04 ^d	0.85 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a
T12	3.42 ± 0.05 ^e	0.33 ± 0.01 ^a	8.24 ± 0.04 ^f	0.86 ± 0.01 ^a	88.83 ± 1.45 ^a

Los datos son la media ± desviación estándar (n=3). Letras minúsculas diferentes en columna indican diferencias significativas entre tratamientos (p < 0.05).

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la caracterización fisicoquímica de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano mostraron variaciones en sus propiedades según los diferentes tratamientos aplicados. El pH osciló entre 3.42 ± 0.03 y 4.20 ± 0.13, siendo el valor más bajo correspondiente a las muestras con tratamientos 1, 3, 5, 7 y 12, mientras que el valor más alto se observó en el tratamiento T6 (presión de vacío -0.30 bar, tiempo de impregnación 10 min y tiempo de reposo 5 min). La acidez titulable, expresada como porcentaje de ácido málico, presentó valores entre 0.20 ± 0.01% y 0.33 ± 0.02%, donde los valores más altos (0.33%) se obtuvieron en los tratamientos 1, 3, 5, 7 y 12. Los sólidos solubles totales (°Brix) variaron desde 8.07 ± 0.04 hasta 10.37 ± 0.07, donde el tratamiento T4 (presión de vacío -0.30 bar, tiempo de impregnación 10 min y tiempo de reposo 3 min) presentó el valor más alto, mientras que el tratamiento T6 (presión de vacío -0.30 bar, tiempo

de impregnación 10 min y tiempo de reposo 5 min) mostró el valor más bajo. La actividad de agua se mantuvo relativamente constante en todos los tratamientos, con valores entre 0.85 ± 0.01 y 0.86 ± 0.01 . En cuanto al contenido de humedad, los valores oscilaron entre $86.43 \pm 3.10\%$ y $88.83 \pm 1.45\%$, donde la mayoría de los tratamientos mantuvieron valores cercanos al 88%, con excepción de los tratamientos T4 y T8 que mostraron valores ligeramente inferiores.

3.2. Atributos de color de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano.

En la Tabla VI se puede apreciar los parámetros de color de rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA VI

Parámetros de color de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

N°	L*	a*	b*
T1	34.26 ± 2.75^{ab}	33.03 ± 1.39^d	13.87 ± 0.31^d
T2	31.58 ± 0.54^{bc}	24.18 ± 1.04^e	2.85 ± 1.15^g
T3	34.26 ± 2.50^b	33.03 ± 0.85^d	13.87 ± 1.38^d
T4	25.60 ± 4.92^{cd}	36.94 ± 0.94^c	17.23 ± 0.64^c
T5	34.26 ± 5.30^{ab}	33.03 ± 1.16^d	13.87 ± 0.49^d
T6	32.93 ± 2.50^b	32.07 ± 1.50^d	11.45 ± 1.36^e
T7	34.26 ± 3.96^{ab}	33.03 ± 1.42^d	13.87 ± 0.84^d
T8	39.74 ± 4.09^a	25.78 ± 1.76^e	7.00 ± 1.65^f
T9	29.57 ± 3.87^{bcd}	39.13 ± 1.13^b	18.83 ± 0.28^{bc}
T10	24.89 ± 4.05^d	45.23 ± 0.65^a	23.8 ± 1.44^a
T11	29.03 ± 4.63^{bcd}	40.66 ± 1.27^b	20.18 ± 0.46^b
T12	34.26 ± 2.50^{ab}	33.03 ± 0.66^d	13.87 ± 0.58^d

Los datos son la media \pm desviación estándar (n=3). Letras minúsculas diferentes en columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de color (L*, a*, b*) de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano mostraron variaciones significativas entre los diferentes tratamientos.

La luminosidad (L*) presentó valores entre 24.89 ± 4.05 y 39.74 ± 4.09 . El tratamiento T8 (presión de vacío -0.30 bar, tiempo de impregnación 5 min y tiempo de reposo 5 min) mostró el valor más alto de luminosidad (39.74), mientras que el tratamiento T10 presión de vacío -0.40 bar, tiempo de impregnación 5 min y tiempo de reposo 5 min) presentó el valor más bajo (24.89). El parámetro a* varió desde 24.18 ± 1.04 hasta 45.23 ± 0.65 . Los tratamientos T10 y T11 mostraron los

valores más altos (45.23 y 40.66 respectivamente), por otro lado, el tratamiento T2 (presión de vacío -0.40 bar, tiempo de impregnación 10 min y tiempo de reposo 5 min) presentó el valor más bajo (24.18). En cuanto al parámetro b* los valores oscilaron entre 2.85 ± 1.15 y 23.8 ± 1.44 . El tratamiento T10 (presión de vacío -0.40 bar, tiempo de impregnación 5 min y tiempo de reposo 5 min) mostró el valor más alto (23.8), mientras que el tratamiento T2 presentó el valor más bajo (2.85).

3.3. Análisis de varianza (ANOVA) de los parámetros fisicoquímicos

3.3.1. pH

En la tabla VII se puede observar el análisis de varianza para el pH de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA VII

Análisis de varianza para el pH de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A-Presión de vacío	1.104E-003	1	1.104E-003	6.366E+007	< 0.0001
B-Tiempo de impregnación	2.016E-005	1	2.016E-005	6.366E+007	< 0.0001
C-Tiempo de reposo	0.020	1	0.020	6.366E+007	< 0.0001
AB	2.764E-003	1	2.764E-003	6.366E+007	< 0.0001
AC	9.702E-003	1	9.702E-003	6.366E+007	< 0.0001
BC	3.074E-004	1	3.074E-004	6.366E+007	< 0.0001
ABC	7.102E-004	1	7.102E-004	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	0.051	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar los efectos de la presión de vacío, tiempo de impregnación y tiempo de reposo sobre el pH de las muestras reveló efectos estadísticamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados y sus interacciones. Los efectos principales mostraron que tanto la presión de vacío ($F = 6.366E+007$, $p < 0.0001$), el tiempo de impregnación ($F = 6.366E+007$, $p < 0.0001$), como el tiempo de reposo ($F = 6.366E+007$, $p < 0.0001$) influyen significativamente en el pH final del producto. Además, se observaron interacciones significativas de segundo orden entre la presión de vacío y el tiempo de reposo (AC) ($F = 6.366E+007$, $p < 0.0001$), así como entre el tiempo de impregnación y el tiempo de reposo

(BC) ($F = 6.366E+007$, $p < 0.0001$). La interacción de tercer orden (ABC) entre los tres factores también resultó significativa ($F = 6.366E+007$, $p < 0.0001$), lo que indica que el efecto de cada factor sobre el pH depende de los niveles de los otros factores. El modelo presentó un ajuste perfecto con un $R^2 = 1.0000$, lo que sugiere que la variabilidad en el pH es completamente explicada por los factores estudiados y sus interacciones.

3.3.2. Acidez titulable

En la tabla VIII se puede observar el análisis de varianza para acidez titulable de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA VIII

Análisis de varianza para la acidez titulable de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A - Presión de vacío	3.751E-003	1	3.751E-003	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	3.950E-005	1	3.950E-005	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	2.975E-003	1	2.975E-003	6.366E+007	< 0.0001
AB	3.016E-003	1	3.016E-003	6.366E+007	< 0.0001
AC	6.110E-005	1	6.110E-005	6.366E+007	< 0.0001
BC	3.599E-004	1	3.599E-004	6.366E+007	< 0.0001
ABC	7.703E-004	1	7.102E-004	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	0.018	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA realizado para la acidez titulable de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano demostró efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados y sus interacciones. Los efectos principales mostraron que la presión de vacío (A) tuvo la mayor contribución a la variabilidad con una suma de cuadrados de 3.751E-003, seguida por el tiempo de reposo (C) con 2.975E-003. El tiempo de impregnación (B) mostró la menor contribución individual con 3.950E-005. Se observaron interacciones significativas entre los factores, siendo la interacción entre presión de vacío y tiempo de impregnación (AB) la más relevante con una suma de cuadrados de 3.016E-003. Las interacciones AC y BC también resultaron significativas, al igual que la interacción de tercer orden (ABC), indicando que el efecto

de cada factor sobre la acidez titulable depende de los niveles de los otros factores. El modelo presentó un ajuste perfecto con un $R^2 = 1.0000$ y R^2 ajustado = 1.0000, indicando que la variabilidad en la acidez titulable es completamente explicada por los factores estudiados y sus interacciones.

3.3.3. Sólidos Solubles Totales (°Brix)

En la tabla IX se puede observar el análisis de varianza para los sólidos solubles totales de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA IX

Análisis de varianza para los sólidos solubles totales de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A - Presión de vacío	0.022	1	0.022	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	8.003E-004	1	8.003E-004	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	6.778E-004	1	6.778E-004	6.366E+007	< 0.0001
AB	0.017	1	0.017	6.366E+007	< 0.0001
AC	0.031	1	0.031	6.366E+007	< 0.0001
BC	0.050	1	0.050	6.366E+007	< 0.0001
ABC	0.020	1	0.020	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	0.019	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA para los sólidos solubles totales (°Brix) de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano reveló efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados y sus interacciones. La interacción entre el tiempo de impregnación y tiempo de reposo (BC) mostró la mayor contribución a la variabilidad con una suma de cuadrados de 0.050, seguida por la interacción entre presión de vacío y tiempo de reposo (AC) con 0.031. Entre los efectos principales, la presión de vacío (A) tuvo la mayor influencia con una suma de cuadrados de 0.022. Todas las interacciones (AB, AC, BC y ABC) resultaron estadísticamente significativas, lo que indica que el efecto de cada factor sobre los sólidos solubles totales está fuertemente influenciado por los niveles de los otros factores. La interacción de tercer orden (ABC) también fue significativa, con una suma de cuadrados de

0.020. El modelo estadístico mostró un ajuste perfecto con un $R^2 = 1.0000$ y R^2 ajustado = 1.0000, indicando que la variabilidad en los sólidos solubles totales es completamente explicada por los factores estudiados y sus interacciones.

3.3.4. Actividad de agua

En la tabla X se puede observar el análisis de varianza para la actividad de agua de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA X

Análisis de varianza para la actividad de agua de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A - Presión de vacío	4.061E-006	1	4.061E-006	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	4.061E-006	1	4.061E-006	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	4.061E-006	1	4.061E-006	6.366E+007	< 0.0001
AB	4.061E-006	1	4.061E-006	6.366E+007	< 0.0001
AC	4.061E-006	1	4.061E-006	6.366E+007	< 0.0001
BC	3.655E-004	1	3.655E-004	6.366E+007	< 0.0001
ABC	4.061E-004	1	4.061E-004	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	8.528E-005	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA para la actividad de agua de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano muestran que todos los factores estudiados (presión de vacío (A), tiempo de impregnación (B), y tiempo de reposo (C)), así como todas sus interacciones (AB, AC, BC, y ABC), tienen un efecto altamente significativo ($p < 0.0001$) sobre la actividad de agua. Cada factor y cada interacción tiene una suma de cuadrados de 4.061E-006, excepto la interacción ABC, que tiene una suma de cuadrados de 4.061E-004. El error puro tiene una suma de cuadrados de 0.000. El modelo muestra un R-cuadrado y un R-cuadrado ajustado de 1.0000, indicando un ajuste perfecto del modelo a los datos. Esto significa que los factores estudiados y sus interacciones explican completamente la variabilidad observada en la actividad del agua.

3.3.5. Humedad

En la tabla XI se puede observar el análisis de varianza para la humedad de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA XI

Análisis de varianza para la humedad de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A - Presión de vacío	9.260E-003	1	9.260E-003	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	5.883E-005	1	5.883E-005	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	5.884E-003	1	5.884E-003	6.366E+007	< 0.0001
AB	8.118E-003	1	8.118E-003	6.366E+007	< 0.0001
AC	3.482E-005	1	3.482E-005	6.366E+007	< 0.0001
BC	1.459E-004	1	1.459E-004	6.366E+007	< 0.0001
ABC	0.011	1	0.011	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	0.028	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA para la humedad muestra efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados (presión de vacío (A), tiempo de impregnación (B), tiempo de reposo (C)) y todas sus interacciones (AB, AC, BC, ABC). El factor A (presión de vacío) presenta la mayor suma de cuadrados (9.260E-003), seguido de C (tiempo de reposo) con 5.884E-003. Las interacciones también muestran sumas de cuadrados significativas, con AB (8.118E-003) siendo la interacción con mayor suma de cuadrados. La interacción ABC tiene una suma de cuadrados de 0.011. El error puro es 0.000. El modelo presenta un R-cuadrado y un R-cuadrado ajustado de 1.0000, indicando un ajuste perfecto. Esto significa que la variabilidad en la humedad es completamente explicada por los factores y sus interacciones.

3.3.6. Luminosidad (L*)

En la tabla XII se puede observar el análisis de varianza para la Luminosidad (L*) de las rodajas de manzanas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA XII

Análisis de varianza para la luminosidad (L*) de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
---------------------	-------------------	----	----------------	---------	---------

A - Presión de vacío	0.32	1	0.32	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	0.084	1	0.084	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	0.12	1	0.12	6.366E+007	< 0.0001
AB	0.52	1	0.52	6.366E+007	< 0.0001
AC	0.25	1	0.25	6.366E+007	< 0.0001
BC	0.11	1	0.11	6.366E+007	< 0.0001
ABC	0.028	1	0.028	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	1.54	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA para la luminosidad (L^*) muestra efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados (presión de vacío (A), tiempo de impregnación (B), tiempo de reposo (C)) y todas sus interacciones (AB, AC, BC, ABC). La presión de vacío (A) presenta la mayor suma de cuadrados (0.32), indicando una mayor influencia en la luminosidad. Las interacciones también muestran sumas de cuadrados significativas, siendo la interacción AB (0.52) la que presenta el valor más alto. La interacción ABC tiene una suma de cuadrados de 0.028. El error puro es 0.000. El modelo presenta un R-cuadrado y un R-cuadrado ajustado de 1.0000, indicando un ajuste perfecto. Esto significa que la variabilidad en la luminosidad es completamente explicada por los factores y sus interacciones.

3.3.7. Parámetro a^*

En la tabla XIII se puede observar el análisis de varianza para el parámetro a^* de las rodajas de manazas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA XIII

Análisis de varianza para el parámetro a^* de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A - Presión de vacío	0.41	1	0.41	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	0.082	1	0.082	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	0.60	1	0.60	6.366E+007	< 0.0001
AB	0.94	1	0.94	6.366E+007	< 0.0001
AC	1.261E-003	1	1.261E-003	6.366E+007	< 0.0001
BC	0.39	1	0.39	6.366E+007	< 0.0001
ABC	0.66	1	0.66	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		

Total	2.80	11
R-cuadrado	1.0000	
R-Ajuste	1.0000	

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA para el parámetro de color a* muestra efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados (presión de vacío (A), tiempo de impregnación (B), tiempo de reposo (C)) y todas sus interacciones (AB, AC, BC, ABC). La interacción AB presenta la mayor suma de cuadrados (0.94), indicando una fuerte influencia en el parámetro a*. El tiempo de reposo (C) también muestra una suma de cuadrados considerable (0.60). La interacción AC tiene una suma de cuadrados de 1.261E-003, y la interacción ABC tiene una suma de cuadrados de 0.66. El error puro es 0.000. El modelo presenta un R-cuadrado y un R-cuadrado ajustado de 1.0000, indicando un ajuste perfecto. Esto significa que la variabilidad en el parámetro a* es completamente explicada por los factores y sus interacciones.

3.3.8. Parámetro b*

En la tabla XIV se puede observar el análisis de varianza para el parámetro b* de las rodajas de manazas impregnadas con jugo de arándano.

TABLA XIV

Análisis de varianza para el parámetro b* de rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano

Fuente de variación	Suma de cuadrados	DF	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
A - Presión de vacío	0.31	1	0.31	6.366E+007	< 0.0001
B -Tiempo de impregnación	0.49	1	0.49	6.366E+007	< 0.0001
C - Tiempo de reposo	2.35	1	2.35	6.366E+007	< 0.0001
AB	2.45	1	2.45	6.366E+007	< 0.0001
AC	0.024	1	0.024	6.366E+007	< 0.0001
BC	1.28	1	1.28	6.366E+007	< 0.0001
ABC	1.85	1	1.85	6.366E+007	< 0.0001
Error puro	0.000	4	0.000		
Total	7.89	11			
R-cuadrado	1.0000				
R-Ajuste	1.0000				

Fuente: Elaboración propia.

El ANOVA para el parámetro de color b* muestra efectos altamente significativos ($p < 0.0001$) para todos los factores estudiados

(presión de vacío (A), tiempo de impregnación (B), tiempo de reposo (C)) y todas sus interacciones (AB, AC, BC, ABC). El tiempo de reposo (C) presenta la mayor suma de cuadrados (2.35), indicando una fuerte influencia en el parámetro b^* . La interacción BC también muestra una suma de cuadrados significativa (1.28). La interacción ABC tiene una suma de cuadrados de 1.85. El error puro es 0.000. El modelo presenta un R-cuadrado y un R-cuadrado ajustado de 1.0000, indicando un ajuste perfecto. Esto significa que la variabilidad en el parámetro b^* es completamente explicada por los factores y sus interacciones.

3.4. Gráficos de los parámetros fisicoquímicos de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano en Tiempos de reposo

Las siguientes Figuras muestran las interacciones significativas entre las variables presión de vacío, tiempo de impresión y tiempo de reposo en las variables fisicoquímicas de las rodajas de manzana impregnadas con jugo de arándano.

En la Figura II se visualiza que la presión de vacío afecta el pH de manera diferente según el tiempo de impregnación.

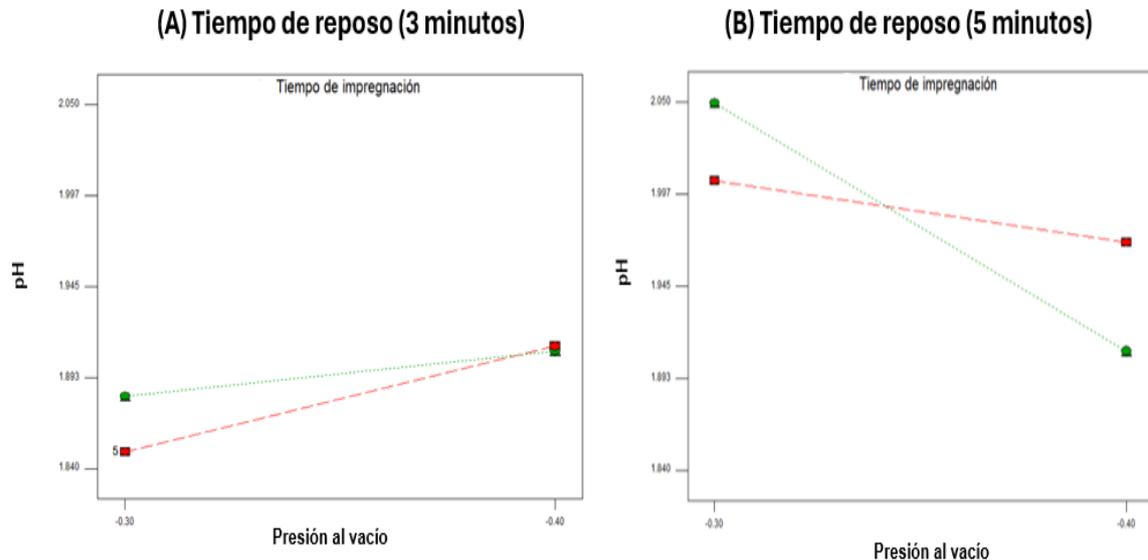


Fig. II pH en tiempo de reposo 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una ligera interacción entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. A medida que aumenta la presión al vacío, el pH aumenta ligeramente, independientemente del tiempo de impregnación. La diferencia en pH

entre los tiempos de impregnación es pequeña a baja presión, pero se incrementa a medida que aumenta la presión.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): La interacción es más pronunciada. A un tiempo de impregnación corto, el pH disminuye con el aumento de la presión al vacío. Sin embargo, a un tiempo de impregnación largo, el pH se mantiene relativamente constante, independientemente de la presión al vacío. La diferencia en pH entre los tiempos de impregnación es mayor a baja presión y disminuye a medida que aumenta la presión.

En la Figura III se visualizan las interacciones entre la presión de vacío y el tiempo de impregnación sobre la acidez titulable (% ácido málico) para dos tiempos de reposo

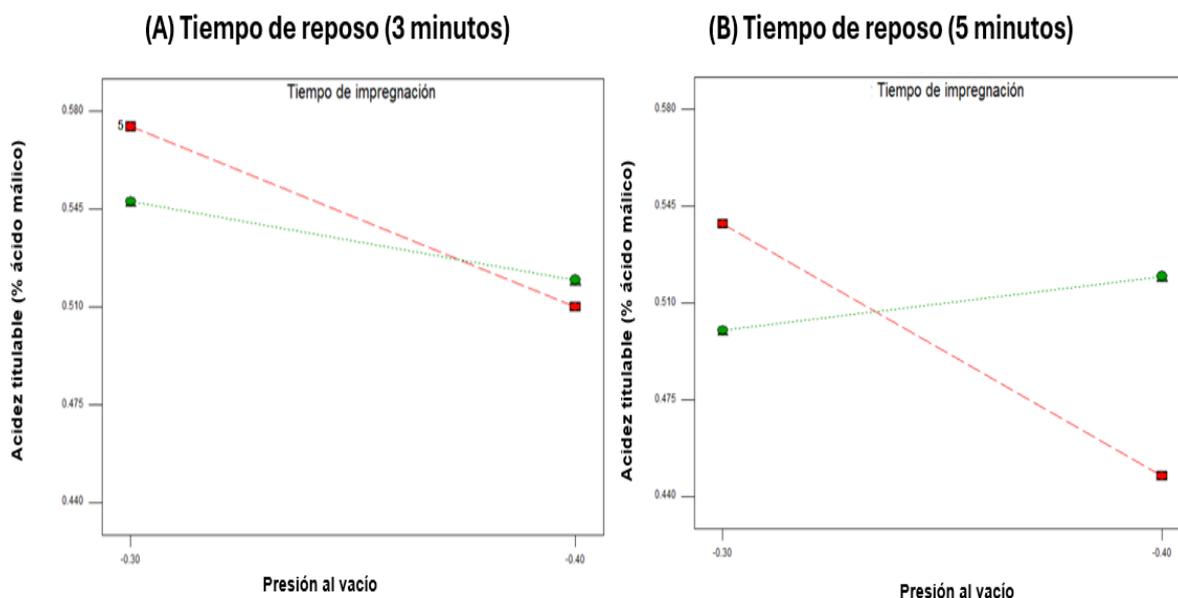


Fig. III Acidez titulable (% ácido málico) en tiempo de reposo de 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa un decremento de la acidez titulable a medida que incrementa la presión al vacío, para ambos tiempos de impregnación. Sin embargo, la disminución es más pronunciada con el tiempo de impregnación más largo. Existe una interacción clara entre la presión y el tiempo de impregnación, ya que la diferencia en acidez entre los tiempos de impregnación es mayor a baja presión y menor a alta presión.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): Similar a la gráfica A, se observa una disminución de la acidez titulable al aumentar la presión al vacío. En este caso, la diferencia en la acidez titulable entre los tiempos de impregnación es menor que en la gráfica A, especialmente a presiones más altas. La interacción entre presión y tiempo de impregnación es menos pronunciada que en el caso de 3 minutos de reposo.

En la Figura IV se observa los gráficos de Sólidos solubles Totales (°Brix) en (A) Tiempo de reposo de 3 minutos y (B) Tiempo de reposo de 5 minutos.

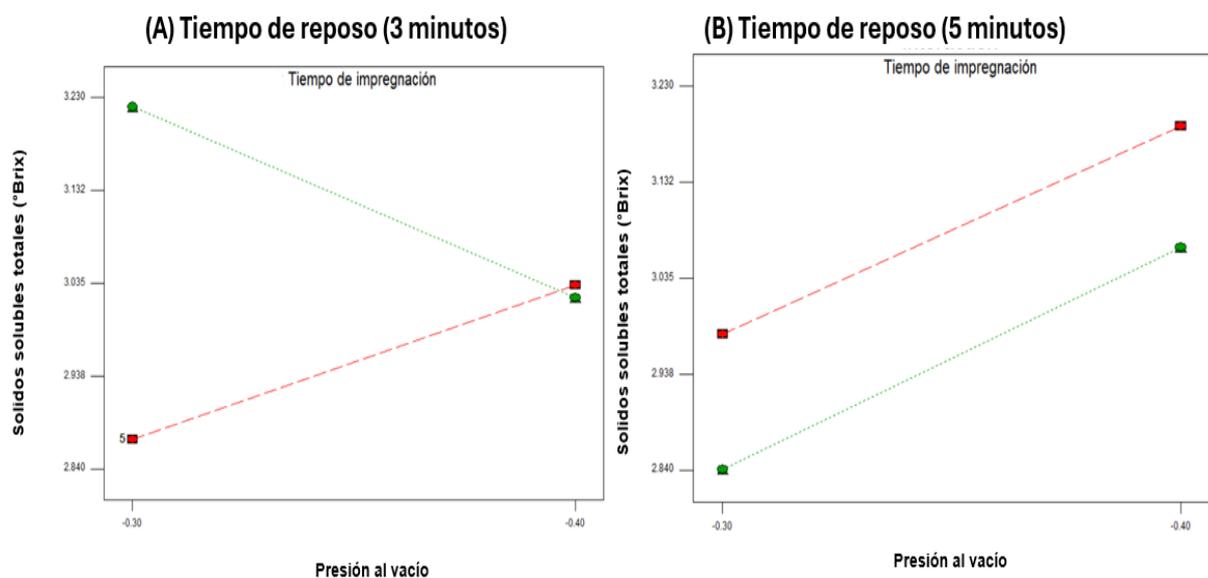


Fig. IV Sólidos solubles totales (°Brix) en tiempo de reposo 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una interacción entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. Con un tiempo de impregnación corto, los sólidos solubles totales disminuyen ligeramente al aumentar la presión al vacío. Sin embargo, con un tiempo de impregnación largo, los sólidos solubles totales aumentan ligeramente al aumentar la presión al vacío.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): Similar a la gráfica A, se observa una interacción. Con un tiempo de impregnación corto, los sólidos solubles totales aumentan al aumentar la presión al vacío. Con un tiempo de impregnación largo, los sólidos solubles totales también

aumentan al aumentar la presión al vacío, pero con una pendiente más pronunciada.

En la Figura V se observa los gráficos de Actividad de agua en (A) Tiempo de reposo de 3 minutos y (B) Tiempo de reposo de 5 minutos

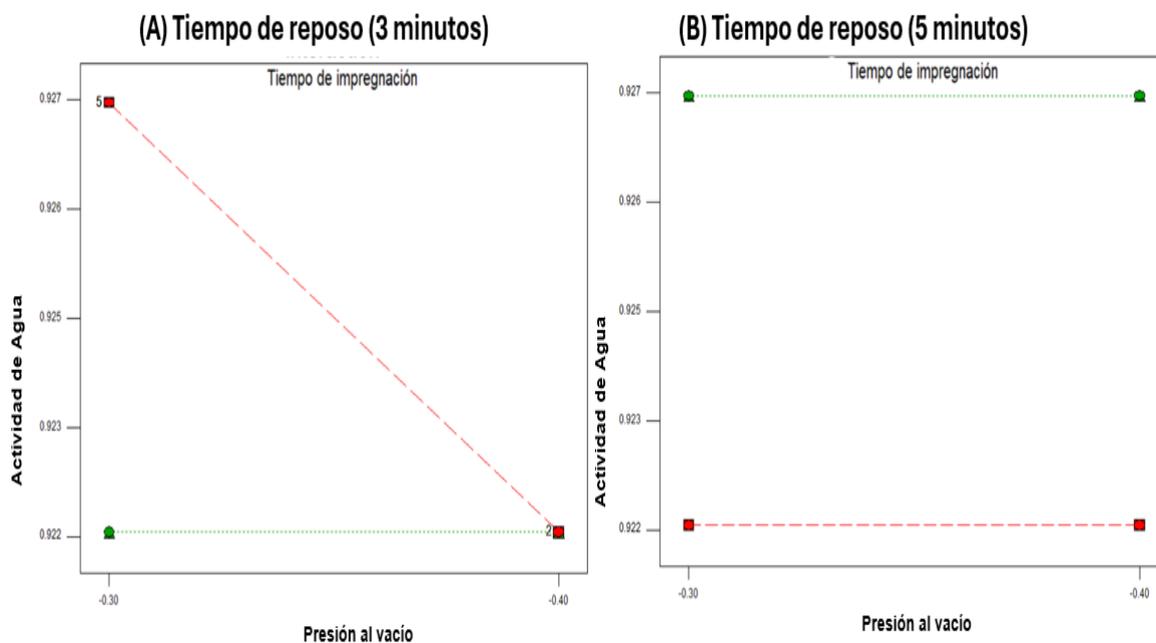


Fig. V Actividad de agua en tiempo de reposo 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una fuerte interacción entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. A un tiempo de impregnación corto, la actividad de agua permanece casi constante a pesar del cambio en la presión. Sin embargo, a un tiempo de impregnación largo, la actividad de agua disminuye significativamente con el aumento de la presión al vacío.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): En este caso, la actividad de agua permanece casi constante para ambos tiempos de impregnación, independientemente de la presión al vacío. No se observa una interacción significativa entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación.

En la Figura VI se observa los gráficos de Humedad (%) (A) Tiempo de reposo de 3 minutos y (B) tiempo de reposo de 5 minutos.

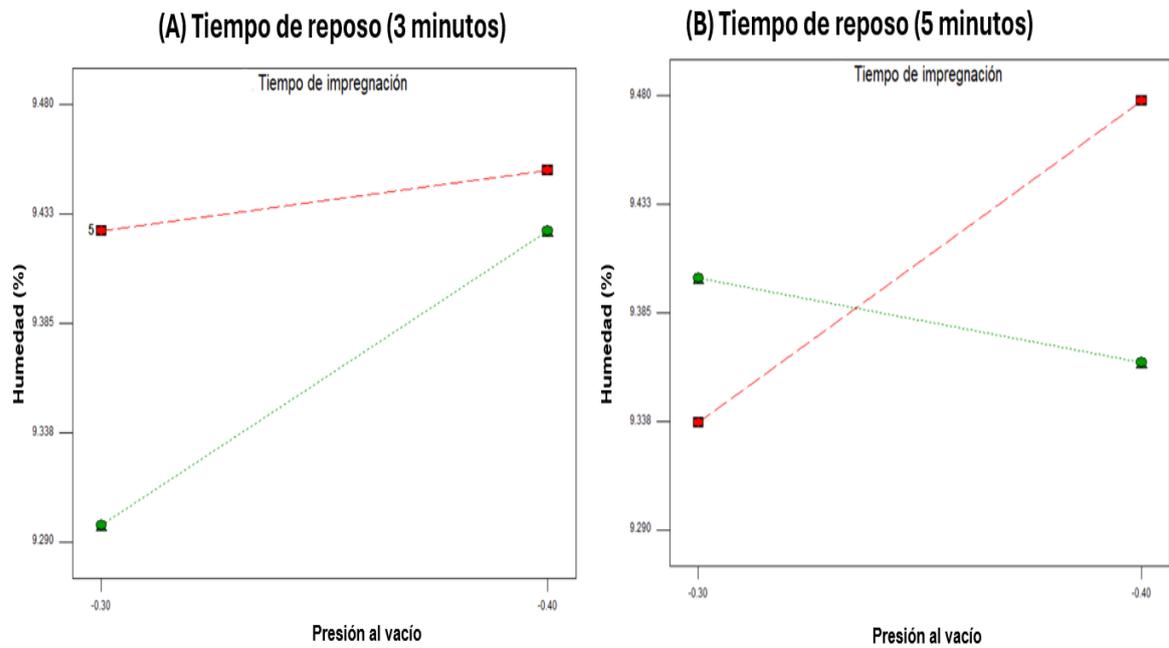


Fig. VI Humedad (%) en tiempo de reposo 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una interacción entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. A baja presión, la humedad es significativamente menor para un tiempo de impregnación corto comparado con uno largo. Sin embargo, a alta presión, la diferencia entre ambos tiempos de impregnación es menor. La humedad aumenta ligeramente con la presión al vacío para tiempos de impregnación largos.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): Aquí, la interacción es diferente. A baja presión, la humedad es ligeramente mayor con un tiempo de impregnación corto. Al aumentar la presión, la humedad disminuye para el tiempo corto, mientras que aumenta para el tiempo largo, resultando en un cruce de las líneas.

En la Figura VII se observa los gráficos de Luminosidad (A) Tiempo de reposo de 3 minutos y (B) Tiempo de reposo de 5 minutos.

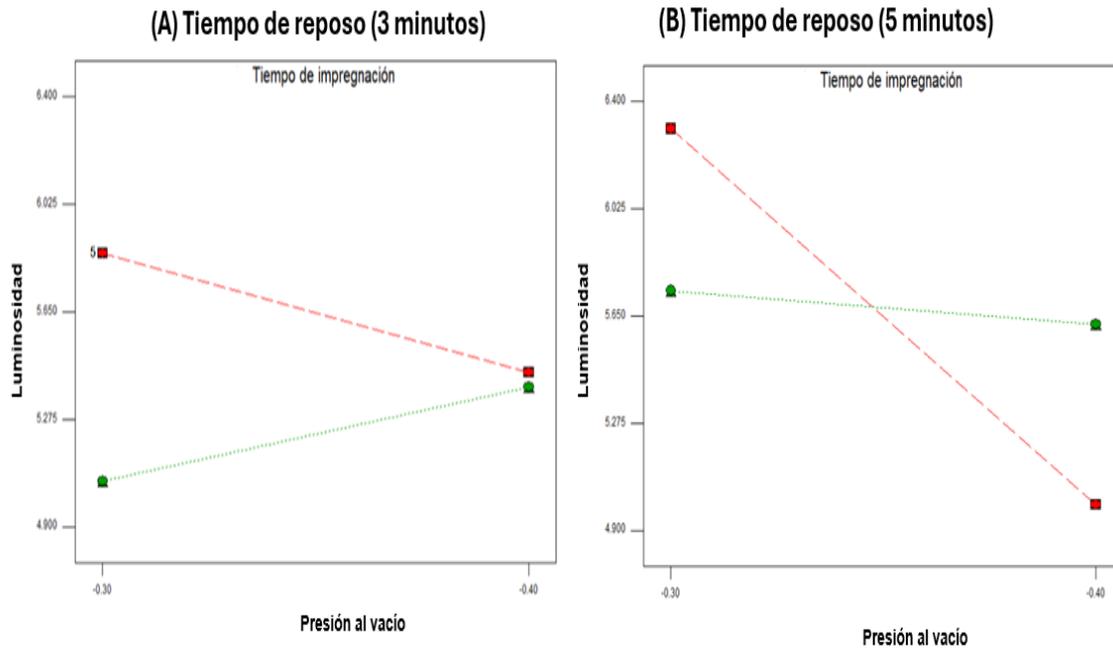


Fig. VII Luminosidad en tiempo de reposo 3 min y 5 min

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una interacción negativa entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. Al aumentar la presión al vacío, la luminosidad disminuye, y esta disminución es más pronunciada para tiempos de impregnación más largos.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): En este caso, la interacción es diferente. La luminosidad disminuye con el aumento de la presión al vacío para tiempos de impregnación largos. Sin embargo, para tiempos de impregnación cortos, la luminosidad se mantiene relativamente constante con el cambio de presión. Existe un punto de cruce entre las líneas de los dos tiempos de impregnación.

En la Figura VIII se observa los gráficos de a * (A) Tiempo de reposo de 3 minutos y (B) Tiempo de reposo de 5 minutos.

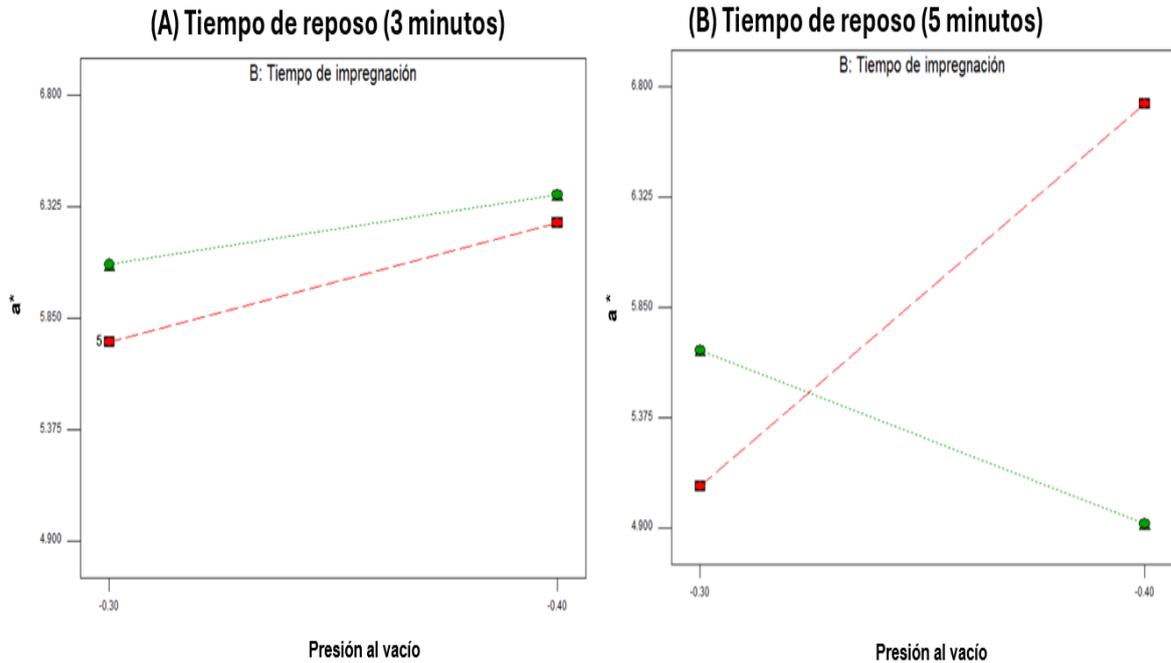


Fig. VIII Parámetro a^* en tiempos de reposo de 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una interacción positiva entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. Al aumentar la presión al vacío, el valor de a^* aumenta ligeramente, y este aumento es más pronunciado para tiempos de impregnación más largos.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): Aquí, la interacción es diferente. Para tiempos de impregnación cortos, el valor de a^* aumenta con la presión al vacío. Sin embargo, para tiempos de impregnación largos, el valor de a^* disminuye con el aumento de la presión. Existe un punto de cruce entre las líneas que representan los dos tiempos de impregnación.

En la Figura IX se observa los gráficos de a^* (A) Tiempo de reposo de 3 minutos y (B) Tiempo de reposo de 5 minutos

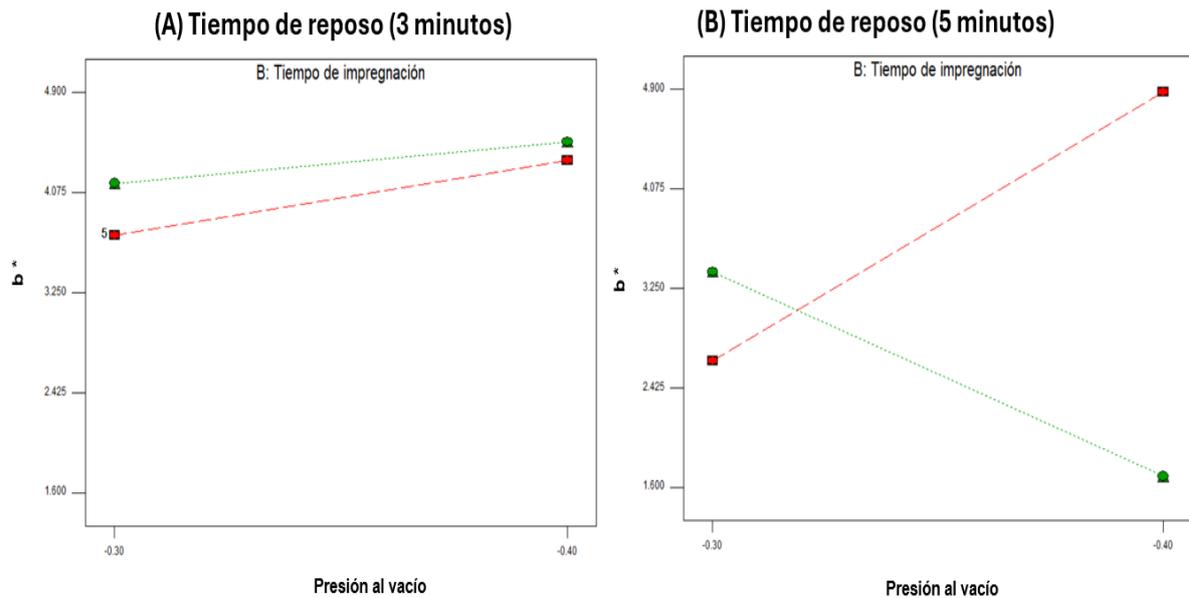


Fig. IX Parámetro b^* en tiempos de reposo de 3 min y 5 min.

Gráfica (A) - Tiempo de reposo (3 minutos): Se observa una interacción positiva, aunque débil, entre la presión al vacío y el tiempo de impregnación. Al aumentar la presión, el valor de b^* aumenta ligeramente, y este incremento es algo mayor para tiempos de impregnación más largos.

Gráfica (B) - Tiempo de reposo (5 minutos): En este caso, la interacción es negativa y más pronunciada. Para tiempos de impregnación cortos, el valor de b^* disminuye con el aumento de la presión al vacío. Para tiempos de impregnación largos, el valor de b^* también disminuye, pero con una pendiente más pronunciada. Existe un cruce entre las líneas de los dos tiempos de impregnación.

4. DISCUSIONES

La impregnación al vacío es una tecnología que se basa en la incorporación de compuestos en una matriz alimentaria porosa lo que ha demostrado la viabilidad de mejorar las características funcionales del alimento [12]. En este estudio, se utilizó el jugo de arándanos el cual tiene un alto contenido en compuesto antioxidantes como las antocianinas y los flavonoides, vitamina C, B y A, para impregnar rodajas de manzanas [44]. El objetivo principal fue evaluar el efecto de esta técnica sobre las propiedades fisicoquímicas en las rodajas de manzanas impregnadas con el jugo de arándano.

El pH y la acidez titulable son considerados parámetros importantes en los alimentos, debido a que ambos evalúan la acidez, factor clave para la calidad, estabilidad y seguridad del producto. Según Anaya-Esparza et al , la impregnación al vacío de rodajas de manzana con extracto de cálices de Jamaica redujo el pH (de 4.01 a entre 3.29 y 3.67) y aumentó significativamente la acidez titulable (de 0.37% a 0.45% de ácido cítrico) en comparación con las muestras sin tratar.

Así mismo, los sólidos solubles totales (°Brix) simbolizan principalmente el contenido de azúcares en el alimento. González et al.[10] indican que la impregnación al vacío (IV) puede disminuir los sólidos solubles totales en las rodajas de manzana debido a la pérdida de algunos sólidos durante la incorporación del extracto. No obstante, otros estudios [45] muestran un aumento en los sólidos solubles totales al usar soluciones con azúcares añadidos (como jaggery, sacarosa y miel), sugiriendo que este incremento se debe a la presencia de estos solutos en la mezcla.

La actividad de agua se midió para determinar la vulnerabilidad de los alimentos al desarrollo microbiano [46]. Nawirska et al. [46] informaron un valor de 0.88 en chokeberry impregnado con jugo de manzana y pera. De manera similar, Castagnini et al. [45] reportó una actividad de agua de 0.98 en manzanas impregnadas con jugo de arándanos, mientras que valores comparables también fueron encontrados en manzanas tratadas con jugo de aloe vera [7]. Por otra parte, Trusinska et al. [7] observó un aumento en el contenido de humedad de 84.88 a 86.29 % en rodajas de manzana impregnadas con aloe vera, así mismo, Lima et al. [47] reportó que la humedad en piñas impregnadas al vacío fue mayor en comparación con la muestra control, lo que se atribuyó a la absorción de agua durante el proceso. No obstante, Barrera et al. [48] registraron una reducción en el contenido de humedad tras la impregnación al vacío en manzanas impregnadas con jaggery. Estas variaciones en los resultados pueden estar

relacionadas con diferencias en las materias primas, las soluciones de impregnación y las condiciones del proceso [49].

El color en los productos alimenticios es un factor clave, ya que influye significativamente en la percepción de calidad y aceptación por parte del consumidor [7]. Según los resultados obtenidos en los parámetros de color, el mayor cambio se observó en la luminosidad (L^*), lo cual es comparable con los valores reportados en manzanas impregnadas con aloe vera, donde se registró un valor de 50.35 para las muestras tratadas [7]. La reducción de la luminosidad (L^*) puede estar asociada con modificaciones en la capa superficial del producto tras la inmersión en soluciones azucaradas o con el aumento de la translucidez debido a la sustitución del gas por el jugo de impregnación en los espacios intercelulares [50]. Por otro lado, el parámetro a^* está vinculado con la transición del color verde al rojo, mientras que el parámetro b^* refleja cambios del azul al amarillo. Un comportamiento similar ha sido documentado en rodajas de pera y calabacín impregnados con jugo de arándano [11] [51]. Estas variaciones cromáticas se atribuyen a la retención de pigmentos presentes en el jugo de arándano dentro de los poros de la matriz de la fruta, lo que provoca un oscurecimiento del producto (reducción en L^*), un incremento en a^* (tendencia hacia el rojo) y una disminución en b^* [11] [51].

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La impregnación al vacío de jugo de arándano promueve cambios en los parámetros fisicoquímicos como pH, acidez titulable, sólidos solubles totales, aw, humedad y color.

Esta técnica demuestra un gran potencial en la industria alimentaria, para ofrecer productos más saludables y atractivos para los consumidores. Los resultados obtenidos muestran la viabilidad de este método para mejorar las características sensoriales y nutricionales de las rodajas de manzana.

Recomendaciones

Se propone profundizar la investigación sobre la impregnación al vacío de rodajas de manzana con extracto acuoso de arándano para optimizar el proceso. Esto implica analizar el efecto de diferentes variedades de manzana, su madurez, y la concentración del extracto, además de evaluar variables como la temperatura y el tiempo de reposo para perfeccionar la técnica.

6. REFERENCIAS

- [1] K. Topolska, A. Florkiewicz, A. Filipiak-Florkiewicz, D. Gł, Abska, y P. B. Tchounwou, “Functional Food—Consumer Motivations and Expectations”, *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2021, Vol. 18, Page 5327, vol. 18, núm. 10, p. 5327, may 2021, doi: 10.3390/IJERPH18105327.
- [2] M. T. Baker, P. Lu, J. A. Parrella, y H. R. Leggette, “Consumer Acceptance toward Functional Foods: A Scoping Review”, *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2022, Vol. 19, Page 1217, vol. 19, núm. 3, p. 1217, ene. 2022, doi: 10.3390/IJERPH19031217.
- [3] D. Del Castillo-Fernández, A. Brañez-Condorena, P. Villacorta-Landeo, L. Saavedra-García, A. Bernabé-Ortiz, y J. Miranda, “Advances in the investigation of chronic non-communicable diseases in Peru”, *An. la Fac. Med.*, vol. 81, núm. 4, pp. 444–452, 2020, doi: 10.15381/ANALES.V81I4.18798.
- [4] J. Oblitas-Cruz, E. Rojas-Gutiérrez, J. Oblitas-Cruz, y E. Rojas-Gutiérrez, “Optimizing the Incorporation of Aloe Vera in Yacon (*Smallanthus Sonchifolius* Poepp. & Endl.) through Vacuum Impregnation Using Response Surface”, *Ing. y Univ.*, vol. 22, núm. 1, pp. 117–136, ene. 2018, doi: 10.11144/JAVERIANA.IYU22-1.OIAV.
- [5] N. Urala y L. Lähteenmäki, “Attitudes behind consumers’ willingness to use functional foods”, *Food Qual. Prefer.*, vol. 15, núm. 7–8, pp. 793–803, oct. 2004, doi: 10.1016/J.FOODQUAL.2004.02.008.
- [6] B. R. Vinod, R. Asrey, S. Sethi, M. Menaka, N. K. Meena, y G. Shivaswamy, “Recent advances in vacuum impregnation of fruits and vegetables processing: A concise review”, *Heliyon*, vol. 10, núm. 7, p. e28023, abr. 2024, doi: 10.1016/J.HELİYON.2024.E28023.
- [7] M. Trusinska, K. Rybak, F. Drudi, U. Tylewicz, y M. Nowacka, “Combined effect of ultrasound and vacuum impregnation for the modification of apple tissue enriched with aloe vera juice”, *Ultrason. Sonochem.*, vol. 104, p. 106812, mar. 2024, doi: 10.1016/J.ULTSONCH.2024.106812.
- [8] E. Radziejewska-Kubzdela, J. Szadzińska, R. Biegańska-Marecik, T. Spiżewski, y D. Mierzwa, “Effect of ultrasound on mass transfer during vacuum impregnation and selected quality parameters of products: A case study of carrots”, *Ultrason. Sonochem.*, vol. 99, p. 106592, oct. 2023, doi:

10.1016/J.ULTSONCH.2023.106592.

- [9] L. M. Anaya-Esparza *et al.*, “Optimization of Vacuum Impregnation with Aqueous Extract from Hibiscus sabdariffa Calyces in Apple Slices by Response Surface Methodology: Effect on Soluble Phenols, Flavonoids, Antioxidant Activity, and Physicochemical Parameters”, *Appl. Sci.* 2024, Vol. 14, Page 10850, vol. 14, núm. 23, p. 10850, nov. 2024, doi: 10.3390/APP142310850.
- [10] J. E. González-Pérez, O. Jiménez-González, N. Ramírez-Corona, J. A. Guerrero-Beltrán, y A. López-Malo, “Vacuum impregnation on apples with grape juice concentrate: Effects of pressure, processing time, and juice concentration”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 77, p. 102981, may 2022, doi: 10.1016/J.IFSET.2022.102981.
- [11] S. K. T. Seraglio *et al.*, “Vacuum Impregnation, Ohmic Heating, and Drying Processes on Pear Slices Impregnated With Blueberry Juice: Phenolics, Antioxidant, and Color Characteristics”, jun. 2023, doi: 10.20944/PREPRINTS202306.1293.V1.
- [12] R. A. Mejía-Águila, A. Aguilar-Galvez, R. Chirinos, R. Pedreschi, y D. Campos, “Vacuum impregnation of apple slices with Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) fructooligosaccharides to enhance the functional properties of the fruit snack”, *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 56, núm. 1, pp. 392–401, ene. 2021, doi: 10.1111/IJFS.14654.
- [13] A. Kumar, D. P. Sharma, P. Kumar, G. Sharma, y I. I. Suprun, “Comprehensive insights on Apple (*Malus x domestica* Borkh.) bud sport mutations and epigenetic regulations”, *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 297, p. 110979, abr. 2022, doi: 10.1016/J.SCIENTA.2022.110979.
- [14] J. W. Johnston, E. W. Hewett, y M. L. A. T. M. Hertog, “Postharvest softening of apple (*Malus domestica*) fruit: A review”, *New Zeal. J. Crop Hortic. Sci.*, vol. 30, núm. 3, pp. 145–160, 2002, doi: 10.1080/01140671.2002.9514210.
- [15] Z. Chen, L. Yu, W. Liu, J. Zhang, N. Wang, y X. Chen, “Research progress of fruit color development in apple (*Malus domestica* Borkh.)”, *Plant Physiol. Biochem.*, vol. 162, pp. 267–279, may 2021, doi: 10.1016/J.PLAPHY.2021.02.033.
- [16] WAPA, “Southern hemisphere 2021 apple production and exports”, 2021. https://wapa-association.org/asp/article_2.asp?doc_id=665 (consultado ene. 21, 2025).

- [17] A. V. Shlyavas, A. A. Trifonova, L. V. Dedova, K. V. Boris, y A. M. Kudryavtsev, "Genetic Diversity of Old and Local Apple (*Malus x domestica* Borkh.) Cultivars from the Collection of VIR according to AFLP Analysis", *Russ. J. Genet.*, vol. 55, núm. 11, pp. 1338–1346, nov. 2019, doi: 10.1134/S1022795419110140/METRICS.
- [18] M. Kumar *et al.*, "Apple (*Malus domestica* Borkh.) seed: A review on health promoting bioactivities and its application as functional food ingredient", *Food Biosci.*, vol. 50, p. 102155, dic. 2022, doi: 10.1016/J.FBIO.2022.102155.
- [19] N. Kumari *et al.*, "Exploring apple pectic polysaccharides: Extraction, characterization, and biological activities - A comprehensive review", *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 255, p. 128011, ene. 2024, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2023.128011.
- [20] C. Paredes *et al.*, "La relación entre la rentabilidad y el modelo de negocio. Caso: Productores de manzana Delicia del distrito de Calango, provincia de Cañete", Consultado: ene. 21, 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/614035>.
- [21] F. G. K. Vieira, G. D. S. C. Borges, C. Copetti, R. D. D. M. C. Amboni, F. Denardi, y R. Fett, "Physico-chemical and antioxidant properties of six apple cultivars (*Malus domestica* Borkh) grown in southern Brazil", *Sci. Hort. (Amsterdam)*, vol. 122, núm. 3, pp. 421–425, oct. 2009, doi: 10.1016/J.SCIENTA.2009.06.012.
- [22] M. A. Acquavia *et al.*, "Analytical methods for extraction and identification of primary and secondary metabolites of apple (*Malus domestica*) fruits: A review", *Separations*, vol. 8, núm. 7, p. 91, jul. 2021, doi: 10.3390/SEPARATIONS8070091/S1.
- [23] J. Patocka *et al.*, "*Malus domestica*: A Review on Nutritional Features, Chemical Composition, Traditional and Medicinal Value", *Plants 2020*, Vol. 9, Page 1408, vol. 9, núm. 11, p. 1408, oct. 2020, doi: 10.3390/PLANTS9111408.
- [24] L. X. Kuang *et al.*, "Discrimination of geographical origin of blueberries from three major producing areas of China using mineral element analyses", *At. Spectrosc.*, vol. 42, núm. 2, pp. 91–98, mar. 2021, doi: 10.46770/AS.2021.004.
- [25] Y. M. Ormazábal *et al.*, "Caracterización de predios productores de arándanos (*Vaccinium corymbosum*), según nivel tecnológico. El caso de la región del Maule-Chile", *Inf. tecnológica*, vol. 31, núm. 1, pp. 41–52, feb. 2020, doi:

10.4067/S0718-07642020000100041.

- [26] “Arándanos, un nuevo impulso a la agroexportación en el Perú y en la región Piura.”
- [27] R. D. Collantes y J. Altamirano Aquije, “Fincas productoras de arándano azul en Cañete, Lima, Perú”, *Aporte Santiaguino*, ISSN 2070-836X, ISSN-e 2616-9541, Vol. 13, Nº. 1, 2020 (*Ejemplar Dedic. a Enero-Junio*), págs. 9-25, vol. 13, núm. 1, pp. 9–25, 2020, doi: 10.32911/as.2020.v13.n1.677.
- [28] D. D. Herrera-Balandrano *et al.*, “Hypoglycemic and hypolipidemic effects of blueberry anthocyanins by AMPK activation: In vitro and in vivo studies”, *Redox Biol.*, vol. 46, p. 102100, oct. 2021, doi: 10.1016/J.REDOX.2021.102100.
- [29] C. Ayelen, P. Andrea, L. Marina, y J. Manuel, “Evaluación de la digestión in vitro de compuestos bioactivos de arándanos”.
- [30] Y. Duan *et al.*, “Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review”, *Int. J. Food Microbiol.*, vol. 381, p. 109890, nov. 2022, doi: 10.1016/J.IJFOODMICRO.2022.109890.
- [31] C. Dias *et al.*, “Natural-Based Antioxidant Extracts as Potential Mitigators of Fruit Browning”, *Antioxidants 2020*, Vol. 9, Page 715, vol. 9, núm. 8, p. 715, ago. 2020, doi: 10.3390/ANTIOX9080715.
- [32] P. Paudel, S. H. Seong, A. Wagle, B. S. Min, H. A. Jung, y J. S. Choi, “Antioxidant and anti-browning property of 2-arylbenzofuran derivatives from *Morus alba* Linn root bark”, *Food Chem.*, vol. 309, p. 125739, mar. 2020, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2019.125739.
- [33] N. Hamdan, C. H. Lee, S. L. Wong, C. E. N. C. A. Fauzi, N. M. A. Zamri, y T. H. Lee, “Prevention of Enzymatic Browning by Natural Extracts and Genome-Editing: A Review on Recent Progress”, *Mol. 2022*, Vol. 27, Page 1101, vol. 27, núm. 3, p. 1101, feb. 2022, doi: 10.3390/MOLECULES27031101.
- [34] M. Trad, C. M. Renard, y M. Harbi, “Key descriptors for sugars and acids to evaluate *Vitis sylvestris* Grapevines”, Consultado: ene. 25, 2025. [En línea]. Disponible en: www.scholarena.com.
- [35] S. Milovanovic *et al.*, “Selection of processing parameters for the integrated supercritical CO₂ extraction from green tea leaves and extract impregnation onto starch-chitosan based films”, *J. Supercrit. Fluids*, vol. 206, p. 106163, abr. 2024,

doi: 10.1016/J.SUPFLU.2023.106163.

- [36] S. K. T. Seraglio, L. Gonzalez-Cavieres, G. Trautmann-Saez, C. Pavez-Guajardo, y J. Moreno, “Unconventional technologies as a strategy to improve the phenolic and antioxidant potential of zucchini products enriched with blueberry juice”, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, vol. 95, p. 103738, jul. 2024, doi: 10.1016/J.IFSET.2024.103738.
- [37] P. Saleena, E. Jayashree, K. C. Neethu, S. Bhuvaneswari, P. V. Alfiya, y K. Anees, “Optimization of vacuum impregnated nutmeg rind candy using RSM modeling: effect on functional and nutritional properties”, *J. Food Sci. Technol.*, vol. 61, núm. 11, pp. 2121–2132, nov. 2024, doi: 10.1007/S13197-024-05982-6/METRICS.
- [38] P. Saleena, E. Jayashree, y K. Anees, “A Comprehensive Review on Vacuum Impregnation: Mechanism, Applications and Prospects”, *FOOD BIOPROCESS Technol.*, vol. 17, núm. 6, pp. 1434–1447, 2024, doi: 10.1007/s11947-023-03185-z.
- [39] A. C. Durán-Castañeda, S. González-Moya, J. A. Sánchez-Burgos, S. G. Sáyago-Ayerdi, y V. M. Zamora-Gasga, “Applications of vacuum impregnation as a technology to incorporate functional components in vegetal matrices”, *Food Chem. Adv.*, vol. 4, p. 100579, jun. 2024, doi: 10.1016/J.FOCHA.2023.100579.
- [40] E. Betoret, N. Betoret, P. Rocculi, y M. Dalla Rosa, “Strategies to improve food functionality: Structure–property relationships on high pressures homogenization, vacuum impregnation and drying technologies”, *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 46, núm. 1, pp. 1–12, nov. 2015, doi: 10.1016/J.TIFS.2015.07.006.
- [41] C. J. Pillco Cochan, D. Guzmán Loayza, y J. E. Cuéllar Bautista, “Composición fisicoquímica y análisis proximal del fruto de Sofaique *Geoffroea decorticans* (Hook. et Arn.) procedente de la region Ica-Perú”, *Rev Soc Quím Perú*, vol. 87, núm. 1, p. 2021, doi: 10.37761/rsqp.v87i1.319.
- [42] B. L. Moreno, Y. Alexandra, y D. Oyola, “Physico-chemical characterization parameters in fruit blackberry (*Rubus alpinus* Macfad)”, *Acta Agron*, vol. 65, núm. 2, pp. 130–136, 2016, doi: 10.15446/acag.v65n2.45587.
- [43] M. F. Cubas Aguilar, “Efecto del pre-tratamiento con ácido ascórbico en el proceso de deshidratación de mango (*Mangifera Indica* L.), variedad Edward en diferentes estadios de madurez”, 2022.

- [44] R. A. Mejía-Águila, A. Aguilar-Galvez, R. Chirinos, R. Pedreschi, y D. Campos, "Vacuum impregnation of apple slices with Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl) fructooligosaccharides to enhance the functional properties of the fruit snack", *Int. J. Food Sci. Technol.*, vol. 56, núm. 1, pp. 392–401, dic. 2020, doi: 10.1111/IJFS.14654.
- [45] J. M. Castagnini, N. Betoret, E. Betoret, y P. Fito, "Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix", *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 64, núm. 2, pp. 1289–1296, dic. 2015, doi: 10.1016/J.LWT.2015.06.044.
- [46] A. Nawirska-Olszańska, M. Paślawska, B. Stępień, M. Oziębłowski, K. Sala, y A. Smorowska, "Effect of Vacuum Impregnation with Apple-Pear Juice on Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Dried Chokeberry Fruit", *Foods 2020, Vol. 9, Page 108*, vol. 9, núm. 1, p. 108, ene. 2020, doi: 10.3390/FOODS9010108.
- [47] M. M. de Lima, G. Tribuzi, J. A. R. de Souza, I. G. de Souza, J. B. Laurindo, y B. A. M. Carciofi, "Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks", *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 72, pp. 501–509, oct. 2016, doi: 10.1016/J.LWT.2016.05.016.
- [48] C. Barrera, N. Betoret, y L. Seguí, "Potential of vacuum impregnation and osmotic dehydration techniques in producing jaggery-fortified apple snacks", *Sustain. Food Technol.*, vol. 2, núm. 4, pp. 1041–1051, jul. 2024, doi: 10.1039/D3FB00255A.
- [49] M. Trusinska, F. Drudi, K. Rybak, U. Tylewicz, y M. Nowacka, "Effect of the Pulsed Electric Field Treatment on Physical, Chemical and Structural Changes of Vacuum Impregnated Apple Tissue in Aloe Vera Juices", *Foods 2023, Vol. 12, Page 3957*, vol. 12, núm. 21, p. 3957, oct. 2023, doi: 10.3390/FOODS12213957.
- [50] U. Tylewicz *et al.*, "Chemical and physicochemical properties of semi-dried organic strawberries enriched with bilberry juice-based solution", *LWT*, vol. 114, p. 108377, nov. 2019, doi: 10.1016/J.LWT.2019.108377.
- [51] S. K. T. Seraglio *et al.*, "Processing of Enriched Pear Slices with Blueberry Juice: Phenolics, Antioxidant, and Color Characteristics", *Antioxidants*, vol. 12, núm. 7, p. 1408, jul. 2023, doi: 10.3390/ANTIOX12071408/S1.

ANEXOS

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE RODAJAS DE MANZANAS IMPREGNADAS CON JUGO DE ARANDANO

Anexo 1: Determinación de pH

Para la determinación del método de potenciómetro 981.12 de la AOAC International [43].

1. Preparación:

- Calibrar el potenciómetro con buffers pH 4.0 y 7.0
- Pesar 5g de muestra.
- Añadir 50mL de agua destilada.
- Homogeneizar la mezcla.

2. Medición:

- Temperatura ambiente (20-25°C).
- Sumergir el electrodo en la muestra.
- Esperar estabilización de la lectura.
- Registrar el valor.
- Limpiar electrodo entre mediciones.

Anexo 2: Determinación de acidez titulable (expresado en ácido cítrico)

Para la determinación del método volumétrico 942.15 del AOAC International [42].

1. Preparación muestra:

- Pesar 5g de muestra
- Añadir 50mL agua destilada
- Homogeneizar

2. Titulación:

- Agregar 5 gotas de fenolftaleína
- Titular con NaOH 0.1N
- Titular hasta pH 8.2-8.3
- Registrar volumen gastado de NaOH

3. Cálculo:

$$\%Acidez\ titulable = \left(\frac{G \times N \times Meq}{M} \right) \times 100$$

Donde:

G: Gasto de Hidróxido de Sodio (NaOH) (mL).

N: Normalidad del Hidróxido de Sodio (NaOH) a una concentración de 0.1 N.

Meq: Miliequivalentes del ácido cítrico

M: Valor del peso de la muestra (gr).

Anexo 3: Determinación de Sólidos solubles totales

Se determinará por método refractométrico 932.12. del AOAC International [43].

1. Se enciende el refractómetro digital y se verifica que esté limpio y seco. Para calibrarlo, se coloca una gota de agua destilada sobre el prisma, se presiona el botón de lectura (READ) y se confirma que marque 0,0 °Brix. En caso de ser necesario, se ajusta la calibración del equipo.
2. Se toma una muestra fresca y se corta en trozos pequeños. Luego, se envuelve una porción en una gasa limpia y se exprime manualmente hasta obtener unas gotas de jugo.
3. Se colocan una o dos gotas del jugo recién exprimido sobre el prisma del refractómetro, asegurándose de que la muestra cubra toda la superficie sin burbujas de aire.
4. En pocos segundos, la pantalla muestra el valor de °Brix, el cual representa la cantidad de sólidos solubles en el jugo de manzana.
5. Se anota el valor obtenido.
6. Una vez realizada la medición, se limpia el prisma con agua destilada y un papel absorbente para evitar contaminaciones en futuras mediciones. Finalmente, se apaga el refractómetro y se guarda en su estuche.

Anexo 4: Determinación de actividad de agua

Se determinará por el Método 978.18 de AOAC International [41].

1. Preparación del equipo

- Se enciende el medidor de actividad de agua (aw) y se calibra según las instrucciones del fabricante, utilizando soluciones de referencia si es necesario.
- Se asegura que el sensor del equipo esté limpio y seco para evitar interferencias en la medición.

2. Preparación de la muestra

- Se coloca una cantidad representativa de la muestra en el recipiente de medición, evitando que toque el sensor directamente.
- Se sella el recipiente para permitir que la muestra alcance el equilibrio con el aire interno.

3. Medición de actividad de agua

- Se inicia la medición y se espera el tiempo necesario hasta que el equipo indique que se ha alcanzado el equilibrio (esto puede tomar varios minutos).
- Una vez estabilizada la lectura, se registra el valor de actividad de agua (aw) que aparece en la pantalla del equipo.

Anexo 5: Determinación de humedad

Se determinará por el Método 920.151 de AOAC International [41].

1. Preparación de los instrumentos

- Se introducen las charolas de aluminio en el horno de secado a 105°C durante 24 horas o hasta alcanzar un peso constante.
- Una vez transcurrido este tiempo, las charolas se trasladan a un desecador, donde se dejan enfriar por un mínimo de 30 minutos.
- Se enciende la balanza analítica y se calibra antes de proceder con las mediciones.

2. Procedimiento de medición

- Se pesa la charola previamente secada y se registra su peso.
- Se coloca la charola en la balanza, se tarará y luego se añade 1 g de muestra, registrando su peso con la máxima precisión que permita la balanza.
- La charola con la muestra se introduce en la estufa, donde permanecerá a 105°C durante 24 horas.
- Finalizado el tiempo de secado, se retira la charola con la muestra y se coloca en un desecador durante al menos 30 minutos para enfriarse.
- Finalmente, se pesa nuevamente la charola con la muestra seca y se anota el valor obtenido.
- El contenido de humedad se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{[(Peso\ charola +\ muestra\ húmeda\ (g)) - (Peso\ charola +\ muestra\ húmeda\ (g))]}{Peso\ muestra\ húmeda(g)} * 100$$

Anexo 6: Determinación de color

- Se enciende el dispositivo.
- Se realiza un corte transversal en la manzana; si se va a medir el color, el corte debe ser reciente para minimizar variaciones por oxidación.

- Se coloca el obturador del colorímetro y se presiona el botón "test".
- Una vez que el instrumento muestra los datos, se registran los valores L, a y b.