Procesos **agroindustriales** en **piña MD2**

Proyecto Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente

Financian

SGR Sistema General de Regalías

Gobernación Valle del Cauca

Apoyan

Universidad del Valle

Parque biopacífico

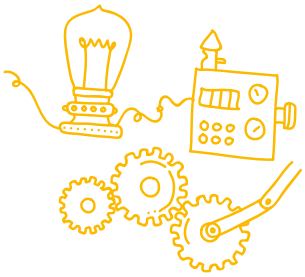
Bioversity International

CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical. Desde 1967 Ciencia para cultivar el cambio

Organiza

Universidad Nacional de Colombia

Procesos agroindustriales en piña MD2



Alberto Díaz Ortiz,
Claudia Isabel Ochoa Martínez
Carlos Vélez Pasos,
Alfredo Adolfo Ayala Aponte
Alejandro Fernández Quintero
Diana María Delgado Solarte
Cindy Camila Plaza Cortés
Diana Milena Terán Llorente
Vanessa González Torres
Lina Vanessa González Hoyos
Juan Pablo Benítez Franco
Claudia Liliana Vargas Serna
Paula Andrea Escobar Espina

Diego Alberto Castellanos Espinosa
Diana Cristina Moncayo Martínez
Lesley Andrea Cortés Jaimes
Adriana Isabel Rada Bula
Omar Giovanny Barón Cangrejo
Nestor Camilo Posada Rubiano

Procesos agroindustriales en piña MD2

Financian

Apoyan

Organiza

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Procesos agroindustriales en piña MD2 /
Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira), coordinador. -- Primera edición. -- Bogotá : Universidad Nacional de Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2022
220 páginas : ilustraciones (principalmente a color), diagramas, figuras fotografías,
Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo
ISBN 978-958-794-757-1 (impreso). -- ISBN 978-958-794-758-8 (e-book)

1. Piña -- Comercialización -- Valle del Cauca -- Colombia -- Proyectos 2. Ananás comosus 3. Agroindustria 4. Vigilancia tecnológica -- Valle del Cauca -- Colombia -- Proyectos 5. Agricultura de montaña 6. Tecnología postcosecha 7. Fruticultura -- Investigaciones -- Valle del Cauca -- Colombia -- Proyectos I. Universidad Nacional de Colombia (Sede Palmira), organizador, coordinador
CDD-23 664.804774 / 2022

Primera edición, junio del 2022

ISBN impreso: 978-958-794-757-1
ISBN digital: 978-958-794-758-8

Preparación editorial
Editorial Universidad Nacional de Colombia
Av. El Dorado # 44A-40
Hemeroteca Nacional Universitaria
Bogotá D. C., Colombia
(+601) 316 5000 Ext. 20040
direditorial@unal.edu.co

Coordinación editorial
Angélica María Olaya Murillo

Corrección de estilo
Hernán Rojas Rodríguez

Diseño de la colección
Andrea Kratzer

Diseño de cubierta y maquetación
Juan Carlos Villamil N.

Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA
Dirección Ac. 26 # 40-85
Edificio 500 C
Bogotá D.C., Colombia
Teléfono: (+57) (601) 316 50 00 Ext.19205-19206
Punto focal: Diego Alberto Castellanos
Correo: dacastellanose@unal.edu.co

Universidad del Valle Cl. 13 # 100-00, Cali, Valle del Cauca Teléfono: (+57) 601 321 21 00 Punto focal: Profesor Alberto Díaz Ortiz Correo: alberto.diaz@correounivalle.edu.co

Proyecto Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente. Código BPIN 2014000100010, financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) y coordinado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Cra. 32 # 12-00 vía Candelaria
Teléfono: (+57) 602 286 88 88
Punto focal: Profesor Herney Darío Vázquez Amariles
Correo electrónico: ladera_pal@unal.edu.co
Página web: https://ladera.palmira.unal.edu.co/

Este documento hace parte de una serie de volúmenes estratégicos desarrollados en el marco del proyecto "Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente", financiado por el Sistema General de Regalías (SGR) y coordinado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.

Fotografías de cubierta Pedro José Arango Dussan

Viñeta de cubierta diseñada por ikatod / rawpixel / Freepik, tomada de: www.freepik.es

Impreso y hecho en Bogotá, D. C., Colombia

CONTENIDO

1. VIGILANCIA TECNOLÓGICA SOBRE PROCESOS AGROINDUSTRIALES Y PRODUCTOS DE LA PIÑA MD2

Dentro del proyecto BPIN 2014000100010, "Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, occidente", la Universidad del Valle propuso la actividad 2 (diseñar e implementar procesos agroindustriales que generen valor agregado a los productos seleccionados con base en estándares internacionales, y desarrollar y evaluar empaques innovadores apropiados para los productos seleccionados en fresco y procesados) que incluye las siguientes actividades específicas: 1) vigilancia tecnológica sobre procesos agroindustriales y productos, 2) selección de los productos procesados por desarrollar y 3) selección de los procesos, entre otras.

En este documento se incluyen los resultados de los productos y los procesos seleccionados de acuerdo con las brechas identificadas para piña MD2, tanto en fresco como procesada, y se realiza un análisis comparativo de dichos resultados. La vigilancia tecnológica se llevó a cabo incluyendo 4 tipos de vigilancias (competitiva, comercial, científico-tecnológica y estratégica). Con base en estas, se seleccionaron los productos y procesos correspondientes a la fruta que fue objeto de este estudio.

A partir de lo anterior, se puede concluir que aumentar la vida útil del producto fresco es un reto para la exportación. En cuanto a la piña MD2, se encontró que los protocolos de exportación están definidos y los problemas se presentan en el área de producción, principalmente. Estos están relacionados con el tamaño del fruto y de la corona, la traslucidez, y la aparición de corona torcida, cintura y deformaciones, entre otros. Teniendo en cuenta la dificultad de manejo, distribución y consumo de piña entera, es necesario presentar alternativas a los productores.

Para responder a las situaciones presentadas, es necesario buscar opciones de conservación y transformación que permitan aumentar la productividad y competitividad de los sectores mencionados. Se definieron los siguientes productos y procesos:

- Piña fresca: piña mínimamente procesada.
- Piña procesada: *snacks* de piña obtenidos por fritura con aire caliente.

Este documento se presenta en el marco del proyecto "Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento del Valle del Cauca, occidente" ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira; la Universidad del Valle; y el Centro Internacional de Agricultura Tropical, con el apoyo económico del Sistema General de Regalías de Colombia (SGR). El estudio se desarrolló mediante la metodología de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, con el fin de establecer una herramienta que brinde información estratégica para la toma de decisiones de los actores

involucrados en el proyecto. Su objetivo principal es identificar, a través de la información recopilada, procesada y analizada, los productos por desarrollar, tanto frescos como procesados, y la selección de procesos para piña MD2.

Piña MD2

La piña (*Ananas comosus*) es un fruto no climatérico que pertenece a la familia Bromeliaceae, género *Ananas*; originario de Brasil y Paraguay; y que se consume en todo el mundo (Olmos, 2015). Es ampliamente conocida por sus usos gastronómicos, pero también tiene aplicaciones medicinales e industriales. Existen distintas variedades de piña que se cultivan en Colombia entre las cuales se pueden mencionar Cayena lisa, perolera, manzana y *gold* MD2 (Dane, 2016).

La variedad MD2, también conocida como piña oro miel o *golden*, es una variedad híbrida que, por su presentación, aroma, suavidad y dulzura, está catalogada como una fruta de lujo en los mercados externos, especialmente en Estados Unidos, donde es muy demandada. La MD2 tiene hasta 3 veces más vitamina C que otras variedades, una cáscara más dorada y es más dulce (Agroeficacia, 2019).

La piña es rica en fibra y vitamina C, es diurética, ayuda a eliminar toxinas del organismo y a mejorar la circulación sanguínea, por lo que reduce problemas de tipo cardíaco. Además, el jugo de piña puede emplearse para tratar inflamaciones y la retención de líquidos (Then, 2015). Su contenido de compuestos fenólicos es de 1000 mg GAE/100 g aproximadamente (en base seca, parte comestible) y de 2800 mg GAE/100 g (en base seca, parte no comestible) (Cárdenas *et al.*, 2015). La piña se consume como fruto fresco, pero también se utiliza para obtener sorbetes, jugos, compotas, mermeladas y vino. La corteza y el corazón se emplean para consumo animal (Betancur Gil y Palencia Villa, 2018).

La producción mundial de frutas tropicales como la piña, que es originaria de América Latina y el Caribe, fue de un 25 % entre el año 2016 y 2018. Esta región aportó el 75 % de exportaciones a nivel mundial y, aproximadamente, el 80 % fue destinado a mercados de los Estados Unidos y la Unión Europea (FAO, 2019).

En el caso de Colombia, el departamento de Santander produce en promedio el 39,9 % de piña fresca del país, con 194.000 t; el 38,1 % se produce en 4 departamentos: Valle del Cauca (17,2 %), Cauca (11,1 %), Quindío (5,1 %) y Meta (4,7 %); y el 22 % restante lo producen los demás departamentos (Olmos, 2015). En el 2016, el departamento del Valle del Cauca reportó el 18 % de la producción de piña. Su comercialización se realizó principalmente en fresco y tan solo un 2 % se destinó a exportación (Minagricultura, 2017).

Por otro lado, para el país, las ventas en el 2018 aumentaron, debido a que las exportaciones alcanzaron los 3.800.000 USD. Los principales destinos fueron Estados Unidos, Italia,

Países Bajos, España, Reino Unido, Chile, Ecuador, entre otros. El aumento de exportaciones benefició a los agricultores de los municipios de Guachené y otras zonas afectadas por el conflicto armado, como Caloto, Santander de Quilichao, Suárez y Toribío, en el departamento del Cauca. También, a los municipios de Bolívar y Dagua, en el departamento del Valle del Cauca (El País, 2018).

Para Colombia, en el 2016, el departamento del Valle del Cauca reportó el 18 % de la producción de piña. Su comercialización se realizó principalmente en fresco y tan solo un 2 % se destinó a exportación (Minagricultura, 2017). Debido a esto es importante el desarrollo de nuevos productos que permitan ofrecer alternativas para la industrialización y tecnificación de la producción de esta fruta, y una forma de generar valor agregado es mediante la mínima o mayor transformación de la fruta.

Actualmente, la tendencia del mercado a nivel internacional está dirigida a consumir productos saludables, nutritivos, prácticos, listos y fáciles de preparar, esto ha provocado alta demanda de frutas frescas, mínimamente procesadas o procesadas que mantengan sus propiedades nutricionales. Debido al rápido deterioro de las frutas, a los tiempos de cosecha y a las pérdidas poscosecha se han implementado tecnologías de conservación. Entre estas destacan las que disminuyen la tasa de respiración y transpiración de la fruta, las que funcionan como protectoras contra agentes patógenos y las que mantienen condiciones óptimas de manipulación en el transporte. En respuesta al aumento de demanda de este tipo de alimentos, se han desarrollado diferentes técnicas de procesamiento, como los mínimos procesados, y tratamientos de mayor transformación como la deshidratación que incluye operaciones como la liofilización, el secado con aire caliente y la fritura (Rosero Chamorro, 2018; Buitrago, 2017; Dussán-Sarria, Reyes-Calvache y Hleap-Zapata, 2014; Damely y Méndez, 2008).

La piña mínimamente procesada cuenta actualmente con un mercado en crecimiento, ya que se provee al consumidor de un alimento listo y sometido a diversas operaciones de procesado, tales como lavado, pelado, cortado y envasado. Con el fin de reducir las pérdidas debido a los daños fisiológicos en los tejidos, se han utilizado distintas tecnologías para la conservación de la piña fresca, entre las cuales se encuentran el uso de recubrimientos, empaques con atmósferas modificadas, pretratamientos con calor, pretratamientos con aceites esenciales y el uso de agentes inhibidores de etileno, entre otros (Montero *et al.*, 2008; Bierhals *et al.*, 2011; Pan *et al.*, 2015; Buitrago *et al.*, 2018). Estas estrategias tecnológicas que se han venido implementando generan la evolución del mercado de la frutas tropicales y permiten obtener productos de mayor calidad nutritiva, rentables y que se han alcanzado mediante procedimientos sostenibles (Alcaraz, 2017). El uso de los productos mínimamente procesados está orientado al segmento de los alimentos listos para consumir, para elaboración de jugos, conservas y *snacks,* y como ingrediente en los platos preparados.

Es de imperiosa necesidad que en Colombia se avance en investigaciones en el área de las frutas y vegetales mínimamente procesados, y en la búsqueda de mejoras tecnológicas que

logren conservar los frutos altamente perecederos como la piña. En particular, se deben buscar alternativas agroindustriales para la variedad MD2, ampliamente producida en la región del Valle del Cauca.

Entre las tecnologías que transforman las características de la fruta prolongando su vida útil y manteniendo significativamente su composición nutricional, están los procesos de secado, como el secado con aire caliente en bandejas, la liofilización, el secado por microondas, la radiación infrarroja y la ventana de refractancia (Rosero Chamorro, 2018).

Con los anteriores procesos se pueden obtener productos tipo *snacks* de frutas. Estos procesos se pueden combinar con otros para obtener un mejor producto. Por ejemplo, el secado por ventana de refractancia se puede combinar con la fritura por aire caliente (*air-frying*), porque confieren al producto final mejores propiedades sensoriales (Cazar Albuja, 2015). La tecnología *air-frying* se caracteriza por utilizar menor cantidad de aceite en comparación con la fritura tradicional y lograr una textura crujiente.

Según el Ministerio de Agricultura el 49 % de la producción de la fruta se consume en fresco, el 2 % se exporta y el restante 49 % se utiliza por la industria nacional para la elaboración de dulces, mermeladas, aderezos, almíbares, etc. (Minagricultura, 2018). Además, la fruta presenta alta fuente nutricional beneficiando la salud humana, por lo que se debe impulsar el consumo a nivel nacional. El consumo en el 2018 fue de 1,3 kg por persona al mes, en comparación con países como Estados Unidos, en el que por persona el consumo fue de 2,2 kg (Minagricultura, 2018).

De acuerdo con las dinámicas de comercio exterior en el mundo relacionadas con la piña en fresco, se ha evidenciado que, a nivel internacional, en los últimos 10 años hay una gran demanda del fruto con un aumento del 30 %. Las exportaciones también se encuentran en crecimiento con el 58 % de aumento en el mismo periodo. En el 2018, Estados Unidos fue el principal país importador de este fruto con una participación en el mercado mundial del 27 %, seguido de los Países Bajos con el 7 %. Dentro de los principales países se encuentran 7 países europeos con una participación conjunta del 38 % de la demanda mundial de piña en fresco (Trademap, 2019).

La población estadounidense está reemplazando las comidas tradicionales por *snacks*, a la hora del almuerzo los consumen un 23 %, en la cena un 17 % y en el desayuno un 8 %. Además, se ha introducido un 16 % frutas, nueces y semillas nutritivas para incluir sabores dulces e indulgentes (Nelson, 2019). Se está incrementando la compra de opciones saludables de frutas y verduras a nivel internacional. El 48 % de los franceses, el 43 % de los brasileros y el 55 % de los chinos cambiaría su dieta para tratar de ser más saludables (Lee, 2019). En estos casos, los *snacks* de fruta surgen como una gran alternativa al consumo de frutas, ya que estas son alimentos perecederos y se deben ingerir en poco tiempo.

Se realizó un trabajo de diagnóstico sobre la situación actual a nivel nacional e internacional de los procesos agroindustriales relacionados con piña, variedad MD2, que consistió en la formulación de un conjunto de estrategias que debe seguir el sector para obtener un crecimiento rápido, rentable y competitivo, junto con el estudio de las brechas identificadas en la región del Valle del Cauca para que sea posible garantizar el desarrollo comercial de la piña.

Por lo descrito anteriormente, esta vigilancia tecnológica se realizó con el propósito de revisar el potencial comercial, estratégico, científico-tecnológico y competitivo de piña MD2, en el Valle del Cauca y a nivel mundial, en fruta fresca y procesada.

Los resultados más relevantes obtenidos muestran que la piña MD2 es una fruta que ha sido apetecida a nivel mundial; sin embargo, como fruta fresca, las condiciones de pelado y corte hacen que los consumidores muestren preferencias por un producto cortado y listo para consumir, la presentación de un producto mínimamente procesado. Además, siguiendo las tendencias del mercado en consumir productos nutritivos, de manera rápida y fácil, y que se conserven en el tiempo, surge la posibilidad de procesar *snacks* de piña, lo que diversificaría el mercado de esta fruta.

1.1 Metodología

Se utilizó la metodología de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva como herramienta de búsqueda y análisis de los resultados para la selección de productos y procesos, teniendo en cuenta las brechas identificadas.

La vigilancia tecnológica (VT) es un proceso organizado, selectivo y permanente, en el que se capta información, del exterior y de la propia organización, de diversa índole (comercial, competitiva, tecnológica, entre otras), con el fin de seleccionarla, analizarla y difundirla, para convertirla en conocimiento usado en la toma decisiones con menor riesgo, y poder anticiparse a futuros cambios (Norma UNE 166006, 2018). La inteligencia competitiva (IC) es un conjunto de acciones coordinadas de búsqueda, tratamiento (filtrado, clasificación, análisis), distribución, comprensión, explotación y protección de la información obtenida de modo legal, útil para los actores económicos de una organización y usada en el desarrollo de sus estrategias individuales y colectivas (definición según norma UNE 166006:2011 Ex Gestión de la I+D+i: sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva). Esta disciplina provee insumos de información y conocimiento de frontera que permiten direccionar estratégicamente las decisiones.

Una descripción de los tipos de vigilancia realizados se esquematiza como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Descripción de los tipos de vigilancia realizados

Fuente: adaptado de Palop y Vicente (1999).

Cada tipo de vigilancia se llevó a cabo en 6 fases, como se muestra en la figura 2.

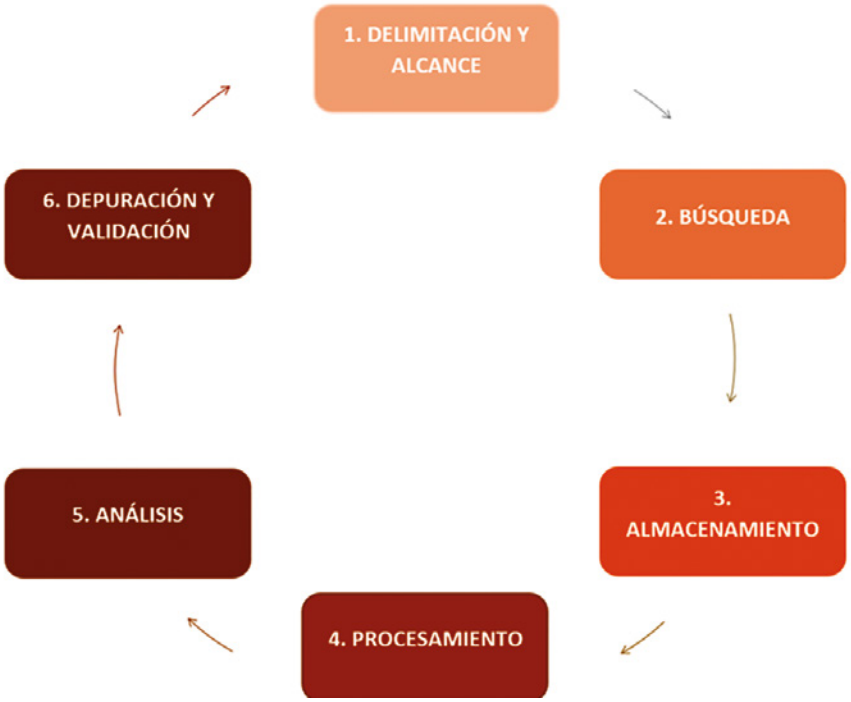


Figura 2. Fases de la vigilancia tecnológica

Fuente: adaptado de Palop y Vicente (1999).

- En la fase 1 (delimitación y alcance) se realizó la delimitación del campo de interés y el alcance de la información por conseguir.
- En la fase 2 (búsqueda) se realizó la recopilación de información a partir de bases de datos especializadas, empleando una metodología y estrategia de búsqueda avanzada. Adicional a la recopilación en las bases de datos, se hicieron entrevistas y reuniones. En esta etapa se definieron las palabras clave y las ecuaciones de búsqueda. Además, se seleccionaron y delimitaron las fuentes de información y de acceso legal.
- En la fase 3 (almacenamiento) se estructuró la información identificada. Se creó una base de datos en formato Excel (una para cada tipo de vigilancia) para la extracción y clasificación de la información consultada. Además, se crearon carpetas con la información asociada a las visitas que se realizaron (no se anexan en este informe).
- En la fase 4 (procesamiento) se organizaron las bases de datos y se convirtieron en fuentes de información precisa.
- En la fase 5 (análisis) se realizó el análisis de la información. Se realizó un proceso de categorización y contextualización para cada tipo de vigilancia. Además, se configuró el conocimiento bajo argumentos, recomendaciones y estrategias propias del sector.
- En la fase 6 (depuración y validación) se depuró y validó la información para cada tipo de vigilancia. De igual manera, se identificaron tendencias y perspectivas.

A partir de la información obtenida en las vigilancias comercial, estratégica y competitiva se realizó la selección del producto, y con la información de las vigilancias científico-tecnológica y competitiva se realizó la selección del proceso.

Finalmente, se recopiló la información de las brechas identificadas de acuerdo con las visitas a los sectores productivos de piña MD2 ubicados en el Valle del Cauca. Con esto, se realizó un análisis comparativo, de acuerdo con los resultados obtenidos en este proceso.

1.2 Resultados

En la fase 1 (delimitación y alcance) se realizó la delimitación del campo de interés y el alcance de la información por conseguir, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Delimitación y alcance del estudio

Objetivo general	Establecer productos en fresco y procesados de piña MD2, y los procesos agroindustriales para su desarrollo.	
Objetivos específicos	Recopilar información estructurada y sistemática bajo la metodología de vigilancia tecnológica. Evaluar la información obtenida a partir de la vigilancia tecnológica que ofrezca un panorama comercial, estratégico científico-tecnológico y competitivo de las 3 frutas estudiadas. Identificar brechas para la selección de un producto fresco y un producto procesado a partir de a piña MD-2, y realizar un análisis comparativo de los procesos de elaboración.	• **Vigilancia comercial**: reseñar diferentes organizaciones (productoras, procesadoras y exportadoras) que tienen potencial en el mercado de piña MD2. • **Vigilancia estratégica**: identificar tendencias del mercado, teniendo en cuenta aspectos económicos, ambientales, normativos y culturales. • **Vigilancia científico-tecnológica**: identificar avances científicos y tecnológicos para los productos y procesos. • **Vigilancia competitiva**: identificar competidores actuales y potenciales, nacionales e internacionales.
Equipo de trabajo	Unidad de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva de la Otri y grupo de profesionales vinculados al proyecto (Univalle).	
Tipo de profesional	Expertos en ingeniería de alimentos.	

Fuente: elaboración propia.

En la fase 2 (búsqueda) se describen las fuentes de información, las palabras clave y las ecuaciones de búsqueda empleadas para cada tipo de vigilancia, tal como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Descripción de la fase 2 para las vigilancias comercial, estratégica, científico-tecnológica y competitiva

Búsqueda de piña MD2		
Comercial	**Fuentes de información:** Procolombia, Veritradecorp, Importgenius, CBI, Trade Map, Mincomercio, Revista Dinero	
	Palabras clave	**Español:** piña, trozos de piña, *snack* de piña, productos piña, empresas productoras derivados de piña Colombia, empresas exportadoras derivados de piña Colombia
		Inglés: Pineapple, pineapple chunks, pineapple *snacks*, pineapple products producer companies derived from pineapple Colombia, exporter companies derived from pineapple Colombia
	Ecuaciones de búsqueda: piña + exportación + Colombia pineapple + products + Colombia **Códigos arancelarios:** 080430 – 200899 – 1704 – 2201 – 2202 – 1904 – 200410 – 200520 – 1904 – 200410 – 200520	

Estratégica	**Fuentes de información:** CBI (Center of the Promotions Import), Mintel, Nielsen, Deloitte, World Innovation, Interempresas, FAO, Actual fruveg, Procolombia, Produce Market Guide, Rabobank, PR Newswire, Portafolio, Revista Dinero, Alsec, Food Bussiness News, Innova Market Insights	
	Palabras clave	**Español:** piña, tendencias consumo alimentos, mínimamente procesados, productos piña
		Inglés: pineapple, trends food, fresh-cut, pineapple products, pineapple *snacks*
	Ecuaciones de búsqueda: pineapple AND usa pineapple AND Europe fresh-cut AND trends usa fresh-cut AND trends Europe pineapple AND Europe snacks pineapple AND usa snacks pineapple AND Europe	
Científico-tecnológica	**Fuentes de información:** Scopus, Espacenet, Google Patents, OLX, Alibaba	
	Palabras clave	**Español:** procesamiento piña, equipos, procesamiento productos piña
		Inglés: pineapple processing, pineapple *snacks* processing, pineapple fresh cut processing
	Ecuaciones de búsqueda: (PINEAPPLE + (PROCESS or PRODUCT or METHOD)) Refined by: DOCUMENT TYPES: (ARTICLE) Timespan: All years. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, ESCI, TITTLE-ABS.KEY (ananas comosus OR pineapple AND post-harvest AND packaging) Pineapple + fresh-cut + processing Pineapple + snacks + processing Procesamiento mínimo + equipos (AIR+FRYER) ((vaccum or vacio) and (frying or fritura) and (fruta or fruit) and (pressure or presion))/TI/AB/IW/CLMS/DESC/ODES/OBJ/KEYW Procesamiento + snacks + equipos	
Competitiva	**Fuentes de información:** CBI (Center of the Promotions Import), Grand View Research, Market Research Intellect, Produce Guide Market, Food & Beverage Insider, Fitness.	
	Palabras claves	**Español**: piña, competitividad, oportunidades, *snacks* piña
		Inglés: pineapple, fresh cut, competitive landscape, pineapple *snacks*
	Ecuaciones de búsqueda: pineapple AND competitive landscape usa fresh-cut AND opportunities usa pineapple AND competitive landscape Europe fresh-cut AND opportunities Europe pineapple AND snacks AND usa pineapple AND snacks AND Europe	
Visita a centros de innovación o agricultores, reuniones en Ciat	Ciat Fructificar, CI Elixir Ltda. Piñas de Pacífico SAS Cultivos Comunidad Bienes Hijos de Lorenzo Vega (CBHLV).	

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presentan las fases 3, 4, 5 y 6 del ciclo de vigilancia.

1.2.1 Vigilancia en procesos agroindustriales y productos

Vigilancia comercial

A continuación, se presenta información comercial de diferentes bases de datos, que ha sido seleccionada teniendo en cuenta las fases descritas en la sección de metodología e identificando, plasmando y analizando información acerca del comercio de piña fresca a nivel regional, nacional e internacional. Se muestra también resultados sobre la producción y el comercio de productos que pueden ser derivados de frutas como los *snacks*/frituras.

Además, se hizo un análisis y una identificación de las empresas productoras de piña a nivel regional, nacional e internacional, y de los países que pueden ser posibles compradores de los productos derivados de la fruta.

También se muestran las dinámicas de comercio exterior, las empresas y países líderes y el valor promedio de exportación a nivel mundial sobre la piña en fresco y procesada, de acuerdo con el código arancelario 080430: Piñas "ananás", frescas o secas, y el código arancelario 200899, que corresponde a frutas u otros frutos y demás partes comestibles preparados o conservados de otro modo.

Producción nacional

La tabla 3 muestra los principales productores de piña, variedad MD2 fresca o mínimamente procesada a nivel nacional.

Tabla 3. Productores de piña, variedad MD2, fresca o mínimamente procesada a nivel nacional

Nombre de la empresa	Ciudad	Tamaño de producción	Principales clientes	Información de contacto
uniban Fuente: uniban (2020).	Medellín (Antioquia)	6483 t/año	Mercado interno (supermercados de cadena nacionales) Mercado externo países de Europa (Italia)	(57) (604) 511 5540 cad@uniban.com.co
CI Unión de Bananeros de Urabá SA (Uniban)				
Agrícola Santana de los Llanos SAS	Tauramena (Casanare)	20 t/mes	Almacenes de cadena y mercado internacional	(57) (320) 486 9780

Nombre de la empresa	Ciudad	Tamaño de producción	Principales clientes	Información de contacto
Fuente:Infoagro.com (2022). Productos de Inducauca	Santander de Quilichao (Cauca)	-	Mercado interno (supermercados de cadena, plazas de mercado)	(57) (313) 706 0459 comercial@ inducauca.com
Fuente: Rosdel (2020). Rosdel SAS	Barranquilla (Atlántico)	5600 kg/año	Mercado interno (supermercados de cadena, plazas de mercado, empresas procesadoras de alimentos) Mercado externo (EE. UU. y las islas del Caribe)	(57) (5) 344 3340 (57) (314) 596 6061
Fuente: Bengala Agrícola (2020). Bengala agrícola SAS	Cali (Valle del Cauca)	25.000.000 kg/ año	Mercado interno (supermercados de cadena nacionales) Mercado externo países de Europa (Italia, Países Bajos) países de América Latina (Perú, Chile)	(57) (602) 4855974 comercial.corp@ agroriocas.co
CI Elixir SAS	Buga (Valle del Cauca)	450.000 t/año	Mercado interno (supermercado de cadena nacionales) Mercado externo (Italia, España, Francia, Suiza)	(57) (602) 2286034 caballm@gmail. com
Fructificar SAS	Zarzal (Valle del Cauca)	100 t/mes	Plazas de mercado y centrales de abasto nacionales (Medellín, Manizales, Ibagué y Cali)	(57) (602) 6657121
Comunidad de bienes hijos de Lorenzo Vega	Jamundí (Valle del Cauca)	14.000.000 kg/ año	Centrales de abasto y supermercados de cadena nacionales	(57) (317) 517 0926 cbhlorenzo_ vega@hotmail. com
Fuente: Pidelpa (2020). Pidelpa SAS	Restrepo (Valle del Cauca)	1 t/día	Empresas procesadoras de alimentos (Bogotá, Cartagena, Barranquilla y Cali)	(57) (315) 927 9504 Produccion pidelpa@gmail. com

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 3, todas las empresas realizan el cultivo, la cosecha y el embalaje de la piña; las primeras 4 se encuentran ubicadas a nivel nacional, mientras que el resto se ubican en la región del Valle del Cauca; la última de ellas se dedica únicamente a la producción de piña mínimamente procesada. De acuerdo con el tamaño de producción de cada una de las empresas, el Valle del Cauca se puede convertir en el principal productor de piñas y puede transformar al sector exportador agrícola en el país. De igual manera, hay un reto grande, porque buena parte de la producción está en manos de pequeños productores de la región que solo piensan en sembrar y no se interesan por comercializar y llevar las piñas al mercado internacional (Revista Dinero, 2016).

Con la información obtenida de la primera vigilancia tecnológica[1], se deben buscar opciones de transformación del producto fresco de piña, variedad MD2, ya que los consumidores están a la espera de novedades, de nuevos atributos en los productos, de más información de lo que se consume y de que se cumplan sus exigencias en términos de tiempo, conveniencia, gusto, salud y bienestar, diseño, innovación en canales, interacciones con la marca y compromiso personalizado.

Industrialización

Gracias a la alta disponibilidad del fruto en la región, se puede utilizar en diversos productos alimenticios: mínimamente procesada, como aditivo en confitería, en bebidas, en frituras (tipo *snacks*), en mermeladas, entre otros. El mercado, que incluye, entre otros, productos de panadería, confitería, bebidas no alcohólicas, frituras y frutos secos, alcanzó un valor de 393.800.000 USD en el año 2017 en Colombia (Revista Dinero, 2018).

La tabla 4 muestra el listado de empresas a nivel nacional productoras de piña procesada o mínimamente procesada.

1 Entregable de la actividad 1. Primer entregable (actividades específicas 1 y 2), por parte de la Universidad del Valle a la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira, realizado el 5 de mayo titulado: Ejercicio de Vigilancia e Inteligencia estratégica para el ingrediente natural: Piña Fresca *ananas comosus L.*, variedad MD2 en el marco del proyecto "Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente".

Tabla 4. Empresas productoras nacionales de derivados de piña MD2 mínimamente procesados o de mayor transformación

Nombre de la empresa	Ciudad	Información de contacto	Principales productos	Canal de venta
Fuente: Frutinal (2020). Frutos típicos nacionales SAS	Rionegro (Antioquia)	Email: servicioalcliente@frutinal.com Tel.: (604)4484315 Dir.: Centro empresarial Multicentro bodega 17	Frutas troceadas congeladas y pulpas  Fuente: euro supermacardos	Almacenes Carulla y página web de la empresa
Fuente: Tropic Kit (2018). Tropic Kit	Cali (Valle del Cauca)	Email: ventas@tropickit.com Tel.: (602)5526396 Dir.: Calle 5 # 46-83 Oficina 220	Piña troceada, congelada, en pulpa. Dirigido a la industria en presentaciones de 10, 20, 50, 100 y 200 kg. Preparación de refrescos y néctares.	Página web de la empresa
Fuente: Universal de frutas (2018) Universal de frutas	Cali (Valle del Cauca)	Email: info@universaldefrutas.com.co Tel: (602)5140865 Cel: 310 2120112 Dir: calle 8 # 28 – 60	Fruta troceada, pulpas de frutas, jugos naturales y zumos.	Página web de la empresa
Fuente: Practi Fruit (2020). Practi Fruit	Medellín (Antioquia)	Email: info@practifruit.com Tel.: (604)4429632 Cel.: (321) 7823412 Dir.: Carrera 65 # 74-57, bodega 132	Frutas y verduras troceadas y empacadas.  Fuente: Practi Fruit (2020).	Página web de la empresa
Fuente: Carulla (2020). Carulla (almacenes Éxito)	Todas las ciudades	Puntos de venta Carulla. https://www.carulla.com/pina-en-cubos-mediana-x-300gr-868989/p	Piña troceada y empacada por almacenes Éxito.  Fuente: Carulla (2019)	Supermercados, tiendas y página web de la empresa

Nombre de la empresa	Ciudad	Información de contacto	Principales productos	Canal de venta
Fuente: Freskifruta (2013). Freskifruta Ltda.	Chía (Cundinamarca)	Email: contacto@frskifruta.com Tel.: (57) (601) 8158980 Cel.: (320) 3019657	Fruta troceada congelada, pulpas de frutas, jugos pasteurizados.  Fuente: Cornershop (2020).	Tiendas Jumbo y página web de Jumbo
Fuente: Frugy (2020). Frugy SA	Manizales (Colombia)	Email: info@frugy.com Tel: (57)(606)8743900 Dir.: Km 2 vía al Magdalena	Frutas troceadas y en pulpa  Fuente: Frugy (2020).	Supermercados de cadena nacional y supermercados de la región de Caldas
Fuente: Pidelpa (2020). Pidelpa SAS	Restrepo (Valle del Cauca)	Email: pidelpa@yahoo.com produccionpidelpa@gmail.com Tel.: (311) 3564785 Dir.: Cra. 16B # 7A-31	Piña en cubos, en julianas, en almíbar	Pedidos al correo electrónico
Fuente: Listo y Fresco (2020). Listo y fresco Ltda.	Cali (Valle del Cauca)	Email: listoyfresco@listoyfresco.com Tel.: (57) (602)3371920, (57) (602)3749249	Frutas y hortalizas congeladas y con aplicación de tecnología IQF  Fuente: Listo y Fresco (2020).	Página web de la empresa y asesores de venta

Nombre de la empresa	Ciudad	Información de contacto	Principales productos	Canal de venta
Fuente: Ecoser Group (2020). Ecoser Group	Medellín (Antioquia)	Email: coordinador comercial@ecosergroup.com infor@ecosergrouo.com Tel.: (301) 3523166 Dir.: Cra. 42 # 5 sur-141	Frutas en trozos y congeladas  Fuente: Ecoser Group (2020).	Página web de la empresa y tiendas virtuales
Fuente: Pulpacific Group (2020). Pulpacific Group SAS	Palmira (Valle del Cauca)	Email: info@pulpacific.com Tel.: (57) (602) 2867096 Cel.: (311) 3920678 Dir.: Cra. 33 A # 25-24	Pulpas de frutas congeladas  Fuente: Pulpacific Group (2020).	Página web de la empresa
Fuente: Frutas Terracota (2020). Terracota	Bogotá D.C.	Email: hola@frutasterracota.com Tel.: (57)(601) 4382047 Dir.: Cl. 74 A # 86-27	Pulpa natural de frutas en presentaciones 100 y 250 g 1, 3, y 5 kg	Página web de la empresa
Fuente: Fruticol (2019) Fruticol	Candelaria (Valle del Cauca)	Email: info@fruticol.com Tel: (57) (602) 4358251, (57) (602) 4358252 Dir: km 1,5 vía Cavasa Condominio Industrial La Nubia 2	Pulpa de fruta congelada, trozos de fruta congelada  Fuente: Fruticol (2019).	Página web de la empresa y asesores de venta

Nombre de la empresa	Ciudad	Información de contacto	Principales productos	Canal de venta
Fuente: Del Huerto (2019). Del huerto y más SAS	Cali (Valle del Cauca)	Email: gerencia@delhuerto.com.co Tel.: (57) (602) 3797387 (57) (602) 3797388 Dir.: Cra. 6 # 32-26	Procesamiento IV gama de frutas y verduras, pulpas de frutas natural, fruta en juliana, cubos, rallado.	Página web de la empresa
Fuente: Fruinsa (2012). Fruinsa SAS	Bucaramanga (Santander)	Tel.:(57) (607) 6738890 Dir.: Cra. 34 W # 71-10, etapa 1, bodega 50	Pulpas de fruta industriales de 200 kg y 1,2 kg  Fuente: Fruinsa (2012).	Página web de la empresa
Fuente: Deshidratados D'Lara Deshidratados (s. f.) D'Lara SAS Marca: Gumbia	Copacabana (Antioquía)	Email: comercial dlara1@gmail.com Tel.: (57) (315) 4582572 Dir.: Cra. 46·# 59-46	 Fuente: Deshidratados D'Lara	Página web de la empresa
Fuente: Postobon (2020). Postobón SA	La compañía cuenta con 66 sedes entre plantas de producción y centros de distribución a nivel nacional. De igual forma, sus productos se pueden adquirir en los Estados Unidos, Reino Unido, Aruba, España, Curazao, Panamá e Italia.	Página: https://www.postobon.com/formulario/rosita Teléfonos Línea gratuita nacional 01 8000 51 59 59 Bogotá: (57) (601) 2204300 Medellín: (57) (604) 2655151	 Fuente: Postobon (2020).  Fuente: Postobon (2020).	Supermercados, tiendas

Nombre de la empresa	Ciudad	Información de contacto	Principales productos	Canal de venta
Fuente: Fruta seca de Verona oficial (2020). Fruta seca De Verona	Envigado (Antioquia)	Email: comercial@frutasecadeverona.com Tel: (57) (604) 4442290 Dir.: calle 49 c sur #46-12	 Fuente: Fruta seca de Verona oficial (2020).	Página web de la empresa y supermercados
Fuente: Levapan (2020). Levapan SA	Sede principal: Bogotá (Colombia)	Página: https://www.levapan.com/contactenos/ Tel.: (57) (601) 4194949 Cel.: (57) (300) 8489219 Carrera 46 # 13-20	 Fuente: Levapan (2020).	Supermercados y tiendas
Fuente: Tomacol (2020). Tomacol SAS	Bogotá (Colombia)	Email: info@tomacol.co Tel.: (57) (601) 4797777 Cel.:(57) (311) 4480061, (57) (311) 4477470 Dir.: carrera 83 # 77A 60.	 Fuente: Tomacol (2020).	Página web de la empresa y supermercados
Fuente: Tosh (2020). Tosh	Medellín (Antioquia)	Página: https://www.tosh.com.co/contactenos/	 Fuente: Tosh (2020).	Supermercados

Nombre de la empresa	Ciudad	Información de contacto	Principales productos	Canal de venta
frutlí Fuente: Frutlí (2020). Drycol SAS Frutlí es su marca registrada	Parque Industrial San Jorge, Mosquera (Cundinamarca)	Email: info@drycol.com Cel.: (57) (318) 8474244	 Fuente: Frutlí (2020).	Página web de la empresa

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4, se observan diferentes tipos de empresas colombianas que procesan piña como producto fresco en trozos o congelado, y producto procesado como pulpas, jugos, zumos, bebidas, salsas o aderezos, deshidratados y *snacks*. Por lo anterior, las principales oportunidades se encuentran en el sector de las frutas procesadas y, en consecuencia, las empresas colombianas tienen la capacidad de ofrecer productos naturales, de rápida preparación, con sabores exóticos y con estándares de calidad en su elaboración (Procolombia, 2020).

También se aprecia que para los productos procesados, las bebidas a base de fruta se comercializan a nivel nacional e internacional gracias a la empresa Postobón S.A., esta representaría una gran competencia en el sector por su posicionamiento y por la amplia gama de referencias que ofrece. Además de las bebidas, se encuentran los *snacks* a base de frutas deshidratadas en auge a nivel nacional, en lugares como Envigado, Copacabana, Bogotá y Mosquera.

La fruta se podría emplear dentro del clúster de macro-*snacks* que se divide en confitería, bebidas y frituras (Cámara de Comercio de Cali, 2017). Para el año 2018, en relación con las exportaciones, las bebidas alcanzaron un valor en ventas de 26.175 USD, seguido de las frituras con 16.641 USD y, por último, el segmento de confitería con 11.846 USD (Trade Map, 2019).

Por otro lado en el Valle del Cauca le apuestan a *snacks* a base de cereales y frutos secos, platanitos y papitas fritas, con empresas líderes en el sector de macro-*snacks* como Nutri-G Snacks, Productos La Tribu Calima y Manitoba, entre otras (Revista Dinero, 2018).

Se debe destacar que en el año 2018 empresas del departamento fueron líderes en producción y exportación de alimentos a nivel nacional y que el Valle exporta cerca de 50 % de los *snacks* del país (Revista Dinero, 2019).

Exportaciones de piña MD2

La muestra los principales exportadores de piña fresca, variedad MD2 en Colombia del año 2018.

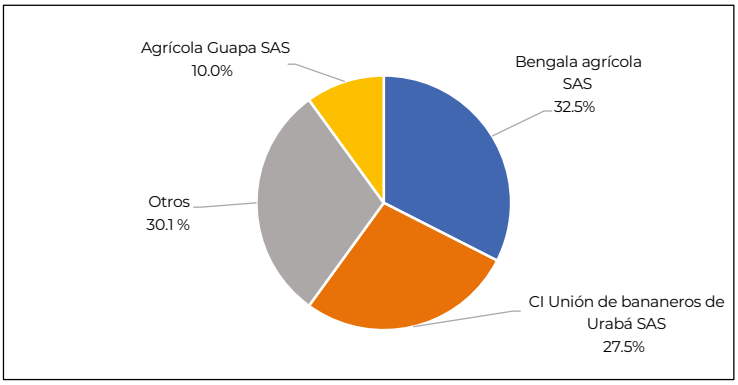


Figura 3. Principales exportadores de piña fresca, variedad MD2, en Colombia

Fuente: Veritrade (2018).

En la figura 3, se observan las principales empresas exportadoras colombianas de piña fresca MD2. Entre ellas, Bengala Agrícola S.A.S. es la mayor y lleva a cabo el 32,5 % de las exportaciones del país. Esta empresa está ubicada en el departamento del Valle del Cauca. La siguiente empresa es Uniban S.A., con un valor de 27,5 %. Esta se encuentra ubicada en el departamento de Antioquia. Por último, la empresa Agrícola Guapa S.A.S., ubicada en el departamento de Cundinamarca, realiza el 10 % de las exportaciones. Del 30,1 % restante de las exportaciones de piña realizadas se encargan diferentes empresas a nivel nacional, lo que indica que la piña como producto fresco es una oportunidad comercial a nivel internacional.

En la figura 4, se muestra la lista de los países importadores de piña fresca exportada (en miles de USD) por Colombia.

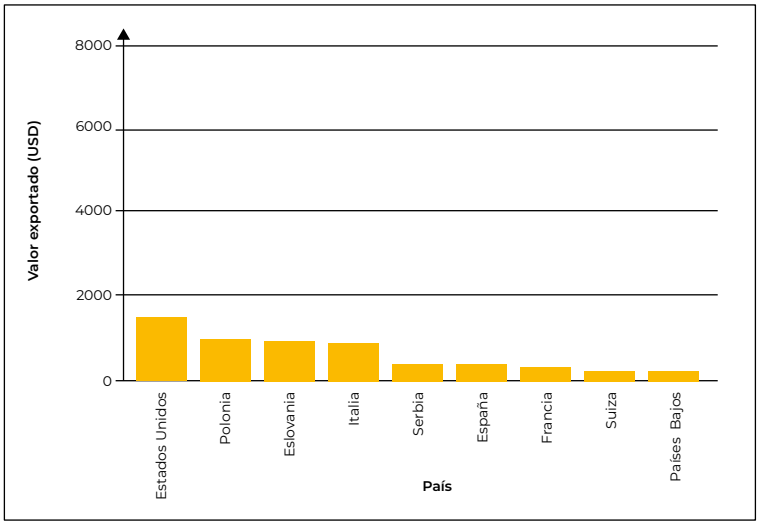


Figura 4. Países importadores de piña (ananás) para un producto exportado por Colombia en 2019

Fuente: Trademap (2019).

En la figura 4 se observan los países importadores de piña fresca. Entre ellos, los mercados más atractivos para la comercialización de piña son Estados Unidos, Polonia, Eslovenia e Italia. La variedad más demandada en los mercados internacionales es la MD2. Cada vez más piña se consume de forma habitual en los mercados europeos. Después de las bananas, las piñas son una fruta tropical muy popular en los grandes mercados de la UE. Su precio es asequible y tienen un sabor dulce y suave que la diferencia de las frutas tradicionales de Europa (CBI, 2014).

La tabla 5 muestra las empresas exportadoras de piña MD2 en Colombia con código arancelario 080430. Estas empresas se encuentran registradas como exportadoras en el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Tabla 5. Empresas exportadoras de piña MD2 en Colombia

Exportador	Cantidad (kg)	Valor de exportación (USD)	Importadores Empresa/país	Información de contacto
BENGALA AGRÍCOLA Fuente: Bengala Agrícola (2020). Bengala agrícola SAS	15.703.000	Ventas año 2018: 9.980.624	• Rio Vista Ventures LLC/ Estados Unidos • Vneshtorg SPB LLC/Italia • Rodifructuc CH/ Portugal • Migros Genossenchafts Bund/Suiza • CJSC RVI (Russian Venture Investments) / Rusia	Página web: http://agroriocas.co/agricolas/Bengala/index.php Correo: comercial.corp@agroriocas.co Teléfono: (57) (602) 4855974
uniban Fuente: Uniban (2020). CI Unión de Bananeros de Urabá SA (Uniban)	4.603.500	Venta año 2018: 8.444.230	• Fyfees North America INC/ Estados Unidos • Tropical del Campo INC / Estados Unidos • Del Montes Fres Produce N A INC/ Estados Unidos	Página web: http://uniban.com/index.php/es/ Correo: info@uniban.com.co Teléfono: (57) (604) 5115040

Exportador	Cantidad (kg)	Valor de exportación (USD)	Importadores Empresa/país	Información de contacto
Agrícola guapa S.A.S. Cultivo de frutas tropicales y subtropicales (Cota)	80.640	Venta año 2018 3.066.322	• Reino Unido • Bélgica	Teléfono: (57) (601) 5877788 Dirección: Autopista Medellín Calle 80 km 1,6
CI Elixir S.A.S.	508.239	1.6700.000	• María Soledad Jimenez/Italia, España • Barnierl Srl/ Francia • Nuovafrutta/ Suiza	Teléfono: 602 2270644 Cra. 12 # 559 Correg. Quebrada seca

Fuente: elaboración propia con base en Importgenius (2018), Veritradecorp (2018).

De acuerdo con la tabla 5, las empresas mencionadas hacen negocios constantes de exportación de piña, convirtiéndola en un mercado atractivo por volumen. En algunos países de Europa, este fruto tiene un potencial de consumo muy alto por el número de habitantes que lo consumen como fruta fresca.

Con respecto al desarrollo agroindustrial de este fruto, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (Minagricultura, 2018) reporta que el 49 % de la producción de piña se consume en fresco, el 2 % se exporta y el 49 % restante se transforma industrialmente en la producción de dulces, mermeladas, aderezos y almíbares, entre otros. Dado que en los últimos años la producción de piña en Colombia ha aumentado considerablemente, se espera que incrementen las oportunidades de exportación.

De la información obtenida en la tabla 4, se puede deducir que el mercado interno es la clave para la industria de la piña, que puede tener múltiples usos, según el grado de elaboración: mínimamente procesada, como aditivo en confitería, en bebidas, en frituras (tipo *snacks*), en mermeladas, entre otros.

Debido a que no existe un código arancelario específico para los productos de piña, se tuvo en cuenta el código arancelario 200899 para frutas ya sean preparadas o conservadas, que corresponde a "Frutas y demás partes comestibles de las plantas ya sean preparadas o conservadas", el cual presenta características similares a las de una piña mínimamente procesada.

En la figura 5 se muestran los principales países importadores de este segmento.

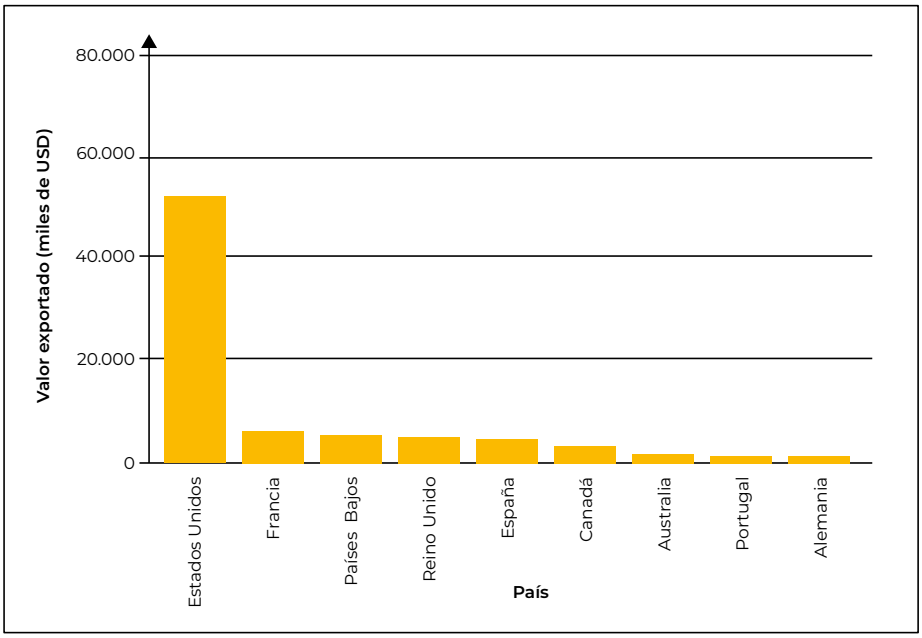


Figura 5. Países importadores del segmento de frutas mínimamente procesadas que son exportadas por Colombia en el 2019

Fuente: Trademap (2019).

De acuerdo con la figura 5, Estados Unidos es el principal importador de frutas mínimamente procesadas o frutas preparadas y conservadas que son exportadas por Colombia. Por otra parte, Francia, Países Bajos, Reino Unido y España son los principales mercados objetivos en Europa para la comercialización de frutas mínimamente procesadas.

Las frutas y verduras se están comercializando en fresco, sin ningún proceso adicional al lavado, la clasificación y el envasado. Sin embargo, cada vez son más demandados por los consumidores los productos listos para comer *ready to eat* y de fácil consumo *ready to use*. La posibilidad de ofrecer un producto mínimamente procesado (IV gama) resulta conveniente debido a la amplia gama de este tipo de productos existente en los mercados actualmente (Agrosmartcoop, 2017).

Exportaciones de productos procesados a partir de piña

En Colombia se apuesta por los sectores de *snacks*, galletas y aceites a través de un plan de negocios diseñado por el Gobierno a través de Colombia Productiva. En este se planteó la estrategia para aumentar ventas locales, producción y exportación, por medio de la mejora de la producción y de la calidad en el sector, meta que se pretende alcanzar para el año 2028. El crecimiento en ventas de estos productos ha sido en promedio del 7 % anual entre los años 2010 y 2017, por lo que se estima que para el 2028 se logre exportar una cantidad de *snacks* equivalente a 8.600.000 USD, con tasa de crecimiento anual del 11 % (Mincomercio, 2019).

En la tabla 6 se pueden observar algunas empresas colombianas que exportan variedad de productos clasificados dentro del clúster de los macro-*snacks*.

Tabla 6. Empresas importadoras y exportadoras de confitería, frituras y *snacks* en 2019 a nivel nacional

Segmento	Código arancelario	Empresa/sedes/contacto	Productos	Importadores Empresa / país	Valor exportado en 2019 (USD)
Confitería	1704	**Fuente:** Caribbean Exotics Fruits (2020). **Caribbean Exotics Fruits 1986** • Sede principal: Medellín • Sede alterna: Bogotá • Tel: (57) (4) 4489050 • Email: carex@caribbeanexotics.com.co	Frutas frescas • Uchuva • Gulupa • Granadilla, Pitaya • Curuba • Limón, etc. Deshidratados • Uchuva • Mango • Piña	• Star Fruit Company/ Bélgica • TFC Holland / Holanda • Pilz Schindler GMBH/Alemania • Fresh Delight UK ltda. / Reino Unido • MC Garlet SRL / Italia	3.908.804
		Fuente: Colombina (2020). **Colombina SA** • Planta confitería: • Zarzal (Valle del Cauca). • Planta de salsas y conservas: • Tuluá (Valle del Cauca). • Planta de helados: Itagüí (Antioquía) y Bogotá. • Plantas nivel internacional • Caribe, Asia, Oceanía y Europa, Centro América, Norte de África y Medio Oriente y región Andina. Contacto Dir.: Cali, Carrera 2 # 24-97 Tel: (072) 8861904 Email: mlherrera@colombina.com	• Salsas y conservas • Galletas y pasteles • Dulces • Helados • *snacks* • Helados, etc.	• Colombina Candy Company Inc./ Estados Unidos • Colombina de Puerto Rico LLC / Puerto Rico • Colombina USA / Estados Unidos • David Roberts Food Corporation / Estados Unidos • Dollarma L. P./ Estados Unidos	49.645.388

Segmento	Código arancelario	Empresa/sedes/contacto	Productos	Importadores Empresa / país	Valor exportado en 2019 (USD)
Frituras	1904	**Fuente:** Granolitas (2020). **Nutri-G *Snacks*** Marca registrada: Granolitas Cali (Valle del Cauca) Dir.: Carrera 6 # 5-73 Cel.: (57) (321) 2139163 Email: sales@granolitas.com	Granolitas: Crocantes bolitas de cereal y frutos secos	• Panamá • Estados Unidos • República Dominicana	> 255.018
		Manitoba SAS **Fuente:** Manitoba (2020). Yumbo Dir.: Cra. 29B N.º 10-28 Bodega 4 Servicomex 10 Tel.: (57) (2) 4899000 Email: manitoba@manitoba.com.co Bogotá Dir.: Calle 52B N.º 72B-54 Tel.: (57) (1) 4160740 Correo: manitoba@manitoba.com.co	• Maní salado • Maní confitado • Crema de maní • Mix de maní • Arándanos • Uvas pasas • Entre otros	• Coplana-Cooperativa Agroindustrial / Brasil • Comasa Comercializadora de Maní SA/ Nicaragua • Ocean Spray International INC/Estados Unidos • Damel Group SL / España • Cuba • Curacao • Panamá • Ecuador	632.261
	200520	**Fuente:** Pacífico Snacks (2020). **Pacífico Snacks** Cali (Valle del Cuca) Dir.: km 1,5 vía Cali-candelaria, condominio industrial La Nubia bodega 114 Cel.: (57) (311) 3661438	Variedad de platanitos fritos sabor: BBQ, natural, sal marina, vinagre, etc.	• Estados Unidos • Holanda • Bélgica • Alemania • Reino Unido	3.800.000

Segmento	Código arancelario	Empresa/sedes/contacto	Productos	Importadores Empresa / país	Valor exportado en 2019 (USD)
Bebidas	2202	**Fuente:** Postobon (2020). **Postobón SA** Sedes a nivel nacional e internacional Contacto Línea Gratuita Nacional 01 8000 51 59 59 Bogotá: 2204300 Medellín: 2655151 https://www.postobon.com/formulario/rosita	• Gaseosas • Jugos • Hidratantes • Energizantes • Tés	• Estados Unidos • Reino Unido • Aruba • México • China • España • Curazao • Panamá • Italia	551.300.000 COP

Fuente: elaboración propia con base en Trademap, Importgenius (2018) y Veritradecorp (2018).

En la tabla 6 se puede observar que en el segmento de confitería se tiene gran competencia por parte de la empresa de Colombina, que produce gran variedad de productos y se encuentra distribuida a nivel mundial. Casos similares se pueden apreciar con las empresas Manitoba S.A.S., en el segmento de las frituras, y Postobón S.A.,en las bebidas. Sin embargo, se están creando nuevas empresas, que apuestan a diferentes alternativas de *snacks*, como Caribbean Exotics Fruits 1986, que comercializa pulpas de frutas exóticas y *snacks* de frutas deshidratadas, su producto se dirige a un mercado que busca adoptar un estilo de vida más saludable.

Principales importadores a nivel mundial

En los últimos años, a nivel mundial, han crecido notablemente la demanda de frutas frescas y la preocupación de la población por consumir alimentos más sanos y dietas balanceadas, que conducen y estimulan la comercialización de frutas tropicales. En particular, la piña es apetecida como fruta fresca; sin embargo, las condiciones de pelado y corte hace que los consumidores muestren preferencias por un producto cortado y listo para consumir, como es la presentación en IV gama.

Desde la óptica del mercado internacional, las principales compañías importadoras de piña fresca en el mundo se consignan en la tabla 7.

Tabla 7. Principales empresas importadoras de piña MD2

Empresa	Número de empleados	País	Ciudad	Contacto
Fuente: Boni Fructi	50-99	Eslovaquia	Dunajská Luzná	Tel.: (421) (2) 40208100 Página web https://www.dobrejablka.com
Fuente: Philibon (2020). Boyer SA	100-249	Francia	Moissac	Tel.: (33) (5) 63041564 Página web https://www.philibon.com
Fuente: Grupo LC (2020). Central Dica, empresa del grupo LC	20-49	España	Madrid	Tel.: (34) (917) 866425 Página web https://www.grupolc.es/
Fuente: Compagnie Frutiere (2020). Compagnie Frutiere France	100-249	Francia	Bordeaux	Tel.: (33) (5) 57351535 Página web https://www.compagniefruitiere.fr/
Fuente: Consorfrut Polska (2020). Consorfrut Polska SP ZOO	100-249	Polonia	Kraków	Tel.: (48) (12) 3420100 Página web https://www.compagniefruitiere.fr/
Fuente: Trademarkia (2022). Depal SRL	50-99	Rumania	Ramnicu Valcea	Tel.: (40) (350) 425817 Página web: https://driedfruits.ro/
Fuente: Dole (2020). Dole Europe GMHB	50-99	Alemania	Hamburg	Tel.: (49) (40) 329060 Página web: http://www.dole.de/

Empresa	Número de empleados	País	Ciudad	Contacto
Fuente: Global Benchmark Inc. (2021) Global Benchmark Inc.	100-200	Estados Unidos	Dallas	Tel.: (1) (914) 2987987 Correo electrónico: info@globalbenchmark.us

Fuente: elaboración propia con base en Trademap (2020).

Las empresas listadas en la tabla 7, dentro del proceso de la comercialización de piña MD2, participan tanto de la producción como de la inspección de aspectos relacionados con la calidad del fruto, seguridad alimentaria y trazabilidad.

El mercado mundial de los *snacks* salados, las galletas, los *snacks* en barra y de frutas está valuado en 266.000.000.000 USD y se espera que aumente un 2,7 % anual hasta el año 2022. Por ejemplo, en Estados Unidos el 62 % de las personas consumen este tipo de productos como reemplazo de comidas, en Polonia la cifra es del 43 %, en Reino Unido de 37 % y en Alemania de 35 % (Ganeden BC30, 2019).

En Estados Unidos el mercado de *snacks* salados está valuado en 12.000.000.000 USD y se espera que aumente un 28 % para el 2022, es decir, a un valor de 15.300.000.000 USD. Por otro lado, el de los *snacks* nutritivos, en barra y a base de frutas, se estima un valor de 7.700.000.000 USD para el 2022. En la India, el mercado estuvo valuado en 4.400.000.000 USD en el 2018; para el 2022, se espera que alcance los 7.800.000.000 USD. Al igual que los británicos, los indios prefieren *snacks* fritos o de frutos secos. Se estima que el mercado de *snacks* para Reino Unido alcance los 5.000.000.000 GBP para el 2023 y el de de galletas y *snacks* en barra los 2.500.000.000 GBP en ventas, para el 2022 (Ganeden BC30, 2019).

En Latinoamérica, el valor combinado en ventas de *snacks* en Brasil, Chile, Colombia y México es de 8.700.000.000 en 2019 y se espera que para el 2022 crezca a 10.500.000.000 USD (Mintel, 2018).

Teniendo en cuenta los resultados de las empresas nacionales exportadoras de diferentes productos a partir de la piña y de la competencia que se encuentra en el mercado a nivel internacional, se realizó la búsqueda de las empresas importadoras de sectores de alimentos más específicos, como las frituras, con código arancelario 1904, y las frutas deshidratadas, con código 0813. En la tabla 8, se registran algunas de las principales empresas que importan estos tipos de productos.

Tabla 8. Principales empresas importadoras para frituras, snacks y frutas deshidratadas a nivel internacional

Empresa	Número de empleados	País	Ciudad	Contacto
Fuente: E. Leclerc (2020). Biscuits Leclerc Ltée, Aliments F. Leclerc	500	Canadá	Saint Augustin De Desmaures	Tel.: (1) (418) 8782601 Página web: https://leclerc.ca/
Fuente: Jack's (2020). Alimentos Jack's De Centroamerica SA, Alimentos Jack's	700	Costa Rica	San José	Página web: https://www.jacks.co.cr/content/
Fuente: Global Alimentos (2020). Global Alimentos SAC	106	Perú	Lima	Tel.: (51) (1) 2212650 Página Web; http://gasac.com.pe/
Fuente: Al Rifai (2020) Al Rifai Roastery Sal	250-499	Líbano	Beirut	Tel.: (961) (1) 702220 Página web: https://store.alrifai.com/
Fuente: Vacaville Fruit Company (2020). Vacaville Fruit Company	50-99	Estados Unidos	Vacaville (CA)	Fax: (1) (707) 4471085 Página web: https://vacavillefruit.com/
Fuente: Agrobakal (2020). Agrobakal A. Curyło, E. Szczotka SP. J.	20-40	Polonia	Pyskowice	Tel.: (48) (32) 2339712 Página web: http://agrobakal.com.pl/
Fuente: ATCO (2020). August Töpfer & Co. GMBH & Co. KG	100-249	Alemania	Hamburg	Tel.: (49) (40) 320030 Página web: http://www.atco.de/home/

Empresa	Número de empleados	País	Ciudad	Contacto
Graceland Fruit. Fuente: Graceland Fruit (2020). Graceland Fruit	100-249	Estados Unidos	Frankfort MI	Fax: (1) (231) 3524881 Página web: http://www.gracelandfruit.com

Fuente: elaboración propia con base en Trademap (2020).

1.2.1.2 Vigilancia estratégica

Esta vigilancia se desarrolló con base en las fases descritas en la sección de la metodología; es decir, buscando, identificando, exponiendo y analizando información de diferentes fuentes relacionadas con las tendencias del mercado de la piña, variedad MD2, y de sus productos derivados.

Las tendencias direccionadoras de consumo permiten comprender de manera estratégica los estilos de vida de la población, las oportunidades de innovación, las necesidades secundarias o los placeres del consumidor, con el fin de encontrar los clientes objetivos. Estos direccionadores fueron arrojados por el primer informe entregable de la actividad 1: vigilancia tecnológica y revisión de estándares internacionales[2] (ver figura 6).

Figura 6. Direccionadores y tendencias de consumo de alimentos y bebidas

Fuente: elaboración propia con base en Mintel (2019), Mintel (2018), Fona (2018), Nielsen (2016), Deloitte (2016), XTC World Innovation (2012).

2 Entregable de la actividad 1. Primer entregable (actividades específicas 1 y 2), por parte de la Universidad del Valle a la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, realizado el 5 de mayo y titulado Ejercicio de Vigilancia e Inteligencia estratégica para el ingrediente natural: Piña fresca Ananas comosus L., variedad MD2, en el marco del proyecto "Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente".

Las tendencias direccionadoras del mercado de la piña fresca y procesada, variedad MD2, deben orientarse a la tendencia de consumo a nivel global.

Piña fresca

Los direccionadores que se tendrán en cuenta para la selección del producto de piña fresca serán salud y bienestar, impacto social y practicidad.

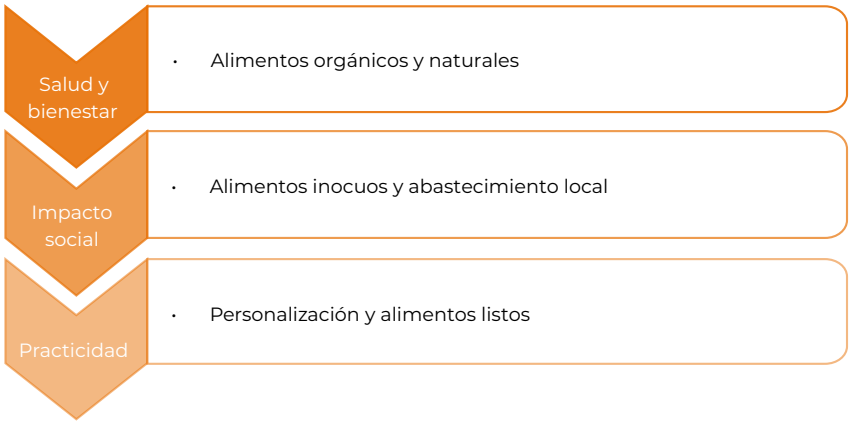


Figura 7. Direccionadores que se tendrán en cuenta para la selección del producto de piña fresca

Fuente: elaboración propia.

Salud y bienestar

El consumo de frutas y hortalizas tiene un efecto benéfico para la salud, no solo porque son una buena fuente de vitaminas, minerales y fibra, sino porque además poseen compuestos antioxidantes que contribuyen a la salud. Lo natural ha llevado al consumo de alimentos frescos y listos para ser consumidos. El propósito de los alimentos mínimamente procesados o refrigerados es proporcionar al consumidor un producto muy parecido al fresco, que garantice la seguridad del mismo (Interempresas, 2018).

Figura 8. Alimentos saludables

Fuente: AARP (2022).

Figura 9. Público objetivo de productos saludables

Fuente: Dreamstime (2020).

En Alemania, los consumidores miléniales han sido los protagonistas en las jornadas de frutas, verduras y hierbas de la feria del sector verde. El público objetivo de los empresarios está cambiando y ahora los que más se preocupan por adquirir productos más naturales son principalmente los jóvenes. Se trata de una nueva generación de clientes que trae cada vez más exigentes requisitos de la industria "verde". Estos nuevos clientes requieren productos saludables, seguros, sostenibles y regionales (Actual Fruveg, 2019), (IPM Essen, 2019). De igual manera,

en los Estados Unidos se están obteniendo productos sin químicos, de mayor valor en el mercado que los productos ordinarios, dirigiéndose principalmente a las personas que están comprometidas con su salud y bienestar y con la sostenibilidad (FAO, 2018).

Según Procolombia (2020):

> En los últimos 10 años, el uso de la piña ha incrementado en gran medida, alcanzando un aumento anual ponderado de 6 %.

> El crecimiento del consumo per cápita **ha sido impulsado por la tendencia hacia el estilo de vida saludable**, la globalización y los avances tecnológicos han permitido que la palabra "estacionalidad" sea raramente usada en la oferta de las frutas en los supermercados.

> La demanda doméstica para frutas tropicales como las **piñas**, los mangos, los aguacates y las limas creció más rápido que la de las frutas convencionales, lo que permite mayores importaciones de estos productos para cumplir con la demanda interna del país.

Impacto social

Los consumidores se interesan cada vez más en los productos elaborados a partir de procesos responsables, es decir, que garanticen inocuidad, responsabilidad ambiental y acciones sociales que permitan ayudar a las comunidades. Las tecnologías de conservación de procesado mínimo de alimentos forman parte de las principales tendencias en preservar los alimentos, garantizando la seguridad y estabilidad de los productos. Los mayores avances se han conseguido en el desarrollo de sistemas que eliminan los microorganismos sin la pérdida de valor nutricional ni organoléptico (Interempresas, 2018).

Nutrition Facts

Serving Size 2 slices, 3" diameter, 3/4" thick

Amount Per Serving	
Calories 50	Calories from Fat 0
	% Daily Value*
Total Fat 0g	0%
Saturated Fat 0g	0%
Trans Fat 0g	0%
Cholesterol 0mg	0%
Sodium 10mg	0%
Total Carbohydrate 13g	4%
Dietary Fiber 1g	4%
Sugars 10g	
Protein 1g	

Vitamin A 2%	Vitamin C 50%
Calcium 2%	Iron 2%

* Percent Daily Values are based on a 2,000 calorie diet. Your daily values may be higher or lower depending on your calorie needs:

	Calories	2,000	2,500
Total Fat	Less Than	65g	80g
Saturated Fat	Less Than	20g	25g
Cholesterol	Less Than	300mg	300mg
Sodium	Less Than	2,400mg	2,400mg
Total Carbohydrate		300g	375g
Dietary Fiber		25g	30g

Calories per gram:
Fat 9 Carbohydrate 4 Protein 4

Figura 10. Ficha nutricional de la piña

Fuente:WordPress (2020).

En los Estados Unidos la estrategia de venta de la piña ha sido identificar las poblaciones étnicas: es más común el consumo de piña en hispanos (latinos) y asiáticos (PMG, 2018). El crecimiento de la población étnica ha contribuido al aumento de la demanda de este tipo de productos y la variedad disponible para satisfacer las necesidades étnicas específicas. Se espera que el Gobierno norteamericano siga con sus campañas educativas enfocadas en la salud alimenticia de los consumidores, promoviendo las dietas ricas en frutas y vegetales, por su alto contenido de vitaminas, minerales y fibras que ayudan a controlar el peso y la presión sanguínea (Procolombia, 2018).

En Europa, la IV gama se ofrece en los mercados abiertos. En el mercado del *catering* se incorporan los bares de ensaladas, estas son el mayor y el primer segmento de la IV gama como se muestra en la figura 12.

Figura 11. Buffet de ensaladas

Fuente:Shutterstock (2022).

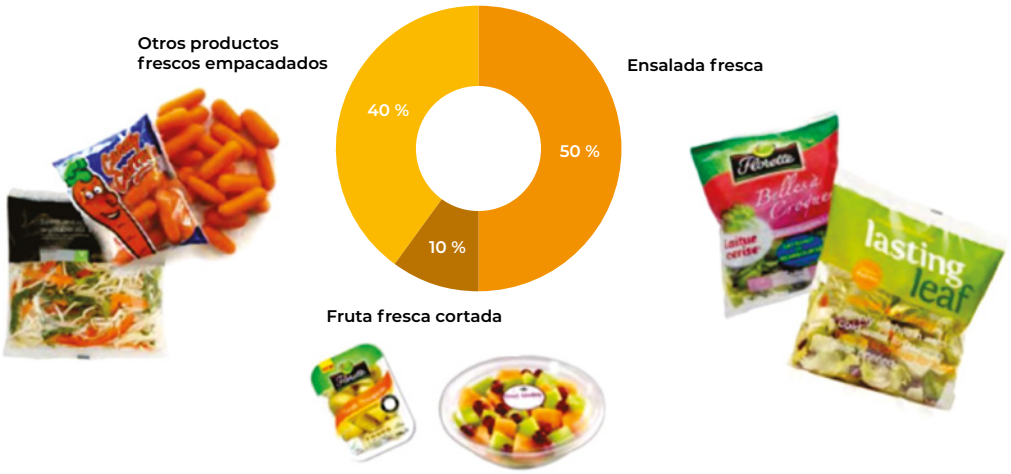


Figura 12. Volúmenes del mercado de la Unión Europea (UE) de frutas y vegetales mínimamente procesados

Fuente: Rabobank (2018).

En el 2018, el segmento de frutas mínimamente procesadas tuvo una participación de mercado significativa y se espera que esta tendencia continúe durante los demás periodos. Factores como la creciente demanda por los alimentos saludables desempeñarán un papel importante en el segmento de frutas mínimamente procesadas para mantener su posición en el mercado. Varios países de Europa introducen programas de consumo de frutas fresca en sus sistemas escolares (PR Newswire, 2018).

A nivel nacional, según proyecciones de Invest in Bogotá, la industria de alimentos y bebidas tendría un crecimiento anual del 7 %. Se espera que el sector alcance ventas por más de 25.000.000.000 USD (Portafolio, 2018).

Practicidad

Una de las principales ventajas de los productos mínimamente procesados es la reducción del espacio durante el trasporte y el almacenamiento, el menor tiempo de preparación de

las comidas que implican, la calidad uniforme que ofrecen y la mayor economía para el usuario debido a la reducción de desperdicios.

Figura 13. Piña minimamente procesada

Fuente: Frutas Golden (2022).

Las tecnologías en frutas mínimamente procesadas se han convertido en el centro de atención de gran parte de la industria alimentaria. Entre ellas se encuentran la refrigeración de los productos, tratamiento con atmósferas modificadas, la aplicación de recubrimientos comestibles y el uso de envases activos (Interempresas, 2018). Una alternativa de empaque es el envasado activo, en el cual se incorporan compuestos activos que actúan directamente sobre el producto perecedero y el entorno con el fin de extender la vida útil. Algunos son los agentes hidrofílicos en el interior del empaque, que tienen la función de absorber el exceso de agua, ya sea en estado líquido o gaseoso y controlar la humedad (Nayik y Muzaffar, 2014; Wilson, 2017).

Figura 14. Ensalada lista para consumir

Fuente: Interempresas (2015).

Respecto al mercado de los productos listos para consumir, Monoprix, en Francia, fue de los primeros en marcar la tendencia de alimentos frescos, ofreciendo el concepto de las ensaladas listas para comer (*ready to eat)* y este concepto se extendió por todo el norte de Europa (Alemania, Holanda, Bélgica y Suiza). Especialmente para las piñas, parte del procesamiento mínimo del fruto tiene lugar en Europa, las piñas frescas cortadas y envasadas son las que más ganan popularidad, los supermercados ofrecen a los consumidores los trozos recién cortados y empacados. La piña mínimamente procesada ha encontrado un importante mercado objetivo en el norte de Europa y es un segmento en rápido crecimiento (Morera, 2016; CBI, 2018).

Figura 15. Tienda online

Fuente: Interempresas (2020).

El servicio de alimentos, por ejemplo, *catering* y restaurantes, es un canal más pequeño para las piñas frescas que es suministrado por los mayoristas, este es de gran importancia para la comercialización de frutas de mayor tamaño. Otros mercados, por ejemplo, estaciones de servicio, tiendas de conveniencia venden principalmente piñas cortadas y envasadas (CBI, 2018).

Por último, la estrategia omnicanal de algunos vendedores se ha presentado como una nueva experiencia de consumo que se basa en el uso simultáneo e interconectado de diferentes canales de comunicación, con el objetivo de estrechar la relación *online* y *offline*, de esta forma se perfecciona la experiencia al cliente (Singh, 2017).

Piña procesada

Según Procolombia, el sector de las frutas procesadas ha incrementado su demanda internacional porque el mercado se está inclinando hacia el consumo de productos naturales y orgánicos, que estén ya listos o que sean de fácil preparación, por lo que las empresas están apostando a la creación de nuevos productos (Procolombia, 2019).

A nivel regional se encontró que, en la ciudad de Cali, en el año 2019, se realizó un evento llamado "LAC Flavors", que es uno de los encuentros de negocios más grandes de América Latina y el Caribe. En este evento participaron compradores internacionales de 34 países, que demandaron en gran medida productos como *snacks* saludables, frutos secos, pulpas de frutas y productos procesados con alto valor agregado (Revista Dinero, 2019).

Para la selección del producto procesado a partir de la piña se tendrán en cuenta las tendencias de salud y bienestar, impacto social y experiencia, pero, además, la practicidad y la seguridad (ver figura 6).

Salud y bienestar

En mercados de países desarrollados, las personas están reduciendo el consumo de carne, alimentos procesados y bebidas carbonatadas azucaradas, debido al deterioro de la salud. A pesar de las nuevas preferencias que están surgiendo en los consumidores, gran cantidad de productos procesados tienen azúcar añadida (Olivares y Lozano, 2019).

Los productos de confitería como las gomas, los dulces y los chocolates, entre otros, y las bebidas como las gaseosas, los tés y los energizantes, entre otras, pueden ser un gran reto, debido a que generalmente las industrias las producen con gran cantidad de azúcar y otros aditivos. Además, estos sectores en Colombia tienen gran competencia de industrias reconocidas como Colombina y Comestibles Aldor, en el campo de la confitería, y Postobón, en el segmento de bebidas, empresas que son reconocidas y comercializan a nivel nacional e internacional sus productos.

Figura 16. Reducción en el consumo de alimentos procesados

Fuente: El Tiempo (2021).

El mercado está requiriendo consumir dietas conscientes que sean flexibles y a la vez balanceadas; que aporten nutrientes como fibra, vitaminas, minerales, entre otros; y, además, que brinden energía, sensación de bienestar, reducción del estrés y que satisfagan

los antojos. En este sentido, la oferta de *snacks* menos procesados, bajos en grasa o con presencia de aceites saludables, libres de grasas trans y bajos en azúcar, sin azúcar o libres de azúcares está creciendo, ya que son productos que pueden ofrecer buenos sabores, texturas, ser indulgentes y además nutritivos (Alsec, 2018).

Cada vez más consumidores estadounidenses están reemplazando las comidas tradicionales por *snacks*, a la hora del almuerzo los consumen un 23 %, en la cena un 17 % y en el desayuno un 8 %. Se han empezado a introducir en un 16 % frutas, nueces y semillas nutritivas para incluir sabores dulces e indulgentes (Nelson, 2019).

Los consumidores están incrementando la compra de opciones saludables, de frutas y verduras. El 48 % de los franceses, el 43 % de los brasileros y el 55 % de los chinos cambiaría su dieta para tratar de ser más saludable, comiendo frutas y verduras (Lee, 2019).

Figura 17. *snacks* salubles

Fuente: Mundo Vending (2018).

En estos casos, los *snacks* de fruta surgen como una gran alternativa al consumo de frutas, ya que estas son alimentos perecederos y se deben ingerir en poco tiempo. Sin embargo, la fruta al ser secada se conserva por mucho tiempo y mantiene su valor nutritivo. Además, en esta preparación, se concentran sus hidratos de carbono, fibras, proteínas y sales minerales y se conservan en gran medida nutrientes como calcio, potasio, fósforo, hierro y magnesio, y vitaminas como la A, B y C (Romero *et al.*, 2016).

Impacto social y practicidad

La transformación de la dinámica de los hogares, la participación tanto del hombre como la mujer en el mercado laboral y el ritmo de vida acelerado especialmente en las ciudades, son situaciones que crean oportunidades de mercado para productos o alimentos listos para el consumo o de fácil preparación y prácticos.

En Estados Unidos, los miléniales son los que más consumen y buscan productos de calidad, diferenciados y enfocados en lograr una vida saludable (Olivares y Lozano, 2019).

El 63 % del promedio de los miléniales de Estados Unidos, Reino Unido, China, Brasil, Francia y Alemania están reemplazando las comidas principales por *snacks* porque están constantemente ocupados (Lee, 2019).

Figura 18. *Snacks* de piña en trozos

Fuente: Amazon (2022).

Experiencia, practicidad y seguridad

Los consumidores a nivel mundial buscan alimentos que tengan en su etiqueta los valores nutricionales del producto, que los ingredientes sean naturales y nutritivos, con presencia mínima de aditivos o sin ellos. De acuerdo con esta tendencia, el producto que presenta estas características es el *snack* de fruta, por lo que es un producto procesado, natural y sin aditivos.

Figura 19. Piña deshidratada

Fuente: Deshidratados D´Lara

Según Mintel, el empaque del producto debe ser de colores y texturas llamativos, que invoquen la naturalidad con vegetales, frutas o flores. Además, los *snacks* deben contar una historia, ser auténticos (Mogelonsky, 2019).

Al 66 % de los estadounidenses, al 61 % de los británicos y al 67 % de los consumidores chinos les gusta descubrir nuevos sabores en los productos, nuevas experiencias (Lee, 2019).

Como parte de la seguridad que puede brindar el producto al consumidor, se encuentra la tendencia de "etiquetas limpias", en las que se declara la composición nutricional del producto, la no presencia de aditivos o conservantes, el bajo contenido o ausencia de grasas y azúcares, la sostenibilidad ambiental y los métodos de producción, entre otros. Esto ha provocado la mayor aceptación del consumidor y nuevos lanzamientos, por parte de las industrias, de *snacks* reducidos en grasas o con grasas saludables, con presencia moderada de carbohidratos y sodio, libres de gluten y con etiquetas limpias, además de ser beneficiosos para la salud (Alsec, 2018).

1.2.1.3 Vigilancia científico-tecnológica

Esta vigilancia se desarrolló teniendo en cuenta las fases descritas en la sección de metodología, es decir, buscando, identificando, exponiendo y analizando información de diferentes fuentes acerca de artículos científicos y de patentes, relacionadas con un producto de piña fresca mínimamente procesado y un producto de piña procesado como un *snack*. Los resultados son relevantes para la toma de decisiones sobre los prototipos para la selección del proceso. De igual manera, también se tuvieron en cuenta las necesidades de los productores, mencionadas durante las visitas a los cultivos de Elixir ltda. y de la Comunidad de Bienes Hermanos de Lorenzo Vegas (CBHLV), y a la planta procesadora de piña Piñas del Pacífico S.A.S., todos ubicados en el departamento Valle del Cauca.

Selección del proceso para piña fresca

Artículos científicos relacionados con piña fresca

En la tabla 9, se muestranlos artículos científicos más destacados sobre métodos de conservación de piña fresca o mínimamente procesada. Se señalan autores, año de publicación, revista y número de citas.

Tabla 9. Artículos científicos basados en un producto de piña fresca mínimamente procesada

Artículo	Autores	Año	Revista / Journal	Citas
Effect of Cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merril cv "Pérola"	Bierhals, V. S., Chiumarelli, M., Hubinger, M. D.	2011	Journal of Food Science 76(1), pp. E62-E72	64
Effect of atmospheres combining high oxygen and carbon dioxide levels on microbial spoilage and sensory quality of fresh-cut pineapple	Zhang, B. Y., Samapundo, S., Puthakos, N., (...), Noseda, B., Devlieghere, F.	2013	Postharvest Biology and Technology 86, pp. 73-84	17
Effects of pure oxygen and reduced oxygen modified atmosphere packaging on the quality and microbial characteristics of fresh-cut pineapple	Pan, Y., Zhu, J., Shouying, L.	2015	Fruits 70(2), pp. 101-108	2
Impact of UV-C light on storage quality of fresh-cut pineapple in two different packages	Manzocco, L., Plazzotta, S., Maifeni, M., (...) Anese, M., Nicoli, M. C.	2016	LWT Food Science and Technology 65, pp. 1130-1143	8
Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple	Treviño, M. Z., Santos, N. H., Alanís, M. G., Arévalo, K.	2017	Postharvest Biology and Technology 128(2-3), pp. 63-75	17
Efecto del tipo de corte y tipo de envase en la conservación de piña (*Ananas comosus* L. Merr.) Oro miel mínimamente procesada	Buitrago, E. M., Rivera, M. C., Dussán, S., Ordoñez, L.	2018	Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 12(2), pp. 308-318	1
Influence of storage temperature and different packaging on the physicochemical quality of fresh-cut "Perola" pineapple	Lima, P., Fyfe, S. A., Sarzi de Souza, B.	2019	Idesia 37, pp. 13-19	0
Maintenance of the antioxidant capacity pf fresh-cut pineapple by procyanidin-grafted chitosan	Jing, Y., Huang, J., Yu, X.	2019	Postharvest Biology and Technology 154, pp. 79-86	2

Fuente: elaboración propia.

Patentes relacionadas con piña fresca

A continuación, se muestran dos patentes destacadas relacionadas con productos mínimamente procesados, junto con la opinión del experto acerca de ellas.

1	**Número de publicación: EP1121025**
Title: Process for Preserving Fresh Pineapple	
Título: Proceso para conservar piña fresca	
Países de publicación: Estados Unidos	
Estado legal: vigente	
Uso en Colombia: sí	
Contenido técnico: La presente invención define un proceso para tratar y almacenar la piña recién cortada mejorando en gran medida el sabor y aumentando la vida útil de los frutos de piña mínimamente procesados. La piña recién cortada se desinfecta primero en la superficie. Se mide el contenido de sólidos solubles (°Bx) y el contenido de ácidos y se estima la relación contenido de sólidos solubles/ácidos. Posteriormente, la selección se realiza a partir de lotes de jugo de piña previamente almacenado, que pueden ser de una temporada diferente o de una parte diferente de la misma temporada. El jugo se selecciona para que tenga una relación contenido de sólidos solubles/ácidos que equilibre la de la fruta fresca, de modo que la fruta/jugo combinada tenga una relación de 19, o preferiblemente en el rango aproximado de 16 a 23. El jugo previamente se filtra y se pasteuriza, luego se congela o se mantiene cerca de la congelación. La fruta recién cortada, preferiblemente enfriada, se mantiene hasta justo por encima de la congelación, se sumerge en el jugo seleccionado, que puede ser una mezcla de varios lotes, y se almacena y envía preferiblemente cerca de la congelación. La fruta resultante tiene una larga vida útil y exhibe un sabor muy fresco y equilibrado. **Opinión del profesional:** es una excelente alternativa para aumentar la vida útil del producto y, además, mejorar las características nutricionales y sensoriales. Considero que es un buen punto de partida para explorar otro tipo de soluciones que permitan mejorar la calidad del producto.	

Más información: https://lp.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=es_LP&FT=D&date=20010808&CC=EP&NR=1121025A1&KC=A1

2	**Número de publicación: WO2015093992(A1)**
Title: Aseptic Thermal Processing for Fruits and Vegetables	
Título: Proceso aséptico térmico para frutas y verduras	
Países de publicación: India, Filipinas, Tailandia	
Estado legal: pendiente	
Uso en Colombia: no	

Contenido técnico:
La presente invención se refiere a un método para mantener intactos los trozos de fruta, como las rodajas de piña, mientras se procesa en condiciones asépticas y anaeróbicas. Las piñas se colocan en un "portador de rodajas" para sostener las rodajas de piña. Luego, el "portador de rodajas" se transfiere a una cámara anaeróbica y se sumerge en una mezcla de azúcares y ácidos que se calienta y luego enfría. Las rodajas se calientan con parámetros térmicos mínimos en posiciones de separación definidas para permitir una penetración de calor uniforme. Las soluciones de inmersión se mantienen a un pH y contenido de sólidos solubles similares al de la piña. Las rodajas de piña se enfrían y se empacan en envases estériles en condiciones anaeróbicas y asépticas. Las soluciones de inmersión se reciclan opcionalmente. El preacondicionamiento de las frutas y verduras se puede hacer en condiciones ambientales.
Opinión del profesional: claramente, la tecnología del procesamiento térmico y aséptico se presenta como una excelente opción para la conservación de un producto fresco. Al aplicar las condiciones recomendadas por los autores de la patente es posible desarrollar productos de mejor calidad. Asimismo, ellos presentan un método sencillo, lo cual sería viable de realizar en primera instancia a una escala piloto.

Más información: https://lp.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=es_LP&FT=D&date=20150625&CC=WO&NR=2015093992A1&KC=A1

Alternativas tecnológicas para la selección del proceso de piña fresca

Para llevar a cabo la selección de un proceso en piña fresca, variedad MD2, se tuvieron en cuenta distintas tecnologías en poscosecha como alternativas para la conservación del fruto. De las alternativas planteadas, se establecieron los criterios de selección que fueron basados en las necesidades que tienen los productores y cultivadores de piña en la región del Valle del Cauca para determinar los parámetros de calidad de los frutos. Estos fueron evaluados de acuerdo con los siguientes aspectos:

- **Disponibilidad de equipos:** se realizó búsqueda de los equipos que podrían cumplir con la ejecución del método de conservación estudiado.
- **Costo de equipos:** dependiendo del resultado del criterio anterior y acorde con el objetivo de obtener un producto de piña MD2, se cotizó en algunas empresas del mercado el costo del equipo o los equipos disponibles que puede ser unidos en un diseño para formar el sistema necesario para el método adecuado que se esté evaluando.
  Después de definir el posible equipo para usar, se prestó atención al precio comercial del equipo (COP), marca, modelo y cualquier otra característica suministrada por el vendedor. En este ítem no se tienen en cuenta el costo de la instalación y otros aspectos necesarios para su adecuado funcionamiento.
- **Costo de operación:** este criterio relaciona, en COP, la inversión inicial para el equipo y el gasto del consumo de energía y agua (Emcali, 2019) durante ese primer mes, si lo hay. Adicionalmente, el posible costo de un empleado, porque, dependiendo del equipo y otros aspectos de la operación, se establecería el numero de empleados requeridos, el cual no es de fácil determinación.

No se consideraron costos por acciones no pertenecientes a la operación del equipo, pero necesarias para la operación de la planta, por ejemplo, el gasto de energía y agua para limpieza y desinfección de áreas.

- **Impacto ambiental**: según las normas establecidas para este aspecto en decretos y resoluciones colombianas, se marcó el aspecto negativo de la alternativa evaluada. Para la evaluación de este aspecto se tuvieron en cuenta 4 criterios ambientales:

1. **Atmósfera:** las emisiones atmosféricas se refieren a la calidad del aire (Decreto 948, 1995; Resolución 610, 2010) afectada por residuos particulados (Resolución 2254, 2017) y por ruido (Resolución 0627, 2006; Resolución 6918, 2010) se complementará con el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medioambiente (Decreto 2811, 1974).
2. **Suelos:** puede presentarse contaminación por generación de residuos sólidos, renovables o no renovables, presentados como recursos naturales (Decreto 2811, 1974). Se tendrán en cuenta los límites permisibles de residuos sólidos (Resolución 058, 2002), así como el manejo de residuos peligrosos (Decreto 4728, 2010; Decreto 4741, 2005), en caso de ser necesario.
3. **Recursos hídricos:** Se tendrá especial cuidado sobre el consumo de recursos hídricos (agua) (Decreto 2811, 1974), los límites permisibles de residuos líquidos (Resolución 058, 2002) y la demanda bioquímica de oxígeno a 5 (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO) (Decreto 3930, 2010).
4. **Recursos energéticos:** debido a que Colombia depende, significativamente, de energía hidráulica se tendrá en cuenta lo establecido en el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811, 1974), junto con la Ley 697, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas (2001)

- **Facilidad de transferencia tecnológica**: se mencionó la facilidad o complejidad de aplicar la alternativa de deshidratación que se está evaluando y el país donde hay disponibilidad del equipo.
- **Oportunidades de mercado y posibilidades de comercialización:** este aspecto, menciona lo que actualmente está pasando con la alternativa evaluada y lo que podría pasar al implementarla en el país.

Los anteriores aspectos fueron los criterios determinantes para seleccionar el proceso que mejor se adecuara a la obtención de un producto a partir de piña fresca.

Se consideraron 3 alternativas de conservación:

Recubrimiento comestible de trozos, empaque y refrigeración de las piñas recién cortadas, aplicación de luz ultravioleta.

Alternativa 1: recubrimiento comestible de trozos de piña fresca

Los recubrimientos comestibles se definen como aquellos productos que forman una capa fina sobre el alimento, lo que permite tener una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua, reduce el deterioro y mantiene la integridad del producto que envuelve. El creciente interés en consumir productos sanos y saludables ha orientado a los productores a considerar la aplicación de los recubrimientos comestibles en las frutas frescas para controlar la respiración y la senescencia del fruto (Álvarez, 2012; Fernández *et al.*, 2015).

Los principales componentes de los recubrimientos comestibles son polisacáridos, proteínas y lípidos. Además, se incluyen algunos aditivos como emulsificantes, plastificantes, conservantes y antioxidantes que mejoran las propiedades de dichos recubrimientos. Existen distintas técnicas de aplicación de los recubrimientos: por inmersión, por aspersión de espuma o por atomización. Todas las anteriores deben tener una aplicación homogénea para formar una capa en toda la superficie del fruto y un secado (Treviño *et al.*, 2017).

La disponibilidad de equipos para llevar a cabo este proceso es el principal indicador para determinar el costo de los equipos, la inmersión es una técnica de bajo costo que permite obtener una distribución homogénea del recubrimiento si se realiza adecuadamente. Sin embargo, puede originar problemas de contaminación microbiana o dilución de las emulsiones si la fruta no está previamente seca. La aspersión de espuma y la atomización requieren equipos de aplicación que permitan agilizar el proceso de aplicación. La aspersión de espuma presenta la ventaja de facilitar el secado, porque permite el uso de formulaciones de alto contenido en sólidos, pero puede dar lugar a una mala distribución del recubrimiento. La atomización de las soluciones de recubrimiento da buenos resultados y es la técnica más empleada; sin embargo, es la técnica más costosa y más difícil de estandarizar porque se deben utilizar soluciones de baja viscosidad (Tarazaga, 2007).

Respecto a los costos de los equipos, se evaluó la técnica por atomización. Un sistema de atomización de 6 boquillas con aire comprimido que forma una capa muy fina en el fruto tiene un costo de 1014,71 USD. Este será empleado mediante una banda transportadora de 4 m, acompañada de un secado (secador túnel con cinta transportadora), cuyo valor corresponde a los 6139,02 USD. Este equipo dispone de una potencia de 12 kW. Los datos fueron obtenidos de una cotización realizada por la empresa Boquillas y Sistemas de Aspersión S.A.S. (B&S de A), ubicada en la ciudad de Cali.

Una vez obtenida la potencia requerida para este sistema, se calculó el costo energético. El valor unitario del consumo energético corresponde a un valor de 0,13 (USD/kW/h).

Costo energético: 1,69 USD/h

Actualmente, no existe una normatividad en Colombia que regule la composición de los diferentes recubrimientos comestibles. Esto puede generar algunas limitaciones en el desarrollo de esta técnica, ya que los recubrimientos se comportan de distinta manera en función del tipo de fruto debido a las características fisiológicas y morfológicas de los mismos. Como desventajas, cabe señalar el desarrollo de malos sabores y los desórdenes en la maduración por intolerancia a bajas concentraciones de O_2 o altas concentraciones de CO_2 (Fernández *et al.*, 2017).

Alternativa 2: empaque y refrigeración de piñas recién cortadas

Las frutas cortadas son productos frescos que se procesan con el fin de proveer al consumidor un alimento listo para ser consumido. La calidad con que lleguen las frutas al consumidor depende en gran medida del material del empaque. Un empaque apropiado es aquel que soluciona problemas fisiológicos propios de la fruta, la protege asegurando la conservación y resalta la presentación, lo que le confiere un valor agregado al producto sin incrementar considerablemente el precio del producto final. Una vez sean empacados los productos mínimamente procesados es necesario el mantenimiento de las condiciones de frío durante toda la cadena de distribución hasta su consumo (Buitrago, 2017; Buitrago *et al.*, 2018).

El almacenamiento a bajas temperaturas durante la poscosecha es la tecnología más utilizada en los frutos, teniendo en cuenta que la temperatura es el factor más importante en la actividad metabólica de las frutas. El objetivo de la refrigeración es ralentizar los procesos de deterioro del fruto, lo que permite prolongar su vida útil. Sin embargo, la vida útil de los distintos frutos es muy variable, el frío puede ocasionar una lesión de los tejidos en frutos sensibles. Por lo tanto, para determinar una temperatura óptima durante el almacenamiento es imprescindible estudiar la respuesta del fruto a las bajas temperaturas (Álvarez, 2012; Tarazaga, 2007).

El empacado y refrigeración de un producto fresco es un sistema energético y económicamente factible para capacidades comparables con las existentes en la actualidad, en la mayor parte del país, en el sector de frutas y verduras. Para la factibilidad energética se calcularon los requerimientos de energía necesarios para el enfriamiento de una determinada cantidad de kilogramos por hora, mientras que para la factibilidad económica se consideraron los costos de operación (valor unitario energía) y de adquisición de los equipos asociados con el método de enfriamiento continuo (Seitz, 2008).

La tecnología de refrigeración está ligada con el empacado del fruto y podrá garantizar mejores condiciones durante el almacenamiento, lo cual le confiere un valor agregado al producto y le constituye un potencial para su comercialización. El objetivo de un producto empacado es proporcionar una barrera entre el alimento y el exterior, y sus funciones

estarán enfocadas en contener, dosificar, proteger, conservar, almacenar, informar, vender y cumplir con la normatividad vigente (Yunga, 2011).

Para una cantidad por procesar de kg/h de piña cortada y empacada, el calor por remover desde la fruta se obtiene a partir del flujo másico de la piña cortada y empacada, el calor específico de entrada de la piña y la diferencia de temperaturas. Se evaluó considerando una temperatura inicial de la fruta de 28 °C y una temperatura final de 3 °C, y un calor específico de la piña de 3,68 kJ/kg·K (McKetta, 1995). Se obtuvo un resultado de 5,11 kW.

Una vez obtenida la energía (en forma de calor removido) requerida para el enfriamiento, se calculó el costo energético. El valor unitario del consumo energético corresponde a un valor de 0,13 (USD/kW/h).

Costo energético: 0,69 USD/h

De acuerdo con la capacidad de enfriamiento la elección de equipos para un sistema de refrigeración sería:

Unidad condensadora hermética 5,5 hp[3]	1784,62 USD
Evaporador[4]	1167,42 USD
Total	**2952,29 USD**

El costo de la unidad de refrigeración para este caso tendría un valor de 2952,29 USD.

Este proceso permite que a nivel industrial un producto de piña mínimamente procesado pueda abrir nuevos canales de comercialización, ya que el empaque y enfriamiento hacen que el producto final pueda ser considerado comercialmente estable.

Alternativa 3: métodos con radiaciones ultravioleta

La irradiación es un método físico utilizado en la conservación de alimentos que consiste en exponer el producto a la acción de las radiaciones ionizantes, que es la radiación capaz de transformar moléculas y átomos en iones (Álvarez, 2012; Márquez *et al.*, 2013).

Los métodos con radiaciones UV en la poscosecha tienen por objeto la inactivación de microorganismos (bacterias, mohos y levaduras), la reducción del metabolismo del fruto, disminuyendo la actividad respiratoria y la pérdida de agua, lo que permite mejorar y alargar la vida útil de la piña. Asimismo, se seleccionó como una alternativa por tratarse

3 Precio con base en información obtenida del buscador en línea Olx.

4 Precio con base en información obtenida del buscador en línea Olx.

de un proceso que no altera las propiedades organolépticas de los productos y reduce el uso de sustancias químicas (Millán *et al.*, 2015).

A fin de lograr la inactivación microbiana, la exposición a la radiación debe ser al menos de 400 J/m2 en toda la superficie del producto (Domínguez y Parzanese, 2008). Los factores críticos incluyen la transmisividad del producto, la configuración geométrica del reactor, la potencia, la longitud de onda y la disposición física de la fuente de UV, el perfil de flujo de producto y la trayectoria de la radiación.

La disponibilidad de equipos para llevar a cabo este proceso está dada por lo siguiente:

- Cámara de exposición (acero inoxidable).
- Lámparas ultravioletas.
- Sensores que monitorean la intensidad de la luz ultravioleta.
- Dispositivo de control de temperatura.
- Balasto (ordena el flujo de electrones).

En el diseño del equipo es importante asegurar que el espacio entre las lámparas y las superficies reflectoras al interior de las cámaras sea correcto, de manera que se libere energía rápidamente a la superficie del producto, de este modo cada microorganismo recibirá la dosis de radiación necesaria para eliminarlo (Márquez Villacorta y Pretell Vásquez, 2013). Sin embargo, esta técnica no es tan efectiva en los materiales sólidos, ya que disminuye la transmisividad (proporción de la radiación incidente sobre un material) de la luz UV. La baja transmitancia, que es la magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo (potencia), está asociada con la cantidad de sólidos en suspensión, el color y la composición del producto (Domínguez y Parzanese, 2008).

El costo aproximado de esta tecnología es de 20.000 USD. La radiación emitida se mide en watts (W) y la dosis se mide en J/m^2, con el fin de lograr una inactivación microbiana la exposición al menos debe ser de 400 J/m^2.

Costo energético: 0,90 USD/h

Para todas las alternativas, el procesamiento mínimo comprende distintas operaciones unitarias como la selección, la clasificación, el lavado, el pelado y el cortado; por lo tanto, los equipos utilizados para este tipo de operaciones no se tuvieron en cuenta en la disponibilidad y costos del equipo, así como los costos de operación para seleccionar el proceso. La figura 20 muestra el diagrama de proceso para cada alternativa.

La figura 20 muestra los diagramas de flujo de cada alternativa planteada para un producto de piña fresca, variedad MD2.

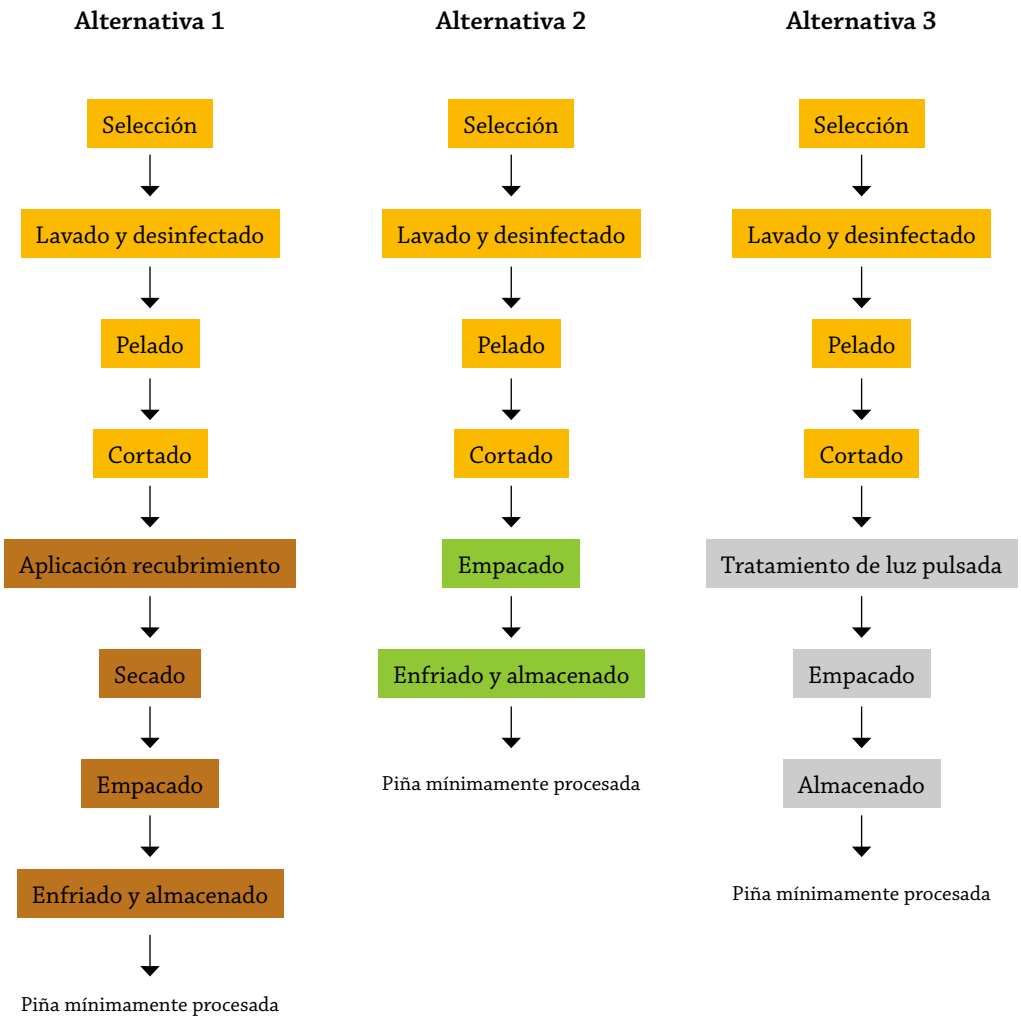


Figura 20. Diagramas de flujo de los procesos revisados para piña mínimamente procesada

Fuente: elaboración propia.

La tabla 10 muestra un cuadro comparativo con las diferentes alternativas para realizar un proceso en piña fresca mínimamente procesada.

Tabla 10. Cuadro comparativo con las alternativas para seleccionar el proceso en piña fresca, variedad MD2

Criterios			Alternativa 1 Recubrimiento comestible en piñas recién cortadas	Alternativa 2 Empaque y refrigeración de las piñas recién cortadas	Alternativa 3 Métodos con radiaciones ultravioleta UV-C
Disponibilidad de equipos			Reactores de presión o elaboración a escala laboratorio. Métodos por inmersión, túneles de aspersión y secado. Métodos de impregnación por cepillos.	Nevera industrial, empaques termoformados de alta densidad y barrera.	Cámara de desinfección, Lámparas UV-C, dispositivos de control de velocidad de flujo y temperatura.
Costos de equipos y operación			Equipos: Sistemas aspersores, aplicador con aire comprimido: 1014,71 USD Túneles de secado con banda transportadora de 4 m (largo): 6139 USD Costo de operación: 1,62 USD/h	Equipos: Unidad condensadora hermética: 1784,77 USD Evaporador: 1167,42 USD Costo de operación: 0,69 USD/h	Equipo con capacidad de: 1500 l/h: Equipo: 16.890 USD Costo de operación: 0,90 USD/h
Fuente de energía			12 kW	5,11 kW	6,67 kW
Impacto ambiental	**Atmosférica**	**Material particulado**	No	No	No
		Ruido	Ruido constante debido al equipo de atomización.	No	No
	Suelos	**Residuos sólidos**	Residuos orgánicos derivados de la cáscara y la corona de la piña durante el pelado.	Residuos orgánicos derivados de la cáscara y la corona de la piña durante el pelado. Residuos por empaques de baja biodegradabilidad una vez es comercializado el producto.	Residuos orgánicos derivados de la cáscara y la corona de la piña durante el pelado.
		Sustancias químicas	Volatilidad de agentes químicos, usados en los análisis fisicoquímicos que pueden evaporarse.	Volatilidad de agentes químicos, usados en los análisis fisicoquímicos que pueden evaporarse..	Volatilidad de agentes químicos, usados en los análisis fisicoquímicos que pueden evaporarse

	Recursos hídricos	**Consumo**	Fuente fija de agua para lavado y desinfección del fruto. Fuente fija de agua para formulación del material líquido en la atomización.	Fuente fija de agua para lavado y desinfección del fruto.	Fuente fija de agua para lavado y desinfección del fruto.
		Vertimientos	Aguas residuales del lavado de los frutos que pueden desprender sustancias orgánicas y aumentar los niveles permisibles de DBO y DQO* Residuos de sustancias orgánicas derivadas de la composición de los recubrimientos durante el proceso que pueden aumentar los niveles de DBO.	Aguas residuales del lavado de los frutos que pueden desprender sustancias orgánicas y aumentar los niveles permisibles de DBO y DQO*.	Aguas residuales del lavado de los frutos que pueden desprender sustancias orgánicas y aumentar los niveles permisibles de DBO y DQO*.
	Energético	**Consumo**	El sistema debe proporcionar energía a 2 equipos que tienen alto consumo energético.	El consumo energético será más relevante, ya que el sistema de refrigeración deberá ser constante durante el almacenamiento del fruto.	El consumo energético debe a las lámparas UV. Sin embargo, este sistema se considera energéticamente eficiente (~40 %).
Facilidad de transferencia tecnológica			Aunque las propiedades de los distintos materiales han sido ampliamente estudiadas, los recubrimientos comestibles aún no se aplican a escala industrial en frutas cortadas.	Esta tecnología es la más factible para los productores de la región, tanto en los cultivos como en las plantas procesadoras de piña. Además, se encuentra en línea con el creciente interés de la industria de alimentos por satisfacer las nuevas demandas del consumidor ofreciendo un producto de mayor valor agregado.	Pese a que esta tecnología es de fácil aplicación y de bajo costo, es indispensable para la industria contar con el personal técnico y poseer los conocimientos técnicos sobre irradiación, que actualmente no es suficientemente demandada en la mayoría de los países industrializados.
Oportunidad de mercado y posibilidad de comercialización			Los consumidores cada vez están más interesados en los productos locales y nativos, lo que los hace más comprometidos con el desarrollo rural de la región. Sin embargo, el recubrimiento comestible para la piña cortada deberá ser declarado en la etiqueta del producto.	Los consumidores cada vez están más interesados en los productos locales y nativos, lo que los hace más comprometidos con el desarrollo rural de la región. Un fruto de piña cortado y empacado es un producto listo para consumir o para ser incluido en nuevas preparaciones.	Los consumidores cada vez están más interesados en los productos locales y nativos, lo que los hace más comprometidos con el desarrollo rural de la región.

Fuente: elaboración propia.

Selección del proceso para piña procesada

Artículos científicos relacionados con snacks de piña

En la tabla 11, se muestran los artículos científicos más destacados sobre métodos de producción de *snacks* de frutas. Se incluyen información sobre autores, año de publicación, revista y número de citas.

Tabla 11. Artículos científicos relacionados con las alternativas para producir *snacks* de piña

Artículo	Autores	Año	Revista / Journal	Citas
Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)	Ayala, A. A., Serna, L., Mosquera, E.	2010	Revista Vitae 17(2), pp. 121-127	35
Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: An in vitro study	Tian, J., Chen, S., Shi, J., (...), Ogawa, Y., Ye, X.	2017	Food Structure 14, pp. 30-35	3
Effect of pre-treatment processes on physicochemical aspects of vacuum-fried banana chips	Udomkun, P., Innawong, B.	2018	Journal of Food Processing and Preservation 42(8),e13687	2
Effect of Vacuum Frying on Quality Attributes of Fruits	Ayustaningwarno, F., Dekker, M., Fogliano, V., Verkerk, R.	2018	Food Engineering Reviews 10(3), pp. 154-164	5
Frying Process: From Conventional to Air Frying Technology	Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L., Otoboni, A. M.	2019	Food Reviews International 35(8), pp. 763-777	1
A kinetic study of carotenoid degradation during storage of papaya chips obtained by vacuum frying with saturated and unsaturated oils	Soto, M., Dhuique-Mayer, C., Servent, A., (...), Vaillant, F., Achir, N.	2020	Food Research International 128,108737	1
Physicochemical properties of guava *snacks* as affected by drying technology	Leiton-Ramírez, Y. M., Ayala-Aponte, A., Ochoa-Martínez, C. I.	2020	Processes 8(1), pp 1-12	0

Fuente: elaboración propia.

Patentes relacionadas con snacks de piña

A continuación, se muestran algunas patentes destacadas relacionadas con diferentes alternativas de procesamiento junto con la opinión del experto acerca de ella.

1	Número de publicación: EP2797437
Title: Vacuum dried fruit or vegetable product and process for making it	
Título: Frutas o productos vegetales secados al vacío y proceso para su elaboración	
Estado legal: concedida	
Uso en Colombia: sí	
Contenido técnico: En esta invención se explica el proceso para secar al vacío frutas o verduras, especialmente frutas tropicales como plátanos, mangos y piñas, para proporcionar una merienda en trocitos dulce y nutritiva, libre de aditivos como aceites, conservantes o azúcares. El proceso consiste en un secado al vacío y utiliza un equipo en forma de autoclave que contiene un intercambiador de calor de placas apiladas en el que se colocan los trozos de frutas sobre las bandejas para secar entre platos calientes en el intercambiador de calor. Las placas se calientan con agua o una mezcla de agua y vapor, y el secado se realiza en autoclave bajo presión. **Opinión del profesional:** se debe evaluar la factibilidad económica de la adquisición del equipo; sin embargo, se podría probar su uso por la calidad de productos que ofrece.	

Más información: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&d ate=20141105&CC=EP&NR=2797437A1&KC=A1

2	Número de publicación: CN208709591U
Title: Air Fryer	
Título: Fritura con aire caliente	
Estado legal: concedida	
Uso en Colombia: sí	
Contenido técnico: El modelo muestra un tipo de freidora de aire que incluye el cuerpo, la olla interior, la olla exterior y el ventilador. Esta freidora de aire está aislada por una tubería generadora de calor que irradia calor directamente sobre los alimentos. **Opinión del profesional:** es una tecnología que puede reducir el contenido de grasa en el alimento, además le otorga buenas características sensoriales. Podría ser un buen referente para probar otro tipo de soluciones de inmersión que mejoran la calidad del producto final.	

Más información: https://patents.google.com/patent/CN208709591U/en?q=air+fryer&oq=air+fryer

3	Número de publicación: EP2293676
Title: Improved infusion method for production of vacuum fried fruit and vegetable *snacks*	
Título: Método de infusión mejorado para la producción de *snacks* de vegetales fritos al vacío	
Estado legal: concedida	
Uso en Colombia: sí	
Contenido técnico: En esta invención se expone un método para sumergir frutas y verduras con fibras solubles prebióticas en forma de fructooligosacáridos o dextrinas de cadena corta. Las frutas y verduras se sumergen en una solución de infusión de fibra soluble prebiótica. Luego, se les aplican procesos de infusión a presión atmosférica y al vacío. La solución se mantiene a una temperatura entre 45 a 50°F y contenido de sólidos entre 30 y 60 °Bx. El producto se somete a impulsos de vacío para acelerar la infusión de sólidos y disminuir la difusión. Al final, al alimento se le aplica fritura al vacío para obtener un producto de fruta o vegetal de buen sabor, con alto contenido de fibra, buena textura y sabor natural. Además, con vida útil de hasta 12 meses. **Opinión del profesional:** es una tecnología que puede reducir el contenido de grasa en el alimento, además le otorga buenas características sensoriales. Podría ser un buen referente para probar otro tipo de soluciones de inmersión que mejoran la calidad del producto final.	

Más información: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&d ate=20110316&CC=EP&NR=2293676A1&KC=A1

Alternativas tecnológicas para la selección de proceso de snacks de piña

Para llevar a cabo la selección de un proceso para producir *snacks* de piña, variedad MD2, se establecieron criterios de selección, siguiendo la metodología de selección del proceso para piña fresca. Estos son:

- Disponibilidad y costo de los equipos.
- Costo de la operación e impacto al ambiente.
- Facilidad de realizar la transferencia tecnológica del proceso.
- Oportunidad de mercado de los productos y posibilidades de comercialización.

Para la selección se dio mayor relevancia a los costos de equipo y de operación. Las metodologías para realizar los cálculos correspondientes fueron las de Seitz (2018) y Domínguez y Parzanese (2008).

Se consideraron 3 alternativas para la selección del proceso:

Alternativa 1: liofilización

Es un proceso que consiste en eliminar el contenido líquido de un producto por sublimación del agua libre de la fase sólida, acompañada de la evaporación de agua no congelable (Abdelwahed *et al.*, 2006). Permite prolongar la vida útil de los alimentos y a su vez conservar las propiedades físicas organolépticas y nutricionales (Ayala *et al.*, 2010). Con la liofilización se obtienen productos alimenticios de mayor calidad con los resultados de cualquier otro método de secado, ya que se conservan la estructura, el sabor, el aroma y los nutrientes (Ramírez-Navas, 2006). A pesar de las ventajas que tiene esta técnica, es muy costosa debido a que la velocidad de secado es lenta y a que se necesita usar vacío (Geankoplis, 1998).

El proceso de liofilización se divide en 3 pasos:

- Preparación de la materia prima (lavado, pelado, descorazonado, tajeado, troceado). Los trozos se colocan en bandejas para introducirlos en el liofilizador.
- Se emplea una bomba de vacío para evacuar el aire de la cámara del liofilizador y el producto se congela (sólido).
- El producto se calienta lentamente para sublimar el agua. El proceso dura, dependiendo de la cantidad de agua presente en el fruto, entre 12 y 24 horas.

Alternativa 2: secado con ventana de refractancia (VR) + fritura a presión reducida ("al vacío")

En el secado por ventana de refractancia se emplea la energía infrarroja del agua, reduciendo los tiempos del proceso y alcanzando bajas temperaturas en el producto (Ormaza

et al., 2016). Se aplica especialmente a alimentos que son termosensibles como las frutas y presenta las siguientes ventajas: reduce las pérdidas de estructura y de compuestos fisicoquímicos, no genera subproductos ni emisiones contaminantes y, por otro lado, gracias a la velocidad de secado permite un ahorro de energía. Además, al no alcanzar temperaturas altas se evita el sabor a quemado o la oxidación del producto (Nindo y Tang, 2007).

El tratamiento de posterior aplicación es la fritura a presión reducida ("al vacío). Este se utiliza en la elaboración de productos deshidratados tipo *snacks* provenientes de frutas y vegetales, con los que se busca mantener las propiedades organolépticas (color, aroma y textura) y niveles bajos de aceites y grasas (Dueik *et al.*, 2010). Es una gran alternativa, debido a que ayuda a conservar los nutrientes de alimentos como frutas y vegetales en comparación con la fritura convencional (Mehrjardi *et al.*, 2012).

Una ventaja de la fritura al vacío frente a la fritura convencional es que al aplicar bajas presiones y, por lo tanto, menor temperatura del aceite de fritura, se previene la decoloración producida por quemaduras u oscurecimiento. También las bajas temperaturas provocan la disminución de las reacciones de Maillard, las cuales ocasionan la presencia de color marrón y de ciertos aromas y, a su vez, producen compuestos tóxicos como acrilamidas, nitrosaminas, etc. (Nunes y Moreira, 2009).

Sin embargo, de acuerdo con las tendencias de consumo en *snacks*, a nivel mundial y nacional, los consumidores se inclinan por productos más saludables y bajos en grasa y sodio, lo cual representa un reto para al ingreso al mercado nacional de este tipo de productos.

El secado por ventana de refractancia y la fritura a presión reducida a nivel general se realiza de la siguiente forma:

- Preparación de la materia prima (lavado, pelado, descorazonado, tajeado, troceado).
- Se calienta el aceite a la temperatura deseada.
- Luego, se colocan los trozos en una canastilla, se cierra su tapa y se procede a activar la bomba de vacío.
- Cuando el equipo llegue a la presión deseada, se debe bajar la canastilla. Esta quedaría sumergida en el aceite.
- Al terminar el tiempo de fritura, debe levantarse la canastilla, dejar la bomba encendida alrededor de 1 min para romper el vacío.
- Finalmente, se retiran los *snacks*.

Alternativa 3: secado con ventana de refractancia (VR) + fritura por aire caliente (*Air-frying*)

El método de deshidratación por ventana de refractancia es aplicado a alimentos sensibles al calor, como las frutas y las verduras, para mantener sus propiedades organolépticas y nutricionales. Este proceso de secado es rápido porque hay transferencia de calor por 3 medios, por convección y conducción en la parte inferior de la membrana plástica hacia el alimento, la radiación del baño térmico a través de la membrana al alimento y la convección en la superficie del alimento (Ortiz-Jerez *et al.*, 2015)the plastic sheet is heated from below via circulating hot water. Current understanding suggests that the use of a thin plastic sheet that is transparent to infrared radiation (IR. La temperatura del agua de calentamiento se establece por debajo de la temperatura de ebullición, para favorecer el paso de la radiación infrarroja del agua hacia el alimento y, así, lograr un secado rápido (Ocoró y Ayala, 2012).

La fritura con aire caliente (*Air-frying*) es una nueva técnica con la que se obtienen productos alimenticios fritos en poco tiempo, gracias al contacto directo entre una emulsión de gotas de aceite en aire caliente y el producto, dentro de una cámara de fritura. El producto debe estar en continuo movimiento para lograr el contacto entre ambas fases. Al final del proceso, el producto queda deshidratado y con textura crujiente. A pesar de que no se encuentran muchas investigaciones sobre la transferencia de masa y el cambio de volumen que sufre el alimento con este proceso de freído, es una técnica que vale la pena evaluar (Shaker, 2015). Esta tecnología surge como alternativa a la fritura convencional con inmersión en aceite, en la cual los alimentos absorben mayor cantidad de aceite y las características organolépticas del producto cambian de forma más drástica.

La deshidratación por ventana de refractancia se combina con métodos de fritura como la fritura con aire caliente (*Air-frying*) porque confiere al producto final mejores propiedades sensoriales (Cazar Albuja, 2015).

De acuerdo con las tendencias de consumo a nivel mundial y nacional en *snacks*, los consumidores se inclinan por productos más saludables y nutritivos, que brinden nuevas experiencias en sabor y textura. La combinación de estos procesos permite la obtención de *snacks* que cumplen con los requerimientos del mercado y que pueden ser aceptados por este.

En general, el proceso combinado de secado por ventana de refractancia y fritura con aire caliente se realiza así:

- Preparación materia prima (lavado, pelado, descorazonado, tajeado, troceado).
- Acondicionamiento del equipo (llenado de agua, temperatura deseada, resistencias).
- Los trozos se colocan sobre una superficie (película de poliuretano) para iniciar la deshidratación hasta finalizar el tiempo requerido.
- Se procede con la fritura con aire caliente, el equipo se condiciona (temperatura y tiempo).

– Se depositan en el equipo los trozos deshidratados hasta completar el tiempo deseado.

Las 3 alternativas tienen procesos en común como la selección, el lavado, el desinfectado, el pelado, el tajeado, el descorazonado y el troceado. Estos están relacionados directamente con la aplicación de las diferentes tecnologías; por lo tanto, los costos de los equipos que comprenden esos procesos se tuvieron en cuenta para el análisis de costo de operaciones.

En la figura 21, se presenta un diagrama para visualizar las 3 alternativas de procesamiento de los *snacks* de piña.

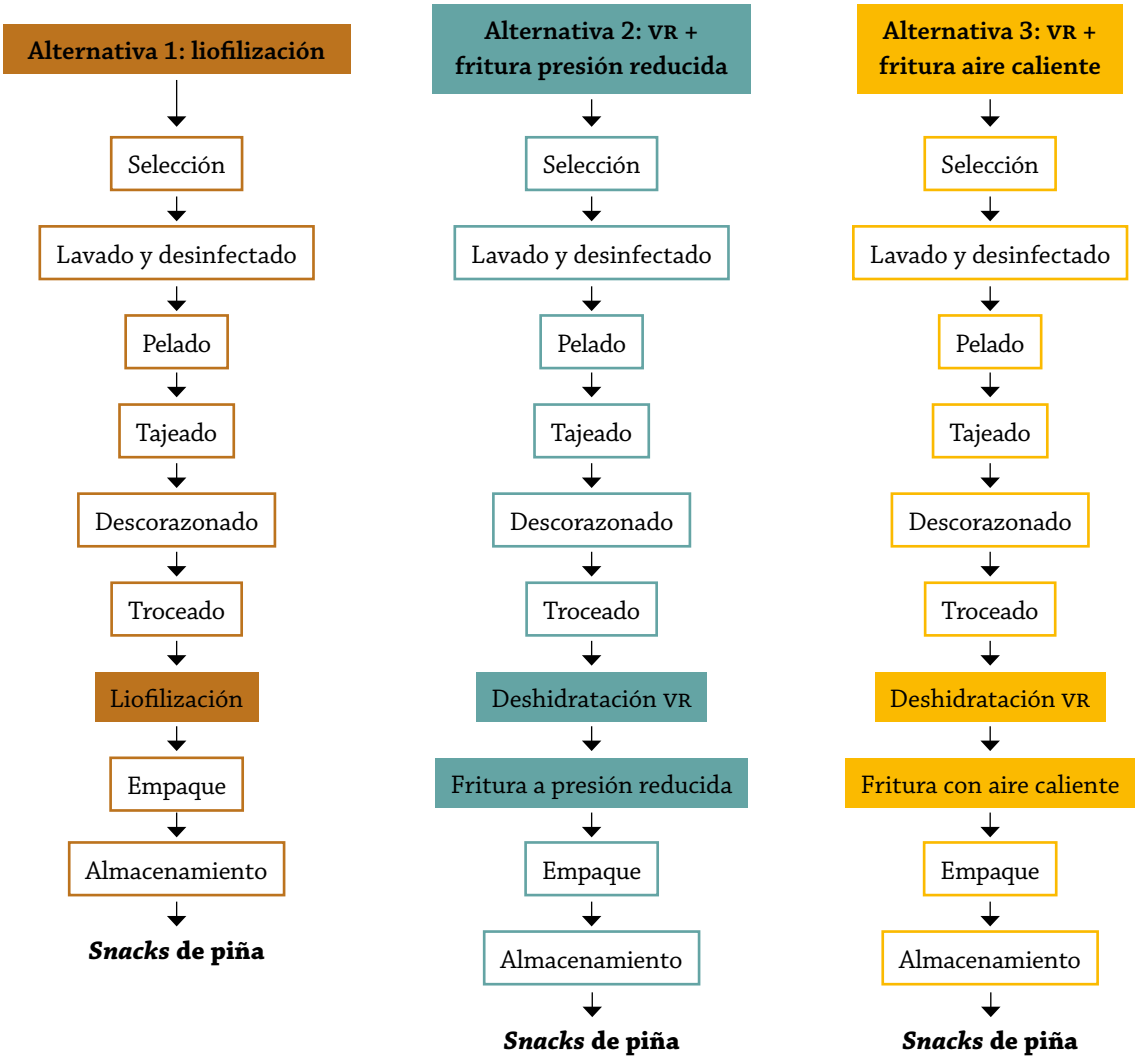


Figura 21. Diagramas de flujos de los procesos revisados para snacks de piña, variedad MD2

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 12 se encuentra consolidada la información explicada con anterioridad a modo de comparación entre las alternativas para procesar *snacks* de piña.

Tabla 12. Cuadro comparativo con las alternativas para seleccionar el proceso para producir *snacks* de piña, variedad MD2

Criterios	Alternativa 1 Liofilización	Alternativa 2 Ventana de refractancia + fritura a presión reducida (al vacío)	Alternativa 3 Ventana de refractancia + fritura con aire caliente (air frying)
Procesos en común	Las piñas se lavan, se pelan con un cuchillo dejando el moño y, luego, se procede a utilizar una mandolina para obtener tajadas de la fruta. Por último, se trocean en 8 partes, en forma triangular. Costo del cuchillo + mandolina = 39.900 COP + 220.900 COP = 260.800 COP		
Equipos	Se cuenta con disponibilidad de equipo en el Valle del Cauca, este equipo también se puede importar de la empresa Kemolo, ubicada en China. Podría ser un equipo con capacidad de 300 kg y una potencia de 50 kW. El equipo propuesto incluye la unidad de congelación. El equipo procesa en un tiempo estimado de 12 a 24 horas.	En Colombia, la ventana de refractancia la puede proveer la empresa CEI Robots. El equipo tendría una potencia de 50 kW. Por otra parte, el equipo para la fritura a presión reducida ("al vacío") no se encuentra disponible a escala industrial en Colombia, por lo que se podría obtener de Zhucheng Lijie Food Machinery Co., Ltd., ubicada en China. El equipo incluye una caldera, una torre de refrigeración, una bomba de agua y un tanque de agua de refrigeración. Además, cuenta con una potencia de 30 kW, capacidad de 170 a 200 kg.	El equipo de ventana de refractancia se encuentra disponible, el equipo para fritura no porque es una nueva tecnología. Este debe traerse del exterior o desarrollarlo en Colombia. En Colombia, la ventana de refractancia la puede proveer la empresa CEI Robots, el equipo tendría una potencia de 50 kW. Por otra parte, el equipo para fritura con aire caliente no se encuentra disponible a escala industrial en Colombia, por lo que se podría obtener de la empresa Mabenk Trading Co., ubicada en China. Este tendría una potencia de 30 kW, y una capacidad de 260 kg.
Costos de equipo	Liofilizador: aprox. 130.829 USD (510.117.300 COP)	Ventana de refractancia: aprox. 95.679 USD (373.065.000 COP) Freidor a presión reducida ("al vacío"): aprox. 54.000 USD (210.479.040 COP)	Ventana de refractancia: Aprox. 95.679 USD (373.065.000 COP). Freidor de aire caliente: aprox. 3767 USD (14.689.500 COP)
Fuente de energía	50 kW	50 kW / 30 kW	50 kW / 30 kW
Capacidad	300 kg	300 kg / 170-200 kg	300 kg / 260 kg

Criterios		Alternativa 1 Liofilización	Alternativa 2 Ventana de refractancia + fritura a presión reducida (al vacío)	Alternativa 3 Ventana de refractancia + fritura con aire caliente (air frying)
Costo de operaciones		El costo de funcionamiento del equipo sería de 53,18 USD (209.640 COP) a razón de la energía que necesita (50 kW), el valor unitario del consumo energético (349,4 COP/kW) y el tiempo que el equipo emplea para realizar el proceso (12 horas). El costo de operación se obtuvo a partir de la sumatoria de los precios de los equipos, su costo de funcionamiento energético y el salario aproximado de los trabajadores SMLV + auxilio de transporte (980.657 COP). 131.202 usd (511.512.888 cop)	El costo de funcionamiento de los equipos sería de 28,36 USD (111.808 COP) a razón de la energía que necesita cada uno, (50 kW y 30 kW respectivamente), el valor unitario del consumo energético (349,4 COP/kW) y el tiempo que los equipos emplean para realizar el proceso (4 horas cada uno). El costo de operación aproximado basado en los costos de los equipos, su costo de funcionamiento y el SMLV + auxilio de transporte (980.657 COP) es de: 150.008 USD (584.897.305 COP)	El costo de funcionamiento de los equipos sería de 28,36 USD (111.808 COP) a razón de la energía que necesita cada uno (50 kW y 30 kW respectivamente), el valor unitario del consumo energético (349,4 COP/kW) y el tiempo que los equipos emplean para realizar el proceso (4 horas cada uno). El costo de operación aproximado basado en los costos de los equipos, su costo de funcionamiento y el SMLV + auxilio de transporte (980.657 COP) es de: 99.794 USD (389.107.765 COP)
Impacto al medioambiente				
Atmosférica (Decreto 627 de 2006 y Resolución 2254 de 2017)	**Material particulado**	El equipo no emite material particulado a la atmosfera.	El equipo de ventana de refractancia emite gases, al igual que el equipo de fritura a presión reducida (no invernaderos).	No afecta significativamente. El equipo de ventana de Refractancia emite gases no invernaderos, el equipo de Fritura no emite gases.
	Ruido	Durante su funcionamiento, el liofilizador emite ruido que se considera contaminación auditiva.	Los equipos de ventana de refractancia y de fritura a presión reducida (“al vacío”) no emiten ruidos que sean contaminantes.	Los equipos de ventana de refractancia y de fritura por aire caliente no emiten ruidos que sean contaminantes.
Suelos (Decreto 1974 de 1989 y Decreto 605 de 1996)	**Residuos sólidos**	De este proceso se derivan residuos sólidos orgánicos como las cáscaras, la corona y trozos procesados de piña que no clasifiquen por sus características.	De este proceso se derivan residuos sólidos orgánicos como las cáscaras, la corona y trozos procesados de piña que no clasifiquen por sus características. Además, residuos de aceite.	De este proceso se derivan residuos sólidos orgánicos como las cáscaras, la corona y trozos procesados de piña que no clasifiquen por sus características. Además, residuos de aceite (mínima cantidad).

Criterios		Alternativa 1 Liofilización	Alternativa 2 Ventana de refractancia + fritura a presión reducida (al vacío)	Alternativa 3 Ventana de refractancia + fritura con aire caliente (air frying)
Recursos hídricos (Decreto 3930 de 2010 y Resolución 883 de 2018)	**Consumo**	En relación con las fuentes hídricas, hay bajo consumo en el lavado de las bandejas.	El equipo de ventana de refractancia emplea agua para su funcionamiento. Hay consumo en el lavado de la freidora.	El equipo de ventana de refractancia emplea agua para su funcionamiento. Hay consumo en el lavado de la freidora.
	Vertimiento de líquidos	Los residuos del proceso pueden alterar la composición del agua.	Los residuos pueden alterar la composición del agua.	Los residuos pueden alterar la composición del agua.
Energético (Ley 697 de 2001 y Decreto 3450. de 2008	**Consumo**	Como fuente de energía no se emplea gas natural. Alto consumo de energía por las horas de funcionamiento del equipo (12 horas) y por la potencia que necesita (50 kW).	Consumo de energía moderado, debido a que ambos procesos se harían en poco tiempo. La potencia de la ventana de refractancia es de 50 kW, pero su tiempo de uso sería de 4 horas. El equipo de fritura a presión reducida tiene una potencia baja de 30 kW y el mismo tiempo de uso.	Consumo de energía moderado, debido a que ambos procesos se harían en poco tiempo. La potencia de la ventana de refractancia es de 50 kW, pero su tiempo de uso sería de 4 horas y el equipo de fritura a presión reducida tiene una potencia baja de 30 kW y el mismo tiempo de uso.
Facilidad de transferencia tecnológica		La liofilización es una tecnología que se aplica para la deshidratación de alimentos como el café, las frutas y las verduras. Algunas industrias la han implementado en Colombia, pero es una tecnología muy costosa por los equipos. Para su implementación se necesita personal capacitado con relación al funcionamiento de los equipos.	No hay evidencia de la implementación de estas tecnologías combinadas en Colombia, se encuentran por separado y la tecnología de fritura a presión reducida a escala de laboratorio. Para su implementación se necesita personal capacitado con relación al funcionamiento de los equipos.	No hay evidencia de la implementación de estas tecnologías combinadas en Colombia, se encuentran por separado y la tecnología de fritura con aire caliente a escala de laboratorio. Para su implementación se necesita personal capacitado con relación al funcionamiento de los equipos. El manejo del equipo de fritura con aire caliente es simple y accesible.
Oportunidad de mercado y posibilidad de comercialización		La liofilización es una tecnología que se ha implementado desde hace algunos años a nivel mundial para la producción de *snacks* de frutas, por este motivo ya es una tecnología tan innovadora. El producto tendría gran competencia en el mercado y ningún factor sorpresa.	De acuerdo con las tendencias del mercado internacional, en las que se registra que los consumidores optan por alimentos saludables y nutritivos, esta tecnología cumpliría en gran medida esas demandas, al ser una alternativa que usa menor cantidad de aceite frente a la fritura convencional; sin embargo, la entrada del producto al mercado representaría un reto porque este prefiere alimentos sin grasas o con un contenido muy bajo.	Esta tecnología permite la producción de *snacks* de piña, saludables y nutritivos, con un contenido insignificante de aceite que otorga una textura crujiente. La combinación de las 2 tecnologías ofrece un producto innovador y diferenciado. Además, en comparación con las otras alternativas, el producto tendría textura crujiente tipo *snack* frito sin dejar de ser saludable.

Fuente: elaboración propia.

1.2.1.4 Vigilancia competitiva

Esta vigilancia se desarrolló de acuerdo con las fases descritas en la sección de la metodología, es decir, identificando, plasmando y analizando información recopilada en diferentes fuentes y relacionada con algunos países y productos que serían posible competencia a nivel internacional y nacional, para los productos derivados de la piña fresca, variedad MD2. Se trabajó para que los resultados fueran útiles a fin de mejorar la competitividad y facilitar la sensibilización de los empresarios, logrando que se produzca un aumento en la demanda de un producto a base de piña, variedad MD2.

Piña fresca

Las oportunidades de mercado de un producto de piña mínimamente procesado respecto a los principales países importadores de piña arrojados por la vigilancia comercial se muestran en la figura 22.

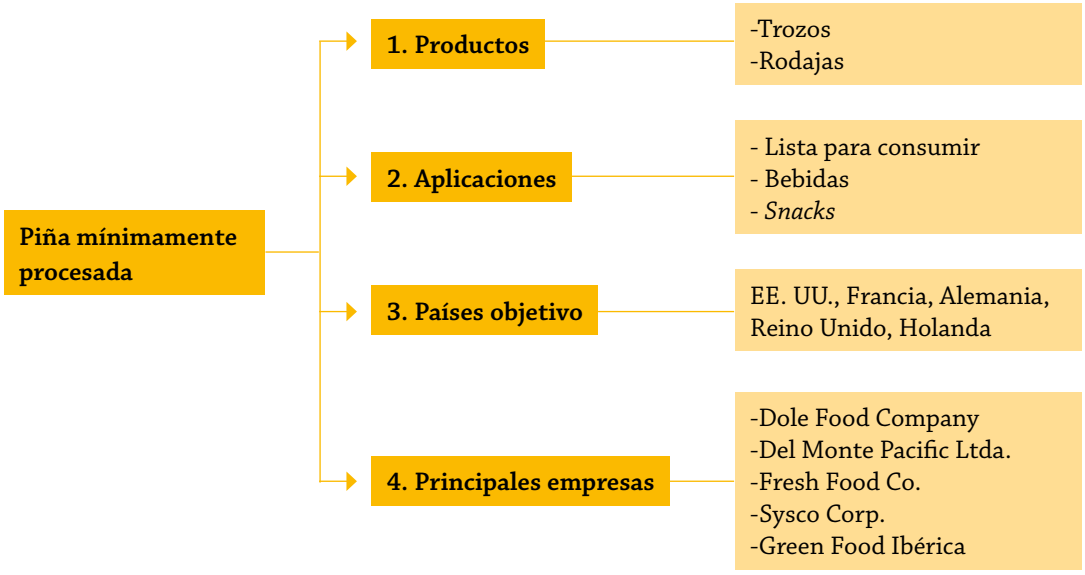


Figura 22. Oportunidades de mercado para un producto fresco de piña mínimamente procesado

Fuente: elaboración propia con base en Market Research Intellect (2018).

Con la presencia de varios actores, el mercado global de frutas está fragmentado por la demanda de frutas procesadas, la red sólida de distribución, la presencia omnicanal de los vendedores de frutas y los beneficios para la salud asociados con el consumo de frutas mínimamente procesadas, este último está siendo altamente competitivo, transformando la industria de frutas procesadas (Singh, 2017).

Oportunidad de mercado de la piña fresca a nivel nacional

La principal oportunidad que ocurre con el mercado de los frutos mínimamente procesados (cortados, envasados y refrigerados) en Colombia es a través de los supermercados

de cadena y las empresas "fruver", quienes compran la piña, la procesan y venden los productos en las instalaciones y puntos de venta propios (Jaller, 2017).

Se identificaron las siguientes oportunidades a nivel nacional:

- Buena presentación de las frutas y verduras.
- Precios competitivos entre los productos.
- Cadenas de fruver.
- Supermercados de cadena.

Los supermercados de cadena más destacados que tienen a la venta productos piña cortada, envasada y refrigerada son Grupo Éxito, Carulla, Jumbo Cencosud y La 14.

Oportunidad de mercado de la piña fresca a nivel internacional
De acuerdo con las oportunidades de mercado en los Estados Unidos en el sector de frutas y verduras frescas, según Grand View Research (2018), las oportunidades estarían dadas por lo siguiente:

1. **Los importadores:** son la clave de los mercados estadounidenses, suministran a grandes empresas minoristas y juegan un papel de intermediarios entre minoristas y productores.
2. **Los supermercados:** organizan la oferta integrada; es decir, el proceso de importación mejora la calidad del producto y garantiza la planificación del mercado.
3. **Las empresas:** los mayoristas actúan como proveedores de los supermercados, capitalizando los servicios y adicionando valor agregado en las frutas, como el procesamiento mínimo (corte, mezcla y envasado).
4. **Logística:** la buena logística y el tratamiento poscosecha que se tiene son cruciales en el canal comercial en EE. UU. Los empacadores controlar varias etapas de la cadena de suministro.

Según la fuente de información en frutas y verduras Produce Market Guide, las estrategias de venta para un producto de piña en EE. UU. están dadas por:

- Comercialización cruzada, es decir, en ensaladas en bolsas, productos con jamón y en verduras salteadas.
- La piña que se promociona durante todo el año, ya que es un fruto tropical que siempre está disponible.
- Durante el otoño, se promueve su consumo como piña fresca cortada y envasada, una gran adición en las loncheras escolares.
- Durante el invierno, la piña se adiciona como trozos de fruta en las bandejas preparadas para la temporada navideña. Se promociona también como complemento natural para el jamón en la celebración de los días festivo.

- Durante la primavera, se promueve la piña en trozos para adicionar en las ensaladas de primavera. Se incluye también en los platos de preparación en los días de Pascua y el Día de la Madre.
- Durante el verano, se promueve la piña como un *snack* (rápido y fácil de consumir). Se incluye en los asados de verano como adición de frutas en la parrilla.

En los Estados Unidos el mercado se centra en la organización empresarial, realizando fusiones y adquisiciones como alianzas estratégicas para aumentar el volumen de producción en diversas industrias. Empresas como Dole Food Company, Chiquita Brands International, C. H. Robinson Worldwide, Sunkits Growers, Fresh del Monte Produce son los principales actores en el mercado de las frutas de la última década (Grand View Research, 2018).

La estrategia competitiva de las empresas mencionadas anteriormente es la expansión de las instalaciones de producción y mejora de la calidad del producto. El canal de distribución está dado por los supermercados, hipermercados, tiendas de especialidad y supermercados online (Grand View Research, 2018).

Las oportunidades de mercado y estrategias de venta en Europa para las frutas y verduras frescas están listadas en la figura 23.

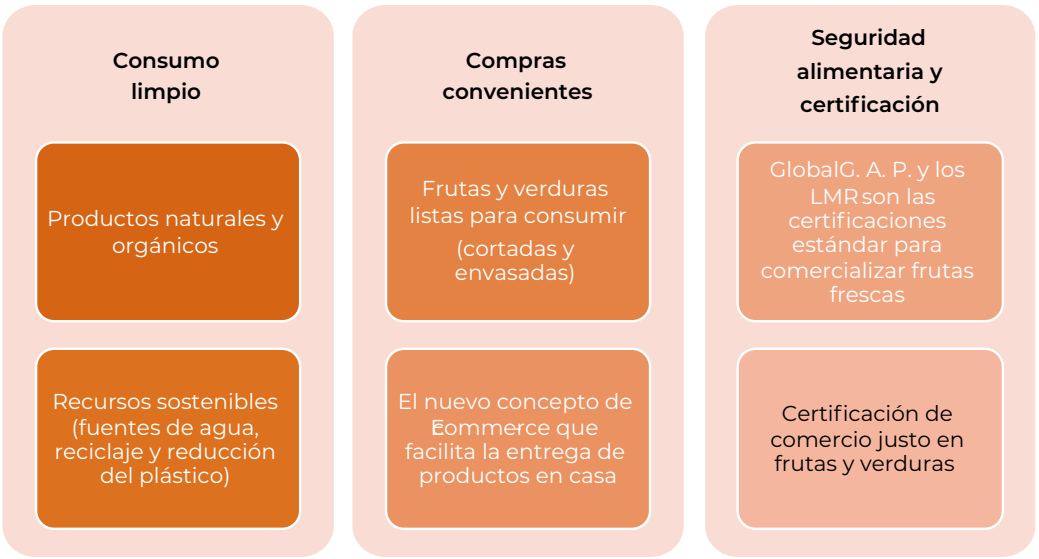


Figura 23. Oportunidades para el mercado europeo en frutas y verduras frescas

Fuente: elaboración propia con base en CBI (2019).

De acuerdo con la figura 23, la creciente popularidad de los productos saludables, naturales y orgánicos es una tendencia que ofrece oportunidades para las frutas y verduras frescas en Europa. Los consumidores buscan buenos productos y compras convenientes, lo que

resulta ser un potencial para la fruta cortada, envasada y lista para *comer*, que no solo ahorra tiempo para el consumidor, sino que también se ofrece como un *snack* saludable. De igual manera, estos se han vuelto más conscientes de los problemas sociales y ambientales exigiendo políticas de compra ética a los grupos de distribución y supermercados, los consumidores no quieren respaldar un comercio injusto (CBI, 2019).

La seguridad alimentaria y las certificaciones se han convertido en líderes respecto al comercio de productos frescos, GlobalG. A. P. se ha convertido en el estándar de certificación, también los niveles máximos de residuos requeridos (LMR) son a menudo más estrictos que los límites legales. Los compradores hoy en día se preocupan más por los trámites de certificación que por el conocimiento real del producto (CBI, 2019).

Los principales proveedores de frutas y verduras frescas en Europa son las cadenas de supermercados Tesco, Metro, Carrefour, Ahold, el grupo Rewe, Albert Heijn (Países Bajos), WM Morrinson Supermarkets (Reino Unido), Monoprix (Francia). Supermercados completamente *online* como Picnic, Crisp (holandés), Ocado (británico) y Rohlik (checo). Otros mercados, por ejemplo, estaciones de servicio y tiendas de conveniencia venden principalmente piñas cortadas y envasadas (CBI, 2019). Y también se encuentran entre otros canales de distribución los de recetas y comidas preparadas saludables como Beneo y Hello Fresh.

La tabla 13 muestra las principales empresas ubicadas en los países de Europa y en los Estados Unidos que comercializan piñas mínimamente procesadas, como cortadas y envasadas.

Tabla 13. Productos de fruta mínimamente procesada comercializados en el exterior

Empresa	País	Principales productos	Tipo de empaques	Presentación (g)	Precio (US/EU)
frufies SANO, RICO, FÁCIL Frufies 2010, SL Fuente: joséluisdiseño (2008).	España	Frutas y vegetales IV gama	 **Fuente:** joseluisdiseño (2008).	-	-
CRAZY FRESH Crazy Fresh Fuente: Crazy Fresh (2020).	Estados Unidos	Frutas y vegetales IV gama	 **Fuente:** Crazy Fresh (2020).	900	10,99

Empresa	País	Principales productos	Tipo de empaques	Presentación (g)	Precio (US/EU)
Frujuca Fuente: Frujuca (2018).	España	Frutas y vegetales IV gama	 **Fuente:** Frujuca (2018).	150	1,69
Del Monte Foods Fuente: Del Monte (2020).	Reino Unido	Frutas y vegetales IV gama, conservas, *snacks*, congelados, jugos y bebidas	 **Fuente**: Del Monte (2020).	125-1500	
Dole Fuente: Dole (2020).	Estados Unidos	Frutas y vegetales enteras y en IV gama	 **Fuente:** Open Food Facts (2021).	113	1,5
Rockland Kosher Supermaket Fuente: Rockland Kosher (2020).	Estados Unidos	Piña cortada y envasada	 **Fuente**: Rockland Kosher (2020).	450	3,49
Tesco Fuente: Tesco (2020).	Reino Unido	Piña cortada y envasada	 **Fuente:** Tesco (2020).	145	1,0
Blue Skies Fuente: Blue Skies (2020).	Reino Unido	Frutas en IV gama	 **Fuente:** Blue Skies (2020).	200	-

Fuente: elaboración propia.

Piña procesada

Las oportunidades de mercado identificadas para los productos derivados de piña a nivel nacional e internacional son las siguientes:

Oportunidades de mercado a nivel nacional

- Supermercados de cadena
- Tiendas de productos saludables
- Precios competitivos entre los productos

La principal oportunidad que tienen los *snacks* fritos de piña en Colombia es a través de los supermercados de cadena como Jumbo Cencosud, Carulla, Grupo Éxito y Almacenes La 14, y de tiendas especializadas que ofrezcan productos saludables.

Oportunidades de mercado a nivel internacional

Los *snacks* son apetecidos cada vez más por los consumidores, pues quieren reemplazar sus comidas o complementarlas con una opción saludable, esto a razón de ingredientes que proporcionan proteínas, edulcorantes naturales, vitaminas, fibra y grasas saludables. Además, los *snacks* fritos de piña son una excelente opción para comer solos o con alimentos como nueces, cereales o mantequilla de maní, y así obtener energía para realizar ejercicio o tener largas jornadas laborales, gracias a que, al ser fritos y de fruta, son fuente de grasas saludables y fibra (Micco, 2018).

Figura 24. Desayunos saludables con *snacks* de frutas

Fuente: depositphotos (2022), mercadolibre (2022), Fruut, 2020), La Positiva Seguros (2018).

También los *snacks* fritos de piña pueden tener oportunidad de mercado entre los consumidores que disfrutan de productos indulgentes y golosinas, quienes creen que es aceptable disfrutar de este tipo de productos para tener una dieta equilibrada. Este producto es indulgente porque es una fruta deshidratada y frita —lo que aporta una nueva textura, además de aceites que le otorgan un sabor diferente—, y un *snack* saludable, por los nutrientes que aportan la piña y el aceite (Cowling, 2020).

Este tipo de productos representa una alternativa de consumo saludable, nutritivo, práctico y puede conservar su vida útil durante mucho más tiempo, manteniendo en gran medida sus nutrientes. Los *snacks* son de menor tamaño y son fáciles de cargar gracias a su bajo peso, lo que los convierte en un alimento de rápido y práctico consumo; además, son los ideales

para los consumidores que mantienen todo el día ocupados y no tienen tiempo para comer sus comidas principales o para los que quieren tener una dieta saludable y cuidar de su peso.

Para que estos productos tengan mayor oportunidad de mercado a nivel internacional y se vuelvan más competentes es necesario que cuenten con estándares de calidad y certificaciones que los demuestren. Actualmente, los consumidores se están preocupando más por si el producto cuenta con certificaciones que aseguren su calidad y una producción sostenible y responsable (CBI, 2019).

A nivel mundial, el consumo de alimentos saludables se encuentra en tendencia, desde hace algunos años. Según Procolombia en el año 2017, en el top 10 de países a los que Colombia exporta sus frutas y hortalizas procesadas, se destacan Estados Unidos con 31.400.000 USD (51,2 % de participación); Reino Unido con 4.500.000 USD (7,4 %); Alemania con 3.100.000 USD (5,1 %); Países Bajos con 3.000.000 USD (4,9 %); y Francia con 2.600.000 USD (4,2 %) (Ríos, 2018).

Figura 25. *Snacks* de fruta deshidratada

Fuente: Maberesa (2017).

Los mercados de Estados Unidos y Europa son los principales importadores de las frutas procesadas dentro de las que se encuentran los *snacks* de piña, esto podría representar una buena oportunidad de comercialización. Por tal motivo, en la tabla 14, se encuentran algunas empresas de estas regiones y también nacionales que comercializan este tipo de productos.

En Estados Unidos, algunos de los supermercados más reconocidos y en los que se podrían comercializar este tipo de productos son Walmart, SuperTarget, el grupo de Ahold Delhaize y Albertsons LLC. Los principales proveedores en Europa de productos como los *snacks* de piña son las cadenas de supermercados Tesco, Sainsbury's, Waitrose, Carrefour, Lidl (Reino Unido), Aldi (Reino Unido), Albert Heijn (Países Bajos), WM Morrinson Supermarkets (Reino Unido), Monoprix (Francia) (CBI, 2018).

Figura 26. Supermercado Walmart

Fuente: Expansion (2021).

Tabla 14. Productos de *snacks* de piña comercializados a nivel nacional e internacional

Empresa	País	Principales productos	Tipo de empaques	Presentación (g)	Precio (USD/EUR/COP)
Fuente: Mavuno Harvest (2021). Mavuno Harvest https://www.mavunoharvest.com/collections/all	Estados Unidos	*Snacks* fruta deshidratada	 Fuente: Mavuno Harvest (2021).	56 g	3,99 USD
Larissa veronica Products	Estados Unidos	*Snacks* de fruta deshidratada, leche en polvo, gluten de trigo, almidón de maíz, harinas, etc.	 Fuente: Walmart (2020).	114 g	7,20 USD
Fuente: Nutstop (2021). Nutstop https://www.nutstop.com/	Estados Unidos	Semillas de nueces, *snacks* frutas, dulces y chocolates	 Fuente: Nutstop (2021).	340 g	9,99 USD
Fuente: Urban Fruit (2020). Urban Fruit https://www.urbanfruit.co.uk/	Reino Unido	*Snacks* de frutas: mango, manzana, fresa, coco y piña	 Fuente: Urban Fruit (2020).	100 g	1,68 GBP
Fuente: Forest Feast (2020). Forest Feast https://forestfeast.com/	Irlanda	*Snacks* deshidratados de frutas premium, piña	 Fuente: Forest Feast (2020).	120 g	3,70 GBP

Empresa	País	Principales productos	Tipo de empaques	Presentación (g)	Precio (USD/EUR/COP)
Fuente: Gloriously Grown (2020). Gloriously Grown https://gloriouslygrown.co.uk/	Origen: Filipinas Empacado: Reino Unido	Mix de *snacks* deshidratados de fruta: mango, piña y papaya	 Fuente: Gloriously Grown (2020).	85 g	2,50 GBP
Fuente: Frutlí (2020). Drycol SAS. Frutlí es su marca registrada http://frutli.co/	Colombia	*Snacks* de frutas liofilizadas piña	 Fuente: Tiendas Metro (2020).	80 g	15.470 COP
Fuente: Jumbo (2020). Supermercados Jumbo Cencosud https://www.tiendasjumbo.co/	Colombia	Mezcla JBO de maní, pasas arándanos, maíz y piña	 Fuente: Jumbo (2020).	800 g	25.990 COP
Fuente: La despensa (2021). La Despensa https://www.ladespensa.com.co/comprar/*snacks*/	Colombia	Fruta deshidratada, *snack* de piña	 Fuente: La despensa (2021).	450 g	52.800 COP

Fuente: elaboración propia.

1.2.2 Análisis comparativo y recomendaciones para minimizar las brechas

La acción de diversificar el mercado de la piña mediante el desarrollo de productos mínimamente procesados en fresco y procesados como los *snacks* fritos de piña es una estrategia para aumentar el consumo y, a su vez, la producción y comercialización del producto. También es un intento por disminuir las pérdidas en las cosechas de piña, variedad MD2.

Una solución para minimizar la brecha comercial es poder conseguir contratos con las grandes empresas productoras comercializadoras para garantizar una demanda a nivel internacional que sea una oportunidad para los agricultores de pequeña escala, es necesario que los pequeños productores de piña aprovechen la demanda actual de los mercados internacionales. Por lo tanto, vender como asociación es una alternativa que se puede evaluar positivamente dentro de la región.

Unos de los principales retos a los que se enfrenta la comercialización de productos procesados a partir de la piña a nivel internacional es obtener las certificaciones de calidad (GlobalG. A. P, sistemas BRC, IFS, Grassp, certificación QS, Tesco Nurture, Halal, Kosher), ya que implican gastos muy altos y además la posible necesidad de contratar a una persona especializada. Una posible solución es potenciar la comercialización de los productos a nivel nacional, para luego pedir ayuda económica de organizaciones como la Cámara de Comercio de Cali.

De acuerdo con las visitas realizadas a algunos productores de piña de la región se identificó una brecha competitiva relevante, como es el difícil acceso a los cultivos debido al mal estado de las vías. Según los resultados de la vigilancia competitiva, la logística es esencial en todo el canal comercial, los distribuidores deben garantizar la cadena productos. En Colombia, se debe incorporar un gremio nacional que únicamente represente los intereses y asegure la competitividad de todas las frutas y sus productos derivados.

Otras brechas identificadas durante las visitas al sector productivo de piña en la región fueron que el mercado nacional no ha otorgado precios justos que logren cubrir el total de los costos del cultivo, y que los costos logísticos relacionados con los fletes internos y costos portuarios son muy elevados y afectan la competitividad. A nivel nacional, se debe incorporar un gremio que únicamente represente los intereses y asegure la competitividad de todas las frutas y sus productos derivados.

En la implementación de las tecnologías para producir *snacks* fritos de piña es necesaria una previa inducción sobre el funcionamiento de los equipos y sobre información básica relacionada con fenómenos de transferencia de calor y apariencia final del producto. Se recomienda el acompañamiento inicial de una persona especializada en el tema.

Se encontró que para la producción de *snacks* fritos de piña tienen mayor potencial las tecnologías de secado por ventana de refractancia y de fritura con aire caliente, ya que la primera conserva significativamente los nutrientes de la piña, es de fácil manejo y emplea tiempos reducidos, y, por otra parte, el proceso de fritura es novedoso, de bajo costo y permite obtener un producto con textura crujiente y seca.

Se deben realizar convenios con las asociaciones de productores de piña en el Valle del Cauca, de esta manera se podrán disminuir los procesos intermediarios durante la distribución de piña fresca, para con ello poder ofrecer un precio más cómodo al consumidor.

Para disminuir las brechas tecnológicas encontradas en las empresas procesadoras de piña de la región, específicamente las pérdidas de producto fresco debido a la poca capacidad de los cuartos fríos, una solución fundamental es asegurar el sostenimiento de la cadena de frío. De acuerdo con los resultados arrojados por la vigilancia tecnológica, se pudo determinar la cantidad de calor que se necesita remover para enfriar un producto fresco de piña. Este procedimiento es completamente escalable a las grandes cantidades de producción.

De igual manera, se deben incluir técnicas que generen una oportunidad de mercado para aquellas frutas que presentan traslucidez, un factor que fue identificado como una brecha tecnológica durante la poscosecha, ya que influye en la apariencia interna de la fruta en términos de coloración y contenido de humedad y en el proceso de selección de la fruta para exportación. Es probable que se descarten algunas unidades debido a este criterio. Una alternativa para darle solución es incorporar productos de mayor transformación como la producción de *snacks* fritos. Así se reducirían las pérdidas y se incrementaría la comercialización y las ganancias a partir de la piña.

Conforme a las reuniones realizadas con el sector productivo de piña MD2 del Valle de Cauca y centros de investigación como el Ciat, se pudo identificar que en promedio el consumo de piña por persona en Estados Unidos (principal importador) es de 6 GBP al año, mientras que en Colombia este consumo por persona está alrededor de 25,6 GBP, 4 veces mayor. Por lo tanto, las estrategias requeridas para aumentar el consumo de piña como producto fresco en los Estados Unidos (un fruto que se consume por poblaciones étnicas específicas) debe ser por medio de campañas educativas hacia toda la población americana, a través del Gobierno, en las que se promuevan dietas ricas en frutas y vegetales que estimulan el control del peso y la presión sanguínea.

Se visualiza que con la implementación del proyecto se generen mayores empleos y se mejore la calidad de vida de familias campesinas que cultivan la fruta y de las personas que participan en su procesamiento.

1.3 Conclusiones

- El consumo de alimentos está direccionado hacia productos saludables con alto valor nutritivo. Esto ha aumentado la demanda de piña fresca o mínimamente procesada en los últimos años. Los mercados globales están interesados en la comercialización de piña fresca con altos estándares de calidad.
- Existe un aumento en la demanda de productos de piña con valor agregado como frutas troceadas y envasadas, jugos y deshidratados como *snacks*.
- Un producto de piña fresca mínimamente procesado permite obtener alimentos listos para comer (*ready to eat*) y de fácil consumo (*ready to use*) con beneficios para la salud.
- El departamento del Valle del Cauca es líder en producción y exportación de piña MD2. Además del consumo interno, los excedentes pueden emplearse para elaborar productos novedosos como *snacks*, dándoles así valor agregado.
- La piña es un alimento altamente perecedero. Con el fin de reducir las pérdidas se han utilizado distintas tecnologías para su conservación, entre las cuales se encuentran refrigeración, uso de recubrimientos, empaques con atmósferas modificadas, pretratamientos con calor, pretratamientos con aceites esenciales, uso de agentes inhibidores de etileno, etc. Las tecnologías de recubrimientos e irradiación presentan mayores costos de inversión en equipos y mayor dificultad en la transferencia tecnológica a los productores. El empaque y la refrigeración son opciones viables en cuanto a disponibilidad y costos de los equipos.
- Las tendencias de consumo en Europa y Estados Unidos se enfocan en los alimentos mínimamente procesados, naturales, nutritivos, que sean prácticos y de fácil consumo, que aporten nuevas experiencias, que sean llamativos y que sean beneficiosos para su salud.
- En la comercialización nacional e internacional de piña y en las tendencias de consumo, la piña en trozos (mínimamente procesada) y los *snacks* de fruta presentan alta demanda.
- Con relación a los materiales de empaque, se deben presentar alternativas ambientalmente sostenibles. Se deben ajustar a la reglamentación de residuos y empaques sobre el uso posconsumo en Colombia (Resolución 1407 del 2018).
- Teniendo en cuenta los costos de operación, el impacto ambiental, la facilidad de transferencia tecnológica, la oportunidad de mercado y la posibilidad de comercialización, el proceso combinado de ventana de refractancia y fritura con aire caliente (*air-frying*) resulta ser novedoso y técnica y económicamente factible para para producir *snacks* de piña. Estos productos tienen oportunidad de mercado a nivel nacional e internacional. Además, sus posibilidades de participación se podrían incrementar si cuentan con certificaciones de calidad.
- Colombia debe incrementar el valor agregado de la piña fresca, mediante la promoción de centros de acopio, el desarrollo productos mínimamente procesados y el mejoramiento de las tecnologías de procesamiento, transformación y conservación.

- De acuerdo con las oportunidades de mercado encontradas en los países de Europa, Colombia debe apuntar al desarrollo de la denominación de origen, incorporar en la industria productos orgánicos, contribuir al comercio justo para conseguir la certificación en los productos de origen e incrementar la responsabilidad social empresarial, con el fin de reducir el riesgo y aumentar la sostenibilidad.
- A nivel global se observa que los principales flujos de distribución de los productos mínimamente procesados están limitados a la venta minorista. Los mercados masivos necesitan ser más eficientes y competitivos en precio para asegurarse de su éxito.

2. PIÑA MD2 MÍNIMAMENTE PROCESADA

2.1 Diseño e implementación de procesos agroindustriales

La piña es una fruta tropical no climatérica que presenta características físicas, organolépticas, nutricionales y terapéuticas que la hacen atractiva para su consumo a nivel nacional e internacional. Sin embargo, al ser altamente perecedera se deben buscar alternativas para su conservación (Damely y Méndez, 2008).

Por otro lado, la tendencia de los consumidores es buscar productos listos y fáciles de preparar, tales como los productos envasados. En respuesta al aumento de demanda de este tipo de alimentos, se han desarrollado técnicas de procesamiento mínimo en frutas frescas que buscan mantener la calidad del producto (Buitrago, 2017; Dussán-Sarria *et al.*, 2014). Para obtener estos productos se sigue un esquema de tratamientos poscosecha que involucra las operaciones de selección, lavado, pelado, corte, envasado y refrigeración del producto durante la distribución y comercialización (Damely y Méndez, 2008).

Los daños mecánicos que ocurren en los tejidos de las frutas debido a las operaciones de pelado y cortado o triturado producen una degradación de la membrana que conduce a una disrupción celular, haciendo que el producto sea más susceptible al ataque de microorganismos. Por lo tanto, la temperatura de almacenamiento y la selección de un empaque adecuado que actúe como barrera protectora para minimizar la pérdida de agua y facilitar el transporte y la manipulación son esenciales para mantener la calidad del alimento (Portela y Cantwell, 2001; Lima *et al.*, 2019).

Según Buitrago Dueñas *et al.* (2018), si se utilizan técnicas combinadas como el tipo de corte y el tipo de empaque, se extiende la vida útil y se reduce el deterioro causado por el crecimiento microbiano y las reacciones bioquímicas. Una alternativa de empaque es el envasado activo, en el cual se incorporan compuestos activos que actúan directamente sobre el producto perecedero y el entorno. Entre ellos están los agentes hidrofílicos en el interior del empaque, que tienen la función de controlar la humedad y absorber el exceso de agua, ya sea en estado líquido o gaseoso (Nayik y Muzaffar, 2014; Wilson, 2017). Comercialmente, algunas empresas han expresado su interés en empacar trozos de fruta fresca con agentes activos como las almohadillas absorbentes para evitar el crecimiento microbiano que se deriva de la lixiviación del jugo depositado en el empaque. Sin embargo, no se han reportado suficientes estudios que evidencien la calidad y vida útil del producto (Wilson, 2017).

Los envases rígidos son esenciales para reducir deshidratación y daño mecánico durante la distribución de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas (González-Aguilar *et al.*, 2004; Dussán-Sarria *et al.*, 2014; Yunga, 2011). La utilización de un envase plástico

reciclable como el tereftalato de polietileno (PET), ajustado a la normatividad vigente sobre el posconsumo de empaques (Resolución 1407 de 2018) (Minambiente, 2018) es una alternativa para conservación de este producto mínimamente procesado.

Los materiales de empaque requieren un valor de permeabilidad óptimo al vapor de agua y al oxígeno para evitar la condensación excesiva y la respiración anaeróbica (Bansal *et al*., 2015). Los envases en material PET presentan buenas propiedades de barrera a la humedad y a los gases, y también alta resistencia química, excepto a los álcalis. La permeabilidad al vapor de agua y al oxígeno están alrededor de 2,14 g m^{-2} d^{-1} y de 3,32 cm^3 m^{-2} d^{-1}, respectivamente, para un espesor aproximado de 565 µm (Satish et al., 2012; Wilson, 2017).

El PET es 100 % reciclable, ya sea como sus elementos originales, como material virgen o como fibras de poliéster (resinas) de amplio uso en la industria textil (Valderrama Ocoró *et al.*, 2018; Satish *et al.*, 2012). La comercialización y venta de PET reciclado, grado alimenticio, será segura e inocua en el futuro y su costo será similar al del material virgen (Forrest, 2016).

El propósito de este trabajo es evaluar el tipo de corte y el tipo de empaque como una alternativa para el manejo y la conservación durante el almacenamiento refrigerado de piña fresca, variedad MD2.

2.1.1 Objetivos

Objetivo general

- Evaluar alternativas de corte y empaque que permitan conservar los atributos fisicoquímicos y microbiológicos de piña (*Ananas comosus* L.), variedad MD2, mínimamente procesada y almacenada en refrigeración.

Objetivos específicos

- Definir el tipo de corte de la piña mínimamente procesada que presente la mayor aceptación y conserve los atributos de calidad fisicoquímicos y microbiológicos.
- Evaluar el efecto del tipo de empaque sobre las características fisicoquímicas de la piña mínimamente procesada.

2.1.2 Materiales y métodos

La figura 27 muestra el diagrama de flujo del proceso de empacado y enfriamiento en piña fresca, variedad MD2.

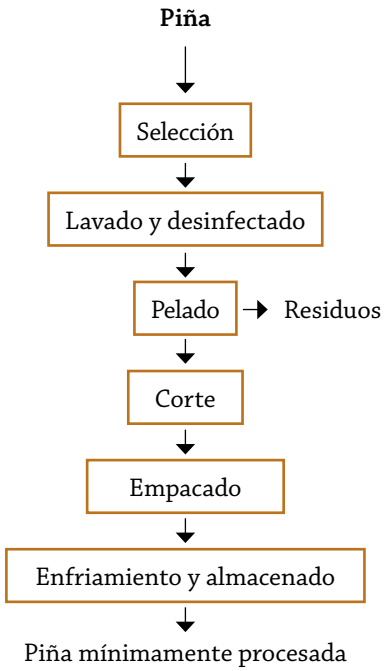


Figura 27. Diagrama de flujo de un proceso de empaque y refrigeración para piña

Fuente: elaboración propia.

2.1.3.1 Selección de la materia prima

Se seleccionaron 60 piñas provenientes de los cultivos CBH (Jamundí, Valle del Cauca), con estado de maduración entre 0 y 1 de acuerdo con la tabla de color propuesta por Franco Castillo (2017) para piña MD2 (ver figura 28). El contenido promedio de sólidos solubles de las muestras varió entre 14 y 15 °Bx.

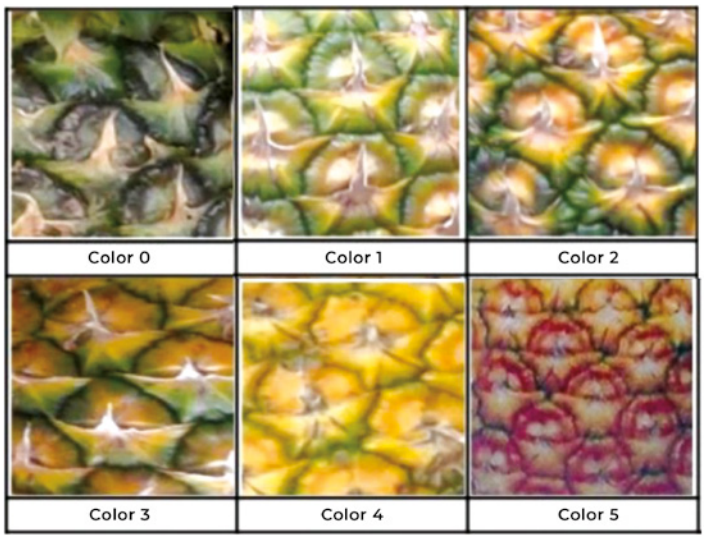


Figura 28. Carta de color de la piña, variedad MD2

Fuente: adaptada de Franco Castillo (2017).

La tabla 15 relaciona el estado de maduración de la piña según el color de la cáscara.

Tabla 15. Estado de madurez de la piña variedad MD2 según el color de la cáscara

Tonalidad de la cáscara	Estado de madurez	Descripción
Color 0	Estado 0	Completamente verde, sin señales amarillas.
Color 1	Estado 1	Más del 75 % de los frutículos tienen áreas amarillas bien definidas en el centro.
Color 2	Estado 2	Más del 75 % de los frutículos presentan el área central amarilla.
Color 3	Estado 3	Más del 75 % de los frutículos son amarillos con el borde verde.
Color 4 y 5	Estado 4	Todos los frutículos son completamente amarillos o con trazas verdes.

Fuente: Franco Castillo (2017).

2.1.3.2 Lavado, desinfección, pelado y corte

Las piñas enteras se lavaron con agua potable y se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (0,01 ml/L de agua) durante 10 min. Posteriormente, se les retiró la corona y se pelaron eliminando completamente la cáscara incluyendo los "ojos" con el fin de minimizar la apariencia tipo escama en los bordes de la fruta. Se retiró el corazón a la piña con un sacabocados y se realizó el corte en cuartos de rodajas de 1,5 cm de espesor o en cubos de 2 cm.

2.1.3.3 Empaque

Las muestras se empacaron en cajas PET (calibre 420 mm) de 11 × 9 × 3 cm, con capacidad para 190 ± 1,41 g de fruta. Adicionalmente, se incorporó una almohadilla absorbente (TAS2) como empaque activo, que consiste en un laminado de 3 capas, la inferior y la superior son láminas perforadas con una mezcla impermeable de polietileno (PE) y la intermedia es una capa de celulosa con SAF (fibra superabsorbente) que tiene una capacidad de absorción máxima de 3300 cm^3/m^2. Se evaluaron empaques PET con almohadilla como empaques activo y sin almohadilla como empaques convencionales (figura 29).

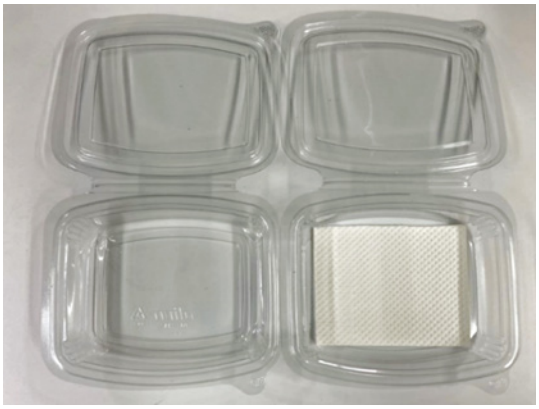


Figura 29. Empaque convencional y empaque activo con almohadilla absorbente

Fuente: elaboración propia.

2.1.3.4 Preenfriamiento y almacenamiento

Las muestras empacadas se almacenaron en refrigeración a 4 °C durante 4 días. Se evaluó adicionalmente el efecto de un preenfriamiento a 4 °C durante 3 h manteniendo los empaques sin cerrar. Posteriormente, se cerraron y se almacenaron 14 días a 4 °C.

2.1.3.5 Diseño experimental

Se realizó un diseño factorial completamente al azar 2^3 correspondiente a 8 tratamientos como se muestra en la tabla 16. Se evaluaron 3 factores con 2 niveles: pretratamiento en refrigeración (con preenfriamiento, sin preenfriamiento), tipo de empaque (con almohadilla, sin almohadilla) y tipo de corte (cubos y cuartos de rodaja). Los experimentos se realizaron por triplicado para un total de 24 pruebas. Se realizó seguimiento de parámetros fisicoquímicos los días 0, 2, 6, 8, 12 y 14.

Tabla 16. Diseño experimental

Variables de proceso	Niveles	Variables de respuesta
Pretratamiento	Con preenfriamiento	Pérdida de peso pH Acidez titulable Sólidos solubles Color Firmeza Contenido de vitamina C Contenido total de polifenoles Capacidad antioxidante
	Sin preenfriamiento	
Tipo de empaque	Con almohadilla	
	Sin almohadilla	
Tipo corte	Cubos	
	Cuartos de rodaja	

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis estadístico se utilizó el análisis de varianza (anova) empleando el *software* Minitab 17 con un nivel de confianza del 95 %. Para los análisis posanova se utilizó la prueba de Tukey.

2.1.3.6 Parámetros fisicoquímicos

» **Pérdida de peso**

La pérdida de peso se determinó mediante la ecuación 1. Se evaluaron las diferencias de peso de las muestras antes del proceso de enfriamiento y durante el almacenamiento bajo condiciones de refrigeración. Las pruebas se realizaron por triplicado.

(1) $$Pérdida\ de\ peso\ (\%) = \frac{(m_f - m_o)}{m_o}$$

Donde:

m_o: peso de la muestra antes del enfriamiento
m_f: peso de la muestra después del enfriamiento

» **pH**

Los valores de pH se determinaron según la norma NTC 4592 (1999), con un pH-metro digital (marca Hanna).

» **Acidez titulable**

La acidez titulable (g ácido cítrico/100 ml) se evaluó por titulación con NaOH y se reportó de acuerdo con la ecuación 2 según el método estándar de la AOAC 942.15 (2005).

(2) $$ácido\ cítrico\ (\%) = \frac{(V_{Mx})\,(C_{Mx})\,(f_{ácido\ cítrico})\,100}{(C_{NaOH\ 0,1\ M})\,(m)}$$

Donde:

V_{Mx}: volumen de la solución de NaOH estandarizada (ml).
C_{Mx}: concentración de la solución de NaOH estandarizada.
$C_{NaOH\ 0,1\ M}$: concentración ideal de la solución de NaOH (0,1 M).
$f_{ácido\ cítrico}$: factor de conversión de equivalencia de 1 ml de NaOH a 0,1 M de ácido cítrico anhidro (0,0064).
m: masa de muestra (g).

» **Contenido de sólidos solubles**

El contenido de sólidos solubles, expresado en °Bx, se determinó en un refractómetro (marca Atago RX-700α). Las pruebas se realizaron por triplicado.

» **Color**

La medición del color se realizó con un colorímetro (marca Colorflex Hunterlab). Se eligieron aleatoriamente 3 muestras por empaque a las cuales se les midió el color en 2 puntos de la parte central. El color se expresó en términos de los parámetros L*(luminosidad), a* (cromaticidad rojo-verde) y b*(cromaticidad amarilla-celeste).

» **Firmeza**

La firmeza de los trozos (cubos o cuartos de rodaja) se midió con un texturómetro (marca Shimadzu) usando una celda de carga de 500 N y un punzón de punta plana de 3 mm. La prueba se realizó con un desplazamiento de 10 mm y una velocidad de penetración de 50 mm/min. Se reportó la fuerza máxima (N). Se eligieron 3 muestras al azar por empaque para realizar la medición.

» **Contenido de vitamina C**

La determinación del contenido de vitamina C (reportado como contenido de ácido ascórbico, mg/kg) se realizó por medio del método reflectométrico (Reflectoquant®) con tiras de ensayo de 25 a 450 mg/l. Se realizó una dilución 1:1 del zumo de piña con ácido oxálico al 1 %. Los resultados se reportaron en mg de ácido ascórbico/kg muestra. El cálculo se realizó usando la ecuación 3 (Merck KGaA, 2018).

$$(3) \qquad \text{ácido ascórbico} = \frac{(C)\,(V_A)}{P}$$

C: concentración medida por el equipo (mg/l)
V_A: volumen de ácido oxálico (ml)
P: peso de la muestra (g)

» **Contenido total de polifenoles**

La extracción de los polifenoles se realizó empleando un horno de microondas (marca LG ref. MS-0746T), durante 1 min. Se usó 1 g de muestra y 15 ml de etanol (96 %). Se retiró el sobrenadante y los extractos se almacenaron protegidos de la luz hasta su análisis. La determinación del contenido total de polifenoles se realizó por espectrofotometría según el método propuesto por Ainsworth y Gillespie (2007) y modificado por Ozturk *et al.* (2018). Se mezclaron 1560 µL de agua destilada con 40 µL de extracto, 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (panreac applichem) y 300 µL de solución filtrada de carbonato de sodio al 20 % (loba Chemmie PVT, LTD). La mezcla se vació en tubos de ensayo y se realizó agitación manual durante 1 min. Posteriormente, se almacenó en oscuridad durante 1 h. La lectura se realizó a 755 nm en un espectrofotómetro (Genesys™ 20 de Thermo Scientific) usando etanol como blanco. La curva de calibración se realizó con ácido gálico siguiendo el procedimiento anteriormente descrito, con concentraciones de 0,04, 0,1, 0,16, 0,2 y 0,3 mg de ácido gálico/ml de solución. Los resultados se expresaron como mg equivalente de ácido gálico/g de materia seca.

» **Capacidad antioxidante**

Este ensayo se basa en la medición de la capacidad de eliminación de antioxidantes frente a los radicales de 2,20-difenil-1-picrílihidrazil (DPPH) (Yeoh y Ali, 2017). Para la determinación de esta prueba se realizó la neutralización de los radicales libres de DPPH. La reacción se llevó a cabo usando una mezcla de 300 µL de extracto obtenido con 3700 µL de solución de DPPH (Sigma-Aldrich) al 100 µM (en metanol), y se dejó en reposo 1 h en la oscuridad. La absorbancia de la solución se midió a 515 nm en un espectrofotómetro (Marca Genesys™ 20 de Thermo Scientific) empleando metanol como solución blanco.

El porcentaje de inhibición se calculó empleando la ecuación 4 (Ballesteros *et al.*, 2015) y los resultados se expresaron como mg equivalentes de Trolox/g materia seca. Se realizó una curva de calibración con concentraciones de Trolox conocidas y se midió su capacidad para decolorar el radical DPPH.

(4) $$Inhibición\ (\%) = \left(1 - \frac{As}{Ac}\right)(100)$$

Donde:

As: absorbancia de la muestra.
Ac: absorbancia de la solución control.

2.1.3.7 Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo en un laboratorio externo en el día 0 (fruta fresca) y en el día 14. La cantidad utilizada fue de 100 g por muestra. Se realizaron pruebas de bacterias mesófilas, psicrófilas, mohos y levaduras (Guía Técnica Colombiana de Microbiología de Alimentos [GTC] 78, 2002).

2.1.3 Resultados y discusión

La tabla 17 muestra la nomenclatura utilizada para los tratamientos. En el anexo 1 se encuentra el seguimiento fotográfico durante los 14 días de almacenamiento.

Tabla 17. Nomenclatura utilizada para cada tratamiento

	Tratamiento
1	Empaque activo, corte cubos, con preenfriamiento (ACP)
2	Empaque activo, corte cubos, sin preenfriamiento (ACS)
3	Empaque convencional, corte cubos, con preenfriamiento (NCP)
4	Empaque convencional, corte cubos, sin preenfriamiento (NCS)
5	Empaque activo, cuartos de rodajas, con preenfriamiento (ARP)
6	Empaque activo, cuartos de rodajas, sin preenfriamiento (ARS)
7	Empaque convencional, cuartos de rodajas, con preenfriamiento (NRP)
8	Empaque convencional, cuartos de rodajas, sin preenfriamiento (NRS)

Fuente: elaboración propia.

2.1.4.1 Parámetros fisicoquímicos

» **Pérdida de peso**

En la figura 30 se presenta la pérdida de peso durante el almacenamiento para los tratamientos evaluados. Se observa que la pérdida de humedad aumentó durante el almacenamiento. El tratamiento con mayor pérdida de peso el día 14 fue el empaque con almohadillas, en cubos y con preenfriamiento (ACP) con 13,38 % ± 1,38 mientras que el menor fue el empaque convencional en cuartos de rodajas y preenfriamiento (NRP) 9,24 % ± 2,19, como se muestra en la tabla 18.

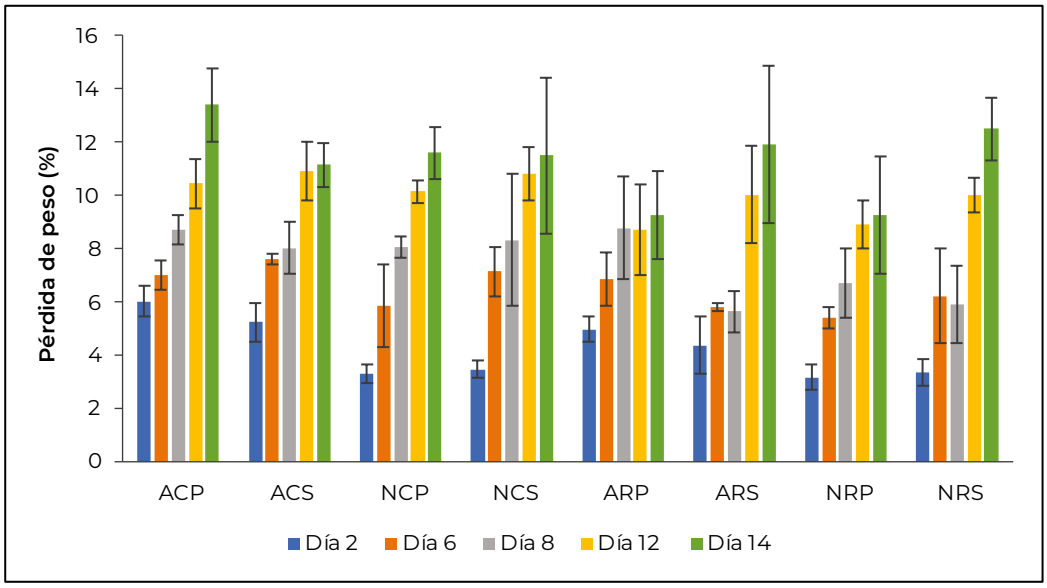


Figura 30. Efecto del tratamiento sobre la pérdida de peso (%) de la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

Se observa también que los tratamientos con corte en cubos y empaque activo (ACP y a ACS) tuvieron mayor pérdida de peso que los tratamientos con empaque convencional (NCP y NCS) los días 2 y 6 de almacenamiento. De igual manera, los días 6, 8 y 12 se observa que los cuartos de rodaja tuvieron menor pérdida de humedad, a diferencia de los cortes con cubos.

Los tratamientos evaluados presentaron pérdida de peso significativa (relacionada con la pérdida de humedad) durante el almacenamiento. Esto puede ocurrir por el corte de la fruta que acelera la pérdida de agua debido al aumento de área. Estos resultados coinciden con Treviño-Garza *et al.* (2017) y Yousuf y Srivastava (2019), quienes reportaron el aumento de la pérdida de peso durante el almacenamiento en refrigeración de piña cortada.

Tabla 18. Valores promedio obtenidos de la pérdida de peso (%) en la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Tratamiento	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Día 2	6,01 ± 0,58	5,23 ± 0,74	3,28 ± 0,35	3,45 ± 0,32	4,95 ± 0,48	4,36 ± 1,09	3,15 ± 0,48	3,33 ± 0,49
Día 6	7,02 ± 0,21	7,61 ± 0,41	5,85 ± 0,42	7,14 ± 0,38	6,85 ± 0,98	5,82 ± 0,15	5,39 ± 0,41	6,20 ± 1,78
Día 8	8,70 ± 0,22	8,02 ± 0,15	8,04 ± 0,40	8,31 ± 0,21	8,76 ± 1,93	5,63 ± 0,79	6,70 ± 1,30	5,91 ± 1,46
Día 12	10,43 ± 0,24	10,91 ± 0,56	10,14 ± 0,44	10,79 ± 0,19	8,71 ± 1,69	10,00 ± 1,83	8,89 ± 0,90	10,01 ± 0,64
Día 14	13,38 ± 0,32	11,12 ± 0,73	11,59 ± 0,44	11,49 ± 0,47	9,26 ± 1,66	13,64 ± 4,14	9,24 ± 2,19	12,48 ± 1,19

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos incluyendo el tiempo de almacenamiento como un factor se muestran en la tabla 19 y en el anexo 2. El tiempo de almacenamiento, el empaque utilizado y el corte mostraron efectos significativos sobre la pérdida de peso. El posanova mostró que el empaque sin almohadilla y el corte en cuartos de rodaja tuvieron menor pérdida de peso que el empaque con almohadilla y el corte en cubos.

Tabla 19. Análisis de varianza (anova) y prueba de Tukey para la pérdida de peso (%)

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		11,3051	A
12		9,9856	B
8	0,000	7,5080	C
6		6,4837	D
2		4,2215	E
0		0,0000	F
Empaque			
Almohadilla	0,006	6,8604	A
Sin almohadilla		6,3076	B
Corte			
Cubos	0,000	7,0215	A
Cuartos de rodaja		6,1465	B
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,480	6,6538	A
Con preenfriamiento		6,5142	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes entre tratamientos. Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

La pérdida de peso es un parámetro importante de calidad, ya que puede actuar como un indicador de frescura en los productos a base de fruta fresca (Yousuf y Srivastava, 2019). La pérdida de peso reduce la calidad y la vida útil de las frutas y vegetales; sin embargo, dicha pérdida se reduce considerablemente por la protección del empaque.

» pH

En la figura 31 se muestran los valores de pH para cada tratamiento evaluado, los resultados se reportan normalizados. No se observa una tendencia del pH durante el almacenamiento. Los valores estuvieron entre 3,51 ± 0,07 a 4,05 ± 0,03 (ver tabla 20).

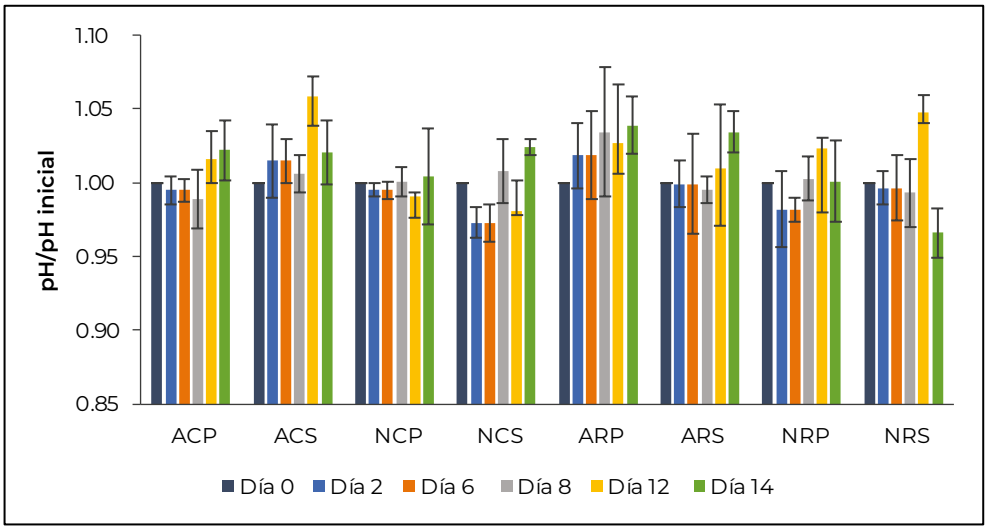


Figura 31. Comportamiento del pH de la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

El día 6 el pH aumentó en los contenidos de empaques activos con cuartos de rodajas (ARP y ARS), a diferencia de los de empaques convencionales (NRP y NRS). De igual manera, se observa que el día 12 el pH fue mayor en los de empaques activos con cubos (ACP y ACS), a diferencia de los de empaques convencionales (NCP y NCS) con respecto al día 0. Los valores de pH son similares a los obtenidos por Buitrago (2017), quien estudió piña variedad MD2 mínimamente procesada y almacenada a 5 °C, y por Lima *et al.* (2019), quienes estudiaron piña (var. perola) cortada y almacenada a 4 °C.

El pH influye en el oscurecimiento por la oxidación en los tejidos de los frutos y vegetales, la disminución de su valor lleva a reducir este fenómeno en los frutos (Pizato *et al.*, 2019).

Tabla 20. Valores promedio de pH obtenidos por tratamiento para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	3,85 ± 0,01	3,85 ± 0,01	3,85 ± 0,01	3,85 ± 0,01	3,78 ± 0,06	3,78 ± 0,06	3,78 ± 0,06	3,78 ± 0,06
Día 2	3,90 ± 0,03	3,98 ± 0,09	3,81 ± 0,02	3,94 ± 0,07	3,51 ± 0,07	3,64 ± 0,05	3,67 ± 0,08	3,58 ± 0,04
Día 6	3,83 ± 0,03	3,91 ± 0,05	3,83 ± 0,02	3,76 ± 0,05	3,85 ± 0,10	3,81 ± 0,10	3,69 ± 0,04	3,77 ± 0,07
Día 8	3,81 ± 0,07	3,87 ± 0,04	3,85 ± 0,04	3,88 ± 0,07	3,91 ± 0,15	3,76 ± 0,03	3,78 ± 0,05	3,75 ± 0,08
Día 12	3,91 ± 0,07	4,05 ± 0,03	3,81 ± 0,01	3,78 ± 0,07	3,88 ± 0,13	3,82 ± 0,15	3,88 ± 0,05	3,96 ± 0,04
Día 14	3,94 ± 0,07	3,93 ± 0,07	3,87 ± 0,11	3,93 ± 0,04	3,93 ± 0,07	3,91 ± 0,05	3,79 ± 0,09	3,65 ± 0,06

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos (para los valores normalizados) se presentan en la tabla 21 y en el anexo 2. El tiempo de almacenamiento y el tipo de empaque tuvieron efecto significativo sobre el pH ($p < 0,05$). Sin embargo, no se presentaron diferencias significativas en el corte y el pretratamiento ($p > 0,05$). El posanova mostró que las diferencias de pH durante el almacenamiento se presentan únicamente entre los días 6 y 12.

Tabla 21. Análisis de varianza (anova) y prueba de Tukey para el pH

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		1,0138	A B
12		1,0191	A
8	0,001	1,0036	A B C
6		0,9967	C
2		1,0058	A B C
0		1,0000	B C
Empaque			
Almohadilla	0,000	1,0127	A
Sin almohadilla		1,0003	B
Corte			
Cubos	0,927	1,0066	A
Cuartos de rodaja		1,0063	A
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,426	1,0078	A
Con preenfriamiento		1,0052	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes entre tratamientos. Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» Acidez titulable

La figura 32 presenta los valores de acidez, expresados como ácido cítrico (%), para la piña mínimamente procesada (los resultados se reportan normalizados). Se puede observar que los valores para los tratamientos con el tipo de corte en cubos tuvieron menor variación que los tratamientos con cuartos de rodaja.

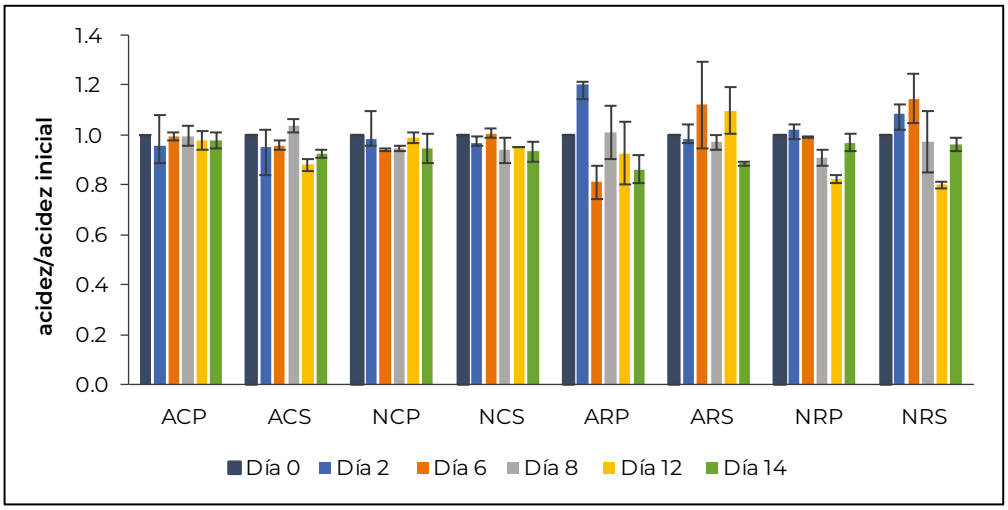


Figura 32. Comportamiento de la acidez (%) de la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 32 se observa que la acidez de los cuartos de rodaja cambió durante el almacenamiento. En el día 14 en los tratamientos NCS, ARP y ARS disminuyeron los valores de acidez con respecto al valor inicial (día 0), asimismo, el día 12 en los tratamientos ACS, NRP y NRS disminuyeron el porcentaje de ácido respecto al día 0.

En la tabla 22 se presentan los valores de acidez promedio obtenidos. Los valores estuvieron en el rango de 0,59 ± 0,01 y 0,85 ± 0,07. Estos valores pueden compararse con el comportamiento obtenido por López-Córdoba y Aldana-Usme (2019) y Pizato *et al.* (2019) quienes tuvieron valores similares para el día 0 en piña fresca cortada, empacada y almacenada a 4 °C pero estos disminuyeron considerablemente con el tiempo.

Los ácidos orgánicos disminuyen durante el almacenamiento debido a que pueden usarse durante la respiración o convertirse en azúcares. Las variaciones encontradas en la acidez se pueden atribuir a cambios en las concentraciones de los ácidos orgánicos en los tejidos del fruto, los cuales pueden estar disueltos a nivel celular o encontrarse de forma libre como sales y glucósidos, entre otros (Lima *et al.*, 2019).

Tabla 22. Valores promedio de la acidez titulable para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	0,67 ± 0,01	0,67 ± 0,01	0,67 ± 0,02	0,67 ± 0,01	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,02	0,74 ± 0,02
Día 2	0,65 ± 0,05	0,64 ± 0,08	0,66 ± 0,02	0,65 ± 0,01	0,82 ± 0,04	0,68 ± 0,01	0,70 ± 0,03	0,75 ± 0,04
Día 6	0,67 ± 0,01	0,65 ± 0,01	0,63 ± 0,01	0,67 ± 0,03	0,60 ± 0,05	0,83 ± 0,13	0,73 ± 0,00	0,85 ± 0,07
Día 8	0,67 ± 0,03	0,70 ± 0,02	0,64 ± 0,01	0,63 ± 0,03	0,75 ± 0,08	0,71 ± 0,03	0,67 ± 0,02	0,72 ± 0,09
Día 12	0,66 ± 0,02	0,59 ± 0,02	0,67 ± 0,01	0,64 ± 0,00	0,69 ± 0,09	0,81 ± 0,07	0,61 ± 0,01	0,59 ± 0,01
Día 14	0,66 ± 0,03	0,62 ± 0,01	0,64 ± 0,04	0,63 ± 0,03	0,64 ± 0,04	0,66 ± 0,01	0,72 ± 0,03	0,71 ± 0,02

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos (para los valores normalizados) se presentan en la tabla 23 y en el anexo 2. Se incluye el tiempo como un factor. Se observa que el tiempo de almacenamiento tuvo efecto significativo ($p < 0,05$) sobre la acidez, mientras que los demás factores evaluados no tuvieron efecto. De acuerdo con el posanova se puede observar que las diferencias significativas se obtuvieron entre el día 12 y el14, con respecto al día 0.

Tabla 23. Análisis de varianza (anova) y prueba de Tukey para la acidez

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		0,9329	C
12		0,9307	C
8	0,000	0,9727	B C
6		0,9962	A B
2		1,0190	A
0		1,0000	A B
Empaque			
Almohadilla	0,278	0,9803	A
Sin almohadilla		0,9703	A
Corte			
Cubos	0,180	0,9691	A
Cuartos de rodaja		0,9814	A
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,125	0,9824	A
Con preenfriamiento		0,9682	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» Contenido de sólidos solubles

La figura 33 muestra el comportamiento obtenido para el contenido de sólidos solubles de la piña mínimamente procesada y almacenada durante 14 días (los resultados se reportan normalizados). El contenido de sólidos solubles es un parámetro que indica el estado de maduración de la fruta. Una piña con un contenido de sólidos de al menos 12 % °Bx se considera madura y apta para comercializar (Treviño-Garza *et al.*, 2017).

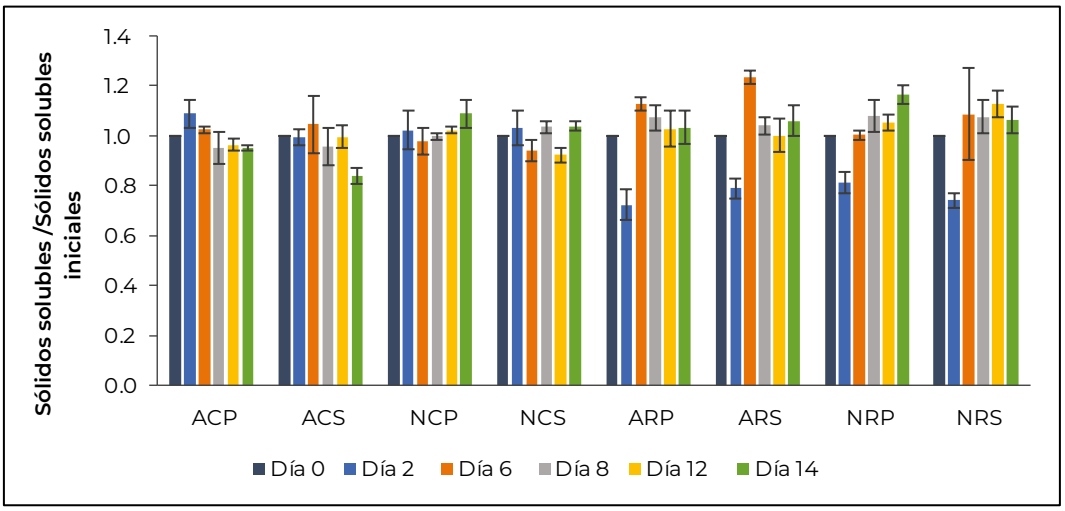


Figura 33. Comportamiento del contenido de sólidos solubles (°Bx) de la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

En el día 2 los tratamientos con cuartos de rodajas obtuvieron el menor valor respecto a los demás días, además, se observa que el día 6 los tratamientos ARP y ARS aumentaron el contenido de sólidos solubles, con respecto al valor inicial (día 0). Treviño-Garza *et al.* (2017) reportaron aumento del contenido de sólidos solubles en todos los tratamientos evaluados para piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C. En general, los tratamientos con cuartos de rodaja tuvieron un mayor contenido de sólidos solubles que los tratamientos con cubos.

Las variaciones observadas en el contenido de los azúcares solubles pueden estar relacionadas con el proceso de senescencia o maduración de la fruta, que provoca una serie de cambios que incluyen la hidrólisis de polisacáridos, la conversión de azúcares, la síntesis y degradación de ácidos orgánicos y la pérdida de agua de la fruta. Estos cambios se presentan de manera simultánea y probablemente están ligados al material genético del fruto (Lima *et al.*, 2019).

Los valores promedio se muestran en la tabla 24. Estos fueron ligeramente mayores a los obtenidos por Finnegan *et al.* (2013), Buitrago Dueñas (2017), Syazwani *et al.* (2013) y Mecado Ruiz *et al.* (2019). Esto puede ser un indicador competitivo para comercializar internacionalmente este tipo de producto, debido a su alto contenido de azúcares, lo que aumenta el sabor dulce de la fruta.

Tabla 24. Valores promedio del contenido de sólidos solubles (°Bx) de la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	13,47 ± 0,05	13,47 ± 0,05	13,47 ± 0,05	13,47 ± 0,05	14,13 ± 0,50	14,13 ± 0,50	14,13 ± 0,50	14,13 ± 0,50
Día 2	14,65 ± 1,05	13,38 ± 1,43	13,78 ± 1,11	13,90 ± 1,00	15,22 ± 2,11	16,58 ± 1,49	16,86 ± 1,45	15,57 ± 0,64
Día 6	13,82 ± 1,55	14,10 ± 1,51	13,18 ± 0,91	12,66 ± 0,59	15,92 ± 1,43	17,45 ± 1,30	14,91 ± 2,00	15,37 ± 2,60
Día 8	12,82 ± 1,11	12,88 ± 0,90	13,43 ± 0,44	13,93 ± 0,56	15,17 ± 1,21	14,70 ± 1,11	15,41 ± 1,25	15,22 ± 1,14
Día 12	12,98 ± 0,86	13,40 ± 0,65	13,78 ± 1,84	12,81 ± 1,17	14,53 ± 1,59	14,15 ± 1,45	14,81 ± 0,52	15,92 ± 0,84
Día 14	12,82 ± 0,37	11,30 ± 0,81	14,65 ± 1,06	13,97 ± 1,18	14,60 ± 2,10	14,98 ± 1,54	16,26 ± 1,74	15,05 ± 1,15

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos (para los valores normalizados) se presentan en la tabla 25 y en el anexo 2. Se incluye el tiempo como un factor. El anova muestra que hubo diferencias significativas entre los días de almacenamiento y en el tipo de corte evaluado ($p > 0,05$). Adicionalmente, el posanova muestra diferencias significativas entre los días 0, 2 y 6 de almacenamiento para los tratamientos con cuartos de rodaja.

Tabla 25. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de sólidos solubles

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14	0,000	1,0297	A B
12		1,0143	A B
8		1,0263	A B
6		1,0558	A
2		0,9007	C
0		1,0000	B
Empaque			
Almohadilla	0,085	1,0121	A
Sin almohadilla		0,9968	A
Corte			
Cubos	0,045	0,9956	B
Cuartos de rodaja		1,0134	A
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,422	1,0009	A
Con preenfriamiento		1,0080	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» Parámetros de color L*, a* y b*

La figura 34 presenta los parámetros de color L*, a* y b* obtenidos para la piña mínimamente procesada (los valores fueron normalizados). Estos parámetros de color han sido ampliamente usados para describir el cambio de color durante el procesamiento de frutas y vegetales. El cambio de color de la fruta cortada durante el almacenamiento es un parámetro importante debido a que influye directamente en la percepción de calidad del consumidor (Prakash *et al.*, 2020).

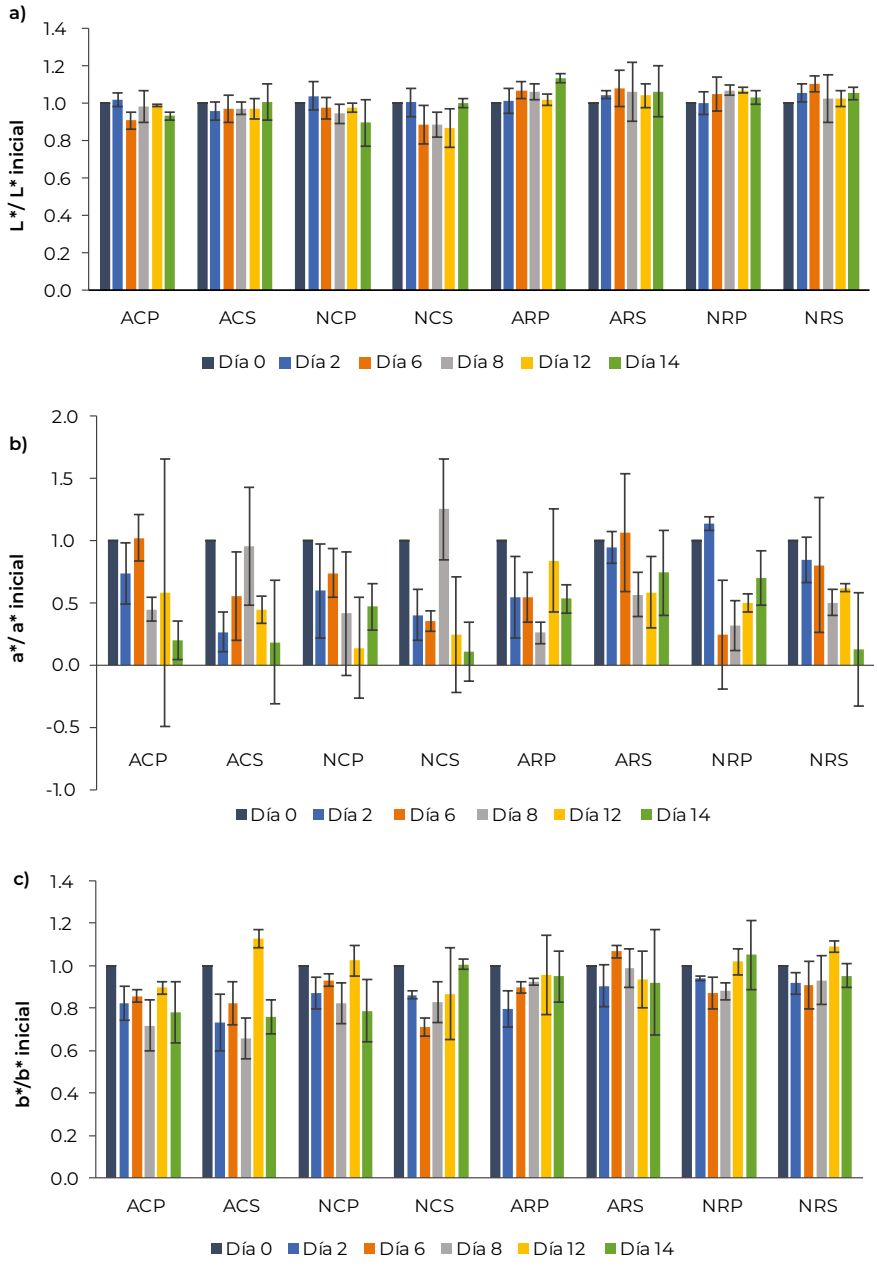


Figura 34. Comportamiento de los párametros de color a) L*, b) a* y c) b* para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 34 se observa que para el parámetro L*, que indica la luminosidad del fruto, no existen diferencias respecto al tiempo de almacenamiento. Sin embargo, se observa que en el día 6 los valores de este parámetro fueron mayores para los tratamientos con cuartos de rodajas que para los tratamientos con cubos ($p < 0,05$). En las figuras 34 b y 34 c se presentan las coordenadas cromáticas a*(verde-rojo) y b*(azul-amarillo), respectivamente. Se observa que ambas variaron con el tiempo de almacenamiento para todos los tratamientos, lo que resultó, en el día 14, en una disminución respecto al día 0, exceptuando los tratamientos con cuartos de rodadas, que tuvieron valores similares con respecto al valor inicial.

Según Montero-Calderón *et al.* (2008) el patrón de maduración de la piña comienza desde la base y avanza hasta la corona, lo que da como resultado diferentes etapas de maduración a lo largo del fruto. Debido a la estructura compleja y al patrón de madurez de la fruta, el color y la textura de la pulpa no son uniformes. Esto puede explicar la variabilidad de los valores de L y b* entre los tipos de cortes de piña.

La disminución en el tiempo de los valores de a* y b* indica que los trozos tienden a tener una tonalidad más oscura durante el almacenamiento como se muestra en la figura 35. Buitrago Dueñas *et al.* (2018) señala que esto puede deberse a una disminución de los carotenoides asociados a la coloración amarilla.

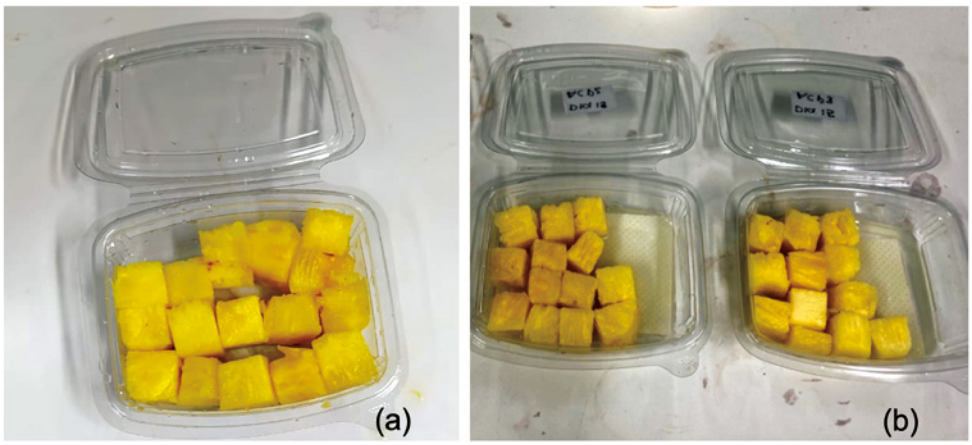


Figura 35. Diferencias del color en las muestras en cubos (a) en el día 0 y (b) en el día 14

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 26 se presentan los valores promedio de los parámetros L*, a* y b* obtenidos para los diferentes tratamientos. Se puede observar que los valores de L* estuvieron entre 41,81 ± 4,35 y 54,75 ± 2,39, los cuales fueron menores a los reportados por Manzocco *et al.* (2016) y Montero-Calderón *et al.* (2010), quienes evaluaron piñas, variedad MD2, cortadas y envasadas a 5 °C. Tampoco coinciden con los valores de a*, que estuvieron entre 0,20 ± 0,58 y 4,04 ± 1,22; sin embargo, sí estuvieron en el rango del parámetro b*, entre 22,03 ± 3,34 y 34,32 ± 4,67.

Adicionalmente, Montero-Calderón *et al.* (2010) encontraron disminución significativa de los parámetros L* y b* en el tiempo y lo atribuyen directamente al fenómeno de traslucidez en la pulpa de la fruta, pero no encontraron diferencias significativas en los tipos de empaque utilizados, mientras que Manzocco *et al.* (2016) observaron que los valores de L*, para la variedad MD2, disminuyeron durante los 15 días de almacenamiento y los parámetros a* y b* estuvieron estables. Otros estudios reportaron cambios significativos en el color, asociados a la aparición de áreas translúcidas (Montero-Calderón *et al.*, 2008).

Tabla 26. Valores promedio de los parámetros de color L*, a* y b* para la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	L*							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	48,44 ± 2,61	48,44 ± 2,61	48,44 ± 2,61	48,44 ± 2,61	47,49 ± 10,81	47,49 ± 10,81	47,49 ± 10,81	47,49 ± 10,81
Día 2	49,24 ± 4,50	46,33 ± 6,05	50,38 ± 3,96	48,63 ± 4,40	52,28 ± 7,79	54,12 ± 2,68	52,44 ± 3,89	54,75 ± 2,39
Día 6	44,01 ± 4,23	47,05 ± 5,37	45,97 ± 3,21	43,01 ± 5,90	50,78 ± 2,68	51,24 ± 4,36	49,14 ± 4,81	52,34 ± 3,06
Día 8	46,12 ± 4,33	47,30 ± 3,31	41,81 ± 4,35	43,75 ± 7,20	50,34 ± 4,13	50,41 ± 14,22	51,08 ± 2,76	48,56 ± 5,58
Día 12	46,84 ± 4,12	47,29 ± 2,93	46,40 ± 2,19	42,64 ± 5,39	48,42 ± 4,02	50,19 ± 3,91	50,31 ± 3,46	47,66 ± 2,53
Día 14	45,49 ± 3,39	47,04 ± 5,00	43,24 ± 4,09	49,31 ± 1,94	53,91 ± 3,05	51,61 ± 6,54	49,51 ± 3,55	50,18 ± 2,17
	a*							
Día 0	1,86 ± 0,51	1,86 ± 0,51	1,86 ± 0,51	1,86 ± 0,51	2,76 ± 0,49	2,76 ± 0,49	2,76 ± 0,49	3,96 ± 0,75
Día 2	1,36 ± 0,75	0,49 ± 0,79	1,11 ± 0,85	0,75 ± 0,58	0,85 ± 1,00	1,49 ± 0,99	1,76 ± 0,63	3,31 ± 0,82
Día 6	1,89 ± 0,88	1,02 ± 1,21	1,68 ± 0,75	0,65 ± 0,67	1,50 ± 0,70	2,93 ± 1,85	1,11 ± 1,55	4,04 ± 1,22
Día 8	0,83 ± 0,56	1,77 ± 0,88	0,94 ± 1,15	2,32 ± 1,28	0,72 ± 0,94	1,56 ± 0,81	1,03 ± 0,77	2,58 ± 0,61
Día 12	1,50 ± 1,74	0,82 ± 0,56	0,18 ± 0,93	0,46 ± 0,88	2,31 ± 1,21	1,61 ± 1,07	1,41 ± 0,80	2,85 ± 1,00
Día 14	0,37 ± 0,57	0,34 ± 1,22	0,71 ± 0,83	0,20 ± 0,58	1,47 ± 0,75	2,04 ± 0,91	1,79 ± 0,76	2,87 ± 0,37
	b*							
Día 0	33,46 ± 2,05	33,46 ± 2,05	33,46 ± 2,05	33,46 ± 2,05	32,02 ± 2,08	32,02 ± 2,08	32,02 ± 2,08	32,02 ± 2,08
Día 2	27,54 ± 3,00	24,50 ± 4,88	29,21 ± 4,44	28,84 ± 2,06	26,25 ± 4,56	29,82 ± 4,66	31,35 ± 2,38	30,25 ± 3,20
Día 6	28,68 ± 2,69	27,58 ± 3,99	31,76 ± 2,42	23,80 ± 4,46	28,78 ± 4,30	34,15 ± 2,59	28,72 ± 2,90	29,11 ± 3,65
Día 8	24,06 ± 3,63	22,03 ± 3,34	25,95 ± 3,75	27,77 ± 4,10	29,61 ± 1,99	31,64 ± 2,95	28,36 ± 2,18	29,86 ± 3,62
Día 12	29,98 ± 3,18	37,78 ± 2,55	35,62 ± 3,43	29,02 ± 6,60	30,67 ± 6,33	29,95 ± 4,18	32,63 ± 3,17	34,89 ± 1,80
Día 14	26,08 ± 4,66	25,37 ± 3,78	25,81 ± 4,11	33,70 ± 1,44	30,43 ± 6,48	29,50 ± 6,87	34,32 ± 4,67	30,54 ± 3,03

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos se muestran en la tabla 27 y en el anexo 2. Estos indican que para L* únicamente se presentaron diferencias significativas en el tipo de corte ($p < 0,05$), es decir, mostrando un valor mayor de luminosidad en los cuartos de rodaja que en los cubos (ver figura 34). Para el parámetro a* se obtuvieron diferencias significativas únicamente con el tiempo de almacenamiento (entre el día 0 y el día 14), mientras que el parámetro b* fue afectado significativamente por el tiempo de almacenamiento, el tipo de empaque y el tipo de corte ($p < 0,05$). Este último fue menor en los tratamientos en cubos y en los tratamientos con almohadilla.

Tabla 27. Análisis de varianza y prueba de Tukey para los parámetros de color L*, a* y b*

Factor	Valor de P			Prueba de Tukey					
				Media			Agrupación		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Día									
14				1,0148	0,3824	0,9010	A	C	B
12				0,9903	0,5223	0,9899	A	B C	A
8	0,727	0,000	0,000	0,9998	0,5895	0,8443	A	B C	B
6				1,0052	0,6651	0,8839	A	B	B
2				1,0164	0,6836	0,8566	A	B	B
0				1,0000	1,0000	1,0000	A	A	A
Empaque									
Almohadilla				1,0107	0,6762	0,8968	A	A	B
Sin almohadilla	0,243	0,154	0,587	0,9981	0,6048	0,9285	A	A	A
Corte									
Cubos				0,9646	0,5967	0,8706	B	A	B
Cuartos de rodaja	0,000	0,080	0,000	1,0442	0,6843	0,9547	A	A	A
Pretratamiento									
Sin preenfriamiento				1,0030	0,6484	0,9167	A	A	A
Con preenfriamiento	0,806	0,749	0,617	1,0057	0,6325	0,9086	A	A	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» **Firmeza**

La figura 36 muestra el comportamiento de la firmeza de la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C (valores normalizados). La pérdida de firmeza ocasiona la pérdida de calidad en los frutos frescos (Singh *et al.*, 2007).

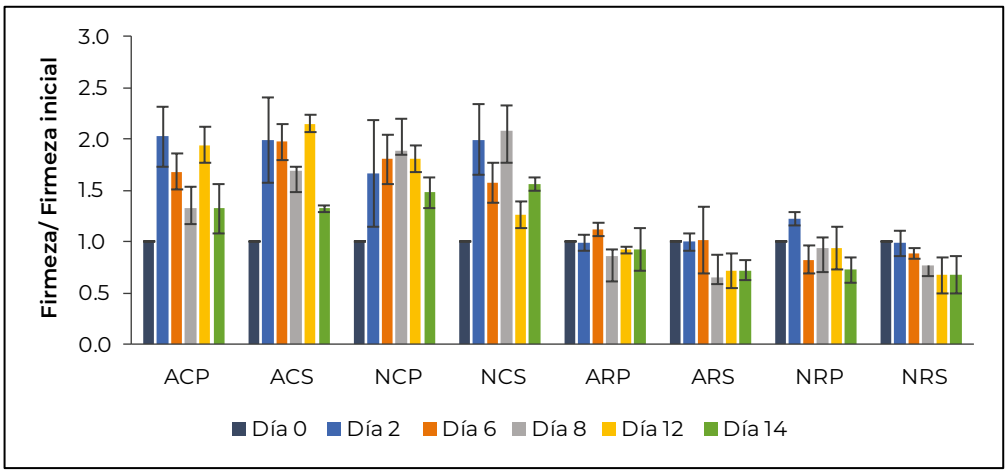


Figura 36. Comportamiento de la firmeza de la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la figura 36 se observa que la firmeza varió con el tiempo de almacenamiento, para los tratamientos con corte en cubos hubo un aumento significativo hasta el día 12, mientras que los tratamientos con cuartos de rodajas tienden a disminuir con el tiempo, exceptuando para el tratamiento ARP que tuvo valores similares al día 0.

El comportamiento obtenido por los tratamientos en cubos fue contrario a otros estudios realizados (Treviño-Garza *et al.*, 2017; Prakash *et al.*, 2020), en los que se indica una disminución de la firmeza con el tiempo de almacenamiento en piñas mínimamente almacenadas en refrigeración.

Treviño-Garza *et al.* (2017) señalan que a medida que aumenta la pérdida de agua disminuye la firmeza; sin embargo, el uso de un empaque con barrera al vapor de agua y al oxígeno como el PET, disminuye la pérdida de agua por deshidratación. Las variaciones en los valores de firmeza también se pueden atribuir al corte ya que se presentan lesiones en los tejidos, acelerando las actividades enzimáticas de degradación (por ejemplo, polifenoloxidasa) que están relacionadas con el ablandamiento de la fruta.

La tabla 28 presenta los valores promedio de la firmeza. Estos valores son similares a los obtenidos por Singh *et al.* (2007), pero estuvieron por debajo de los valores reportados por Finnegan *et al.* (2013), quienes estudiaron piñas MD2 cortadas, empacadas en atmósferas modificadas y almacenadas a 4 °C.

Tabla 28. Valores promedio de los parámetros de firmeza (N) obtenidos por tratamientos para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	1,92 ± 0,25	1,92 ± 0,25	1,92 ± 0,25	1,92 ± 0,25	3,96 ± 0,75	3,96 ± 0,75	3,96 ± 0,75	3,96 ± 0,75
Día 2	3,46 ± 1,11	3,95 ± 2,20	3,19 ± 1,20	3,79 ± 0,63	3,26 ± 0,83	3,31 ± 0,82	3,99 ± 0,95	3,26 ± 0,50
Día 6	3,22 ± 0,71	3,78 ± 0,85	3,45 ± 0,68	3,18 ± 0,53	4,45 ± 0,64	4,04 ± 1,22	3,53 ± 0,87	3,52 ± 0,60
Día 8	2,55 ± 0,47	3,23 ± 0,77	3,62 ± 1,06	3,88 ± 0,61	3,41 ± 1,00	2,58 ± 0,61	3,49 ± 0,99	3,05 ± 0,48
Día 12	3,73 ± 0,36	4,11 ± 0,68	3,47 ± 0,45	2,55 ± 0,43	3,65 ± 0,99	2,85 ± 1,00	3,50 ± 0,92	2,67 ± 0,79
Día 14	2,53 ± 0,65	2,54 ± 0,12	2,83 ± 0,47	2,87 ± 0,50	3,66 ± 1,18	2,87 ± 0,37	2,82 ± 0,69	2,68 ± 0,85

Fuente: elaboración propia.

La tabla 29 y el anexo 2 muestran el análisis de varianza y el posanova. En ellos se observa que el tiempo de almacenamiento y el tipo de corte tuvieron efecto significativo sobre la firmeza ($p < 0,05$). De acuerdo con la prueba de Tukey, hubo diferencias significativas en los días 2, 6, 8 y 12 con respecto al día 0, pero no hubo diferencia entre el día 0 y el día 14.

Tabla 29. Análisis de varianza y prueba de Tukey para la firmeza

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		1,0927	C
12		1,3017	A B
8	0,000	1,2751	B
6		1,3616	A B
2		1,4649	A
0		1,0000	C
Empaque			
Almohadilla	0,587	1,2587	A
Sin almohadilla		1,2399	A
Corte			
Cubos	0,000	1,5996	A
Cuartos de rodaja		0,8990	B
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,617	1,2407	A
Con preenfriamiento		1,2579	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» Contenido de vitamina C

La vitamina C tiene una alta actividad antioxidante lo que evita que otros compuestos presentes en la fruta se oxiden. Sin embargo, esta disminuye cuando las frutas se someten a cualquier procesamiento (Jing *et al.*, 2019).

La figura 37 muestra el comportamiento del contenido de vitamina C de la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C (valores normalizados). Se puede observar que el contenido de vitamina C disminuyó durante el almacenamiento para los tratamientos con cubos. Este comportamiento coincide con los estudios de Jing *et al.* (2019), Antoniolli *et al.* (2012) y Prakash *et al.* (2020), quienes reportan disminución de la vitamina C con el tiempo en piñas cortadas, envasadas y almacenadas en refrigeración.

Para los tratamientos en cuartos de rodaja no se observó la misma tendencia, el contenido de vitamina C aumentó en el día 2 y, luego, disminuyó con el tiempo en el tratamiento ARP, mientras que para los tratamientos ARS y NRP aumentó en los días 6 y 8 respecto al día 0. Así mismo, el tratamiento NRS aumentó considerablemente en el día 14 con respecto al valor inicial. Resultados similares reportan Padrón-Mederos *et al.* (2020), quienes tuvieron un aumento de la vitamina C con el tiempo para piñas mínimamente procesadas y almacenadas a 5 °C.

Por otro lado, en la figura 37 se observa que, para los tratamientos con cubos, los valores en las muestras preenfriadas ACP y NCP son mayores que en las muestras sin preenfriar ACS y NCS.

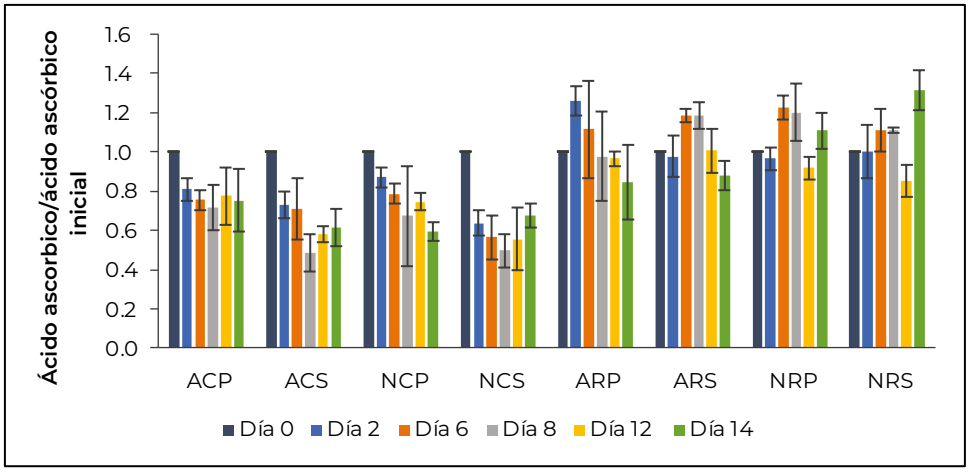


Figura 37. Comportamiento del contenido de vitamina C de la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 30 se presentan los valores promedio de los parámetros de vitamina C de la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C. Se observa que los valores estuvieron entre 121,12 ± 20,27 y 329,66 ± 19,38 mg de ácido ascórbico/kg. Estos valores son similares a los resultados presentados por Padrón-Mederos *et al.* (2020) y más bajos que los obtenidos por Antoniolli *et al.* (2012) y Montero-Calderón *et al.* (2010).

Tabla 30. Valores promedio de los parámetros de vitamina C (mg de ácido ascórbico/kg) obtenidos por tratamientos para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	244,28 ± 10,80	244,28 ± 10,80	244,28 ± 10,80	244,28 ± 10,80	201,40 ± 26,75	201,40 ± 26,75	201,40 ± 26,75	201,40 ± 26,75
Día 2	197,67 ± 14,30	193,93 ± 10,80	212,64 ± 12,92	155,48 ± 15,69	329,66 ± 19,38	255,85 ± 27,39	252,90 ± 15,47	262,08 ± 35,35
Día 6	184,40 ± 12,47	163,65 ± 24,50	192,23 ± 12,18	137,79 ± 27,00	221,08 ± 49,17	234,53 ± 6,70	242,73 ± 12,30	220,10 ± 21,83
Día 8	175,22 ± 28,69	153,78 ± 8,92	164,33 ± 61,65	121,12 ± 20,27	193,53 ± 45,27	234,86 ± 13,58	238,14 ± 29,08	219,77 ± 2,84
Día 12	189,17 ± 35,68	182,02 ± 41,45	182,36 ± 10,72	135,75 ± 38,91	194,51 ± 7,64	202,71 ± 22,18	184,67 ± 11,66	172,21 ± 16,55
Día 14	183,72 ± 39,11	191,89 ± 25,08	145,28 ± 12,18	165,35 ± 14,47	170,24 ± 38,42	177,46 ± 15,32	223,38 ± 18,44	265,04 ± 20,32

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos se muestran en la tabla 31 incluyendo el tiempo como factor. Se encontraron diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento, el tipo de corte y el pretratamiento evaluado ($p < 0,05$). La prueba posanova indica que hubo diferencias significativas en todos los días de almacenamiento con respecto al día 0. Las interacciones día*pretratamiento y día*corte (ver anexo 2) indican que las diferencias significativas en el pretratamiento estuvieron entre los días 2, 8, 12 y 14 para los tratamientos en cubos. Adicionalmente, se observan valores mayores de contenido de vitamina C en las muestras en rodajas y en las muestras con preenfriamiento.

Tabla 31. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido de vitamina C

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		0,8487	B C
12		0,8002	B C
8	0,000	0,8551	B C
6		0,9313	A B
2		0,9060	B
0		1,0000	A
Empaque			
Almohadilla	0,837	0,8920	A
Sin almohadilla		0,8884	A
Corte			
Cubos	0,000	0,7304	B
Cuartos de rodaja		1,0500	A
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,001	0,8614	B
Con preenfriamiento		0,9191	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» Contenido total de polifenoles

Otros compuestos con alta capacidad antioxidante son los compuestos fenólicos. Estos compuestos desarrollan muchas actividades biológicas y funcionales para la calidad de la fruta, incluso en la salud humana; sin embargo, al igual que la vitamina C, se produce una reducción de contenido fenólico total en la fruta durante el almacenamiento (Jing *et al.*, 2019; Yousuf y Srivastava, 2019). La figura 38 muestra el comportamiento del contenido total de polifenoles para la piña mínimamente procesada y almacenada a 4 °C (valores normalizados).

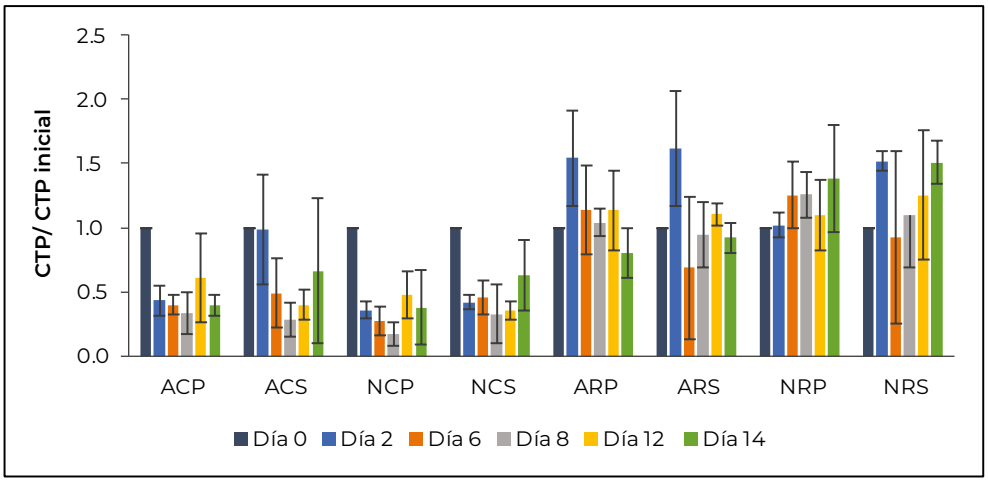


Figura 38. Comportamiento del contenido total de polifenoles (CTP) para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 38 se observa que para el contenido total de polifenoles hubo una disminución con el tiempo de almacenamiento en los tratamientos con cubos; es decir, se presentó una disminución muy fuerte hasta el día 8, donde se obtuvo el valor más bajo del contenido total de polifenoles, y para el día 12 y 14 se obtuvieron valores menores respecto al día 0. Esta disminución en el contenido de polifenoles también la reportan Yousuf y Srivastava (2019) y Jing *et al.* (2019). En cambio, para los tratamientos con cuartos de rodaja se observó un comportamiento diferente: para ARP y ARS el contenido total de polifenoles aumentó considerablemente en el día 2, mientras que para los tratamientos NRP y NRS aumentó considerablemente en el día 14. Montero-Calderón *et al.* (2010) encontraron que estos compuestos aumentaron con el tiempo de almacenamiento para piñas, variedad MD2, mínimamente procesada, alcanzando un valor máximo después del día 5, disminuyeron hasta el día 13 y permanecieron constantes hasta el día 21.

El comportamiento obtenido para el contenido total de polifenoles fue muy similar al contenido de vitamina C (ver figura 37) , por lo que se puede inferir que el tipo de corte en cuartos de rodajas puede evitar la pérdida de ambos durante el tiempo de almacenamiento, a diferencia del corte en cubos.

La tabla 32 muestra los valores promedio del contenido total de polifenoles. Se observa que los valores para corte en cubos estuvieron entre 0,59 ± 0,25 y 4,34 ± 0,75, mientras

que los valores para corte en rodajas estuvieron entre 1,17 ± 0,27 y 2,24± 0,58 (mg eq. de ácido gálico/g de materia seca). Estos valores estuvieron por encima de los obtenidos por Yousuf y Srivastava (2019) y Padrón-Mederos *et al.* (2020), quienes estudiaron piña mínimamente procesada y almacenada a 4 y 5 °C, respectivamente.

Tabla 32. Valores promedio de los parámetros del contenido total de polifenoles (mg eq. de ácido gálico/g de materia seca) obtenidos por tratamientos para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamientos							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	4,34 ± 0,75	4,34 ± 0,75	4,34 ± 0,75	4,34 ± 0,75	1,46 ± 0,11	1,46 ± 0,11	1,46 ± 0,11	1,46 ± 0,11
Día 2	1,87 ± 0,49	3,20 ± 0,31	1,55 ± 0,30	1,82 ± 0,30	2,13 ± 0,48	2,24 ± 0,58	1,47 ± 0,28	2,10 ± 0,21
Día 6	1,74 ± 0,39	2,13 ± 1,09	1,44 ± 0,18	1,81 ± 0,53	1,66 ± 0,64	1,50 ± 0,71	1,42 ± 0,81	1,52 ± 0,86
Día 8	1,70 ± 0,89	0,59 ± 0,25	0,74 ± 0,37	1,01 ± 0,36	1,51 ± 0,15	2,20 ± 1,63	1,72 ± 0,44	1,60 ± 0,55
Día 12	2,05 ± 0,49	1,74 ± 0,47	2,08 ± 0,73	1,46 ± 0,37	1,65 ± 0,42	1,61 ± 0,20	1,56 ± 0,48	2,19 ± 1,49
Día 14	1,71 ± 0,33	1,49 ± 0,29	0,90 ± 0,37	1,63 ± 0,79	1,17 ± 0,27	1,35 ± 0,18	1,95 ± 0,68	2,20 ± 0,37

Fuente: elaboración propia.

El análisis estadístico se muestra en la tabla 33 y en el anexo 2. Se incluye el tiempo como un factor. Se observan diferencias con respecto al tiempo de almacenamiento y al tipo de corte ($p < 0,05$). De acuerdo con la prueba de Tukey, no hay diferencia estadística en el contenido total de polifenoles entre el día 0 y el día 14 y es notoria la alta pérdida de polifenoles cuando se realiza corte en cubos.

Tabla 33. Análisis de varianza y prueba de Tukey para el contenido total de polifenoles

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		0,8350	A B
12		0,8032	A B
8	0,000	0,6812	B
6		0,7028	B
2		0,9861	A
0		1,0000	A
Empaque			
Almohadilla	0,831	0,8299	A
Sin almohadilla		0,8394	A
Corte			
Cubos	0,000	0,5350	B
Cuartos de rodaja		1,1345	A
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,298	0,8577	A
Con preenfriamiento		0,8117	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

» Capacidad antioxidante

La figura 39 muestra el comportamiento de la capacidad antioxidante para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C (datos normalizados).

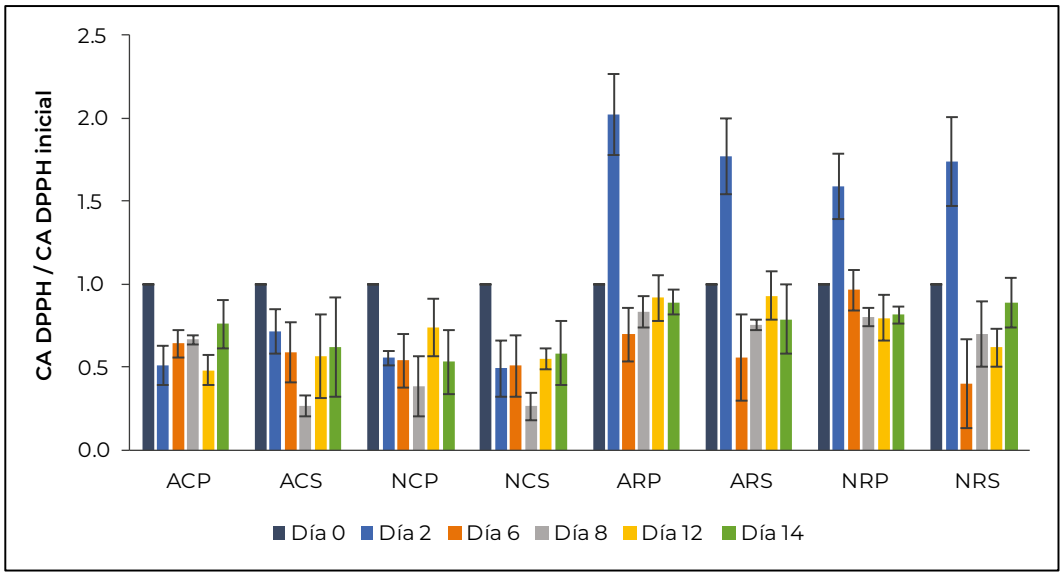


Figura 39. Comportamiento de la capacidad antioxidante para la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 39 se observa que la capacidad antioxidante varió con el tiempo de almacenamiento. Para los tratamientos con corte en cubos la capacidad antioxidante disminuyó en el tiempo: en el día 8 alcanzaron el valor más bajo los tratamientos ACS, NCP y NCS; en el día 12 aumentaron y volvieron a disminuir en el día 14, mientras que en el tratamiento ACP la capacidad antioxidante fluctuó entre el día 2 y 12, luego aumentó en el día 14 (en el que fue menor que el día 0). Para los tratamientos con cuartos de rodaja no presentó ninguna tendencia definida, sin embargo, el día 14 se obtuvo una capacidad antioxidante más baja que día 0. Por otro lado, los tratamientos con corte en cubos tuvieron menor capacidad antioxidante que los tratamientos con cuartos de rodaja. De acuerdo con el pretratamiento evaluado se observa que el día 12 los tratamientos con empaque activo ARP y ARS tuvieron mayor capacidad antioxidante, en contraste con los tratamientos NRP y NRS.

Para todos los tratamientos, la piña mínimamente procesada presentó en el día 0 una alta actividad antioxidante; sin embargo, en los 14 días de almacenamiento en frío, la actividad antioxidante disminuyó considerablemente. Aunque la piña tiene alta capacidad antioxidante debido a su contenido elevado de vitamina C y fenólicos totales, esta disminuye durante el almacenamiento. El tipo de corte de la fruta puede ser un criterio para minimizar este efecto. Jing *et al.* (2019) reportaron una disminución de la capacidad antioxidante durante el enfriamiento y Padrón-Mederos *et al.* (2020) tuvieron variación significativa con el tiempo, con un aumento en la capacidad antioxidante durante 10 días de almacenamiento a 5 °C. Los valores promedio de la capacidad antioxidante se presentan en la tabla 34 .

Tabla 34. Valores promedio de los parámetros del contenido total de la capacidad antioxidante (mg eq. de trolox/g de materia seca) para piña MD2 mínimamente procesada y almacenada a 4 °C

Día	Tratamiento							
	ACP	ACS	NCP	NCS	ARP	ARS	NRP	NRS
Día 0	2,43 ± 0,02	2,43 ± 0,02	2,43 ± 0,02	2,43 ± 0,02	1,99 ± 0,01	1,99 ± 0,01	1,99 ± 0,01	1,99 ± 0,01
Día 2	1,25 ± 0,27	1,74 ± 0,30	1,35 ± 0,17	1,24 ± 0,40	1,97 ± 0,21	1,73 ± 0,24	1,59 ± 0,19	1,70 ± 0,26
Día 6	1,56 ± 0,21	1,43 ± 0,41	1,32 ± 0,42	1,22 ± 0,38	1,39 ± 0,30	1,11 ± 0,57	1,87 ± 0,24	0,80 ± 0,48
Día 8	1,62 ± 0,22	0,65 ± 0,15	0,93 ± 0,40	0,67 ± 0,21	1,66 ± 0,29	1,50 ± 0,18	1,56 ± 0,15	1,39 ± 0,36
Día 12	0,99 ± 0,24	1,38 ± 0,56	1,79 ± 0,44	1,38 ± 0,19	1,82 ± 0,25	1,85 ± 0,26	1,63 ± 0,27	1,23 ± 0,22
Día 14	1,85 ± 0,32	1,51 ± 0,73	1,29 ± 0,44	1,34 ± 0,47	1,77 ± 0,13	1,57 ± 0,37	1,62 ± 0,08	1,77 ± 0,28

Fuente: elaboración propia.

Los resultados estadísticos se muestran en la tabla 35 y en el anexo 2. Se incluye el tiempo como factor. El análisis de varianza muestra diferencias significativas en todos los factores estudiados. La prueba de Tukey presenta diferencias en la capacidad antioxidante entre las muestras en el día 0 y las muestras en el día 2 (con capacidad antioxidante más alta que la inicial), y valores similares a partir del día 6. Por otra parte, muestra diferencias en el tipo de empaque, el tipo de corte y el pretratamiento, los valores más altos se presentaron en la capacidad antioxidante de las muestras con almohadilla, de las muestras cortadas en rodajas y de las muestras con preenfriamiento.

Tabla 35. Análisis de varianza y prueba de Tukey para la capacidad antioxidante

Factor	Valor de P	Prueba de Tukey	
		Media	Agrupación
Día			
14		0,7352	C
12		0,6994	C D
8	0,000	0,5838	D
6		0,6118	C D
2		1,1735	A
0		1,0000	B
Empaque			
Almohadilla	0,014	0,8322	A
Sin almohadilla		0,7689	B
Corte			
Cubos	0,000	0,6234	B
Cuartos de rodaja		0,9778	A
Pretratamiento			
Sin preenfriamiento	0,003	0,7627	B
Con preenfriamiento		0,8386	A

Valores de $p < 0,05$ representan efecto significativo del factor.

Fuente: elaboración propia.

2.1.4.2 Análisis microbiológico

En las tablas 36 y 37 se muestra el resultado microbiológico para el día 0 (fruta fresca) y para el día 14 de la piña cortada tanto en cubos como en cuartos de rodaja, respectivamente. Para el recuento de mohos y levaduras en el día 14 se presentan los valores promedio con la desviación estándar.

Tabla 36. Resultado microbiológico para el día 0 y el día 14 de la piña cortada en cubos, empacada y almacenada a 4 °C

Tratamiento	Recuento de bacterias mesófilas (log UFC/g)		Recuento de psicrófilos (log UFC/g)		Recuento de mohos y levaduras (log UFC/g)	
	Día 0	Día 14	Día 0	Día 14	Día 0	Día 14
ACP	2,78	4,02	<1	<1	2,00	2,30 ± 0,43
ACS		3,56		<1		2,54 ± 0,76
NCP		3,61		<1		2,96 ± 0,26
NCS		3,94		<1		2,54 ± 0,77

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 36 se observa que para los diferentes tratamientos hubo un crecimiento de bacterias mesófilas durante el almacenamiento. Asimismo, los recuentos de mohos y levaduras de todas las muestras aumentaron con el tiempo, sin embargo, estos valores se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Resolución 3929 de 2013 (Minsalud, 2013) para jugos y pulpas de frutas sin aditivos, categoría en la cual clasifica la piña fresca.

Tabla 37. Resultado microbiológico para el día 0 y el día 14 de la piña cortada en rodajas, empacada y almacenada a 4 °C

Tratamiento	Recuento de bacterias mesófilas (log UFC/g)		Recuento de psicrófilos (log UFC/g)		Recuento de mohos y levaduras (log UFC/g)	
	Día 0	Día 14	Día 0	Día 14	Día 0	Día 14
ARP	3,92	2,60	<1	<1	3,36	2,15 ± 0,21
ARS		4,26		<1		2,99 ± 1,40
NRP		2,95		<1		2,45 ± 0,21
NRS		2,48		<1		2,24 ± 0,34

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 37 se observa que el recuento microbiano de bacterias mesófilas, psicrófilas, mohos y levaduras fue mayor en el día 0 respecto al día 14, lo que indica una disminución con el almacenamiento, excepto para el tratamiento ARS, en el que aumentó. Esto pudo ocurrir debido a la heterogeneidad de las muestras. Igual que en las muestras en cubos, estos valores se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la Resolución 3929 de 2013 (Minsalud, 2013) para jugos y pulpas de frutas sin aditivos,categoría en la cual clasifica la piña fresca.

Las frutas y vegetales contienen alta humedad y también son fuente de nutrientes que resultan en un ambiente fértil para los microrganismos. La producción de sustancias tóxicas puede ocurrir después de que la carga microbiológica tienda a exceder el límite de 6 log UFC/g (Yousuf y Srivastava, 2019).

2.1.4 Conclusiones

- Se evaluaron 2 alternativas de corte y empaque que permitieron conservar los atributos fisicoquímicos y microbiológicos en la piña MD2 mínimamente procesada y almacenada en refrigeración.
- Las condiciones de almacenamiento, como la refrigeración, que incluyen altas humedades relativas y bajas temperaturas minimizan el deterioro de algunos atributos de calidad, como firmeza, color y pérdida de peso en la piña mínimamente procesada.
- El tratamiento de preenfriamiento no tuvo efecto significativo en la mayoría de las variables estudiadas, indicando que no es una medida necesaria para conservar los atributos de calidad de la piña mínimamente procesada, aunque fue mejor la retención de vitamina C y de capacidad antioxidante cuando se realizó preenfriamiento.
- Los tratamientos con cortes en rodajas presentaron las mejores características en la mayoría de las variables estudiadas, por lo cual se define como el tipo de corte adecuado para comercializar un producto de piña mínimamente procesada. El tipo de corte tiene un efecto significativo sobre el contenido de vitamina C y el contenido total de polifenoles y la capacidad antioxidante, el corte en cuartos de rodajas podría evitar su pérdida durante el almacenamiento y conservar estas propiedades funcionales.
- El tipo de empaque tuvo efecto significativo sobre la pérdida de peso, el pH y el parámetro b*. Los tratamientos con empaque activo tuvieron un aumento de estas variables. Solo fue más efectivo para mantener la capacidad antioxidante.
- La práctica del procesamiento mínimo de fruta fresca produce lesiones en los tejidos lo que aumenta las actividades metabólicas, acelerando la acción enzimática y causando que el fruto se oscurezca, se ablande y conduzca a desarrollar sabores extraños. Por lo tanto, es necesario el uso de un empaque con barrera al agua y oxígeno como el empaque PET, que se ha convertido en un material de empaque para muchos productos alimenticios.
- Los resultados microbiológicos se encontraron en los rangos establecidos por la norma y los parámetros fisicoquímicos con resultados similares a otros estudios de piña mínimamente procesada. Estos demuestran que la piña fresca puede tener un almacenamiento óptimo por 14 días sin ningún pretratamiento adicional.

2.1.5 Ficha técnica de producto

 Fuente: elaboración propia.	**Ficha técnica**
Nombre	**Piña (variedad MD2) mínimamente procesada**
Descripción del producto	Trozos de piña cortados en cuartos de rodaja de 1,5 cm de espesor (sin corazón) empacados en cajas de PET con capacidad de 190 g y refrigerados a 4 °C.
Características principales	**Parámetros fisicoquímicos** • Sólidos solubles: 14,13 0,50 °Bx. • pH: 3,78 0,06. • Acidez (como ácido cítrico): 0,74 0,02 %. • Color: parámetro L* 47,49 ± 10,81 (luminosidad), • parámetro b* 32,02 ± 2,08 (tonalidad amarilla). • Firmeza: 3,96 ± 0,75 N. **Parámetros microbiológicos** • Recuento de bacterias mesófilas: 3,92 log UFC/g. • Recuento de psicrófilos: <1 log UFC/g. • Recuento de mohos y levaduras: < 3,36 log UFC/g.
Características secundarias	**Parámetros funcionales** • Ácido ascórbico (vitamina C): 201,40 ± 26,75 mg de ácido ascórbico/kg de muestra. • Contenido total de polifenoles: 1,46 ± 0,11 mg eq. de ácido gálico/ g de materia seca. • Capacidad antioxidante: 1,99 ± 0,01 mg eq. de trolox/ g de materia seca.
Ingredientes	Piña (var. MD2)
Descripción del proceso de elaboración	• **Selección**: se seleccionan frutas sin defectos ni enfermedades. La fruta debe tener color y madurez uniforme (estado 0 y 1 de maduración). Los frutos deben tener un contenido de sólidos solubles entre 13 y 15 °Bx. • **Lavado y desinfección**: las piñas enteras se lavan con agua potable y se sumergen en una solución de hipoclorito de sodio (0,01 ml/L de agua) durante 10 min. • **Corte**: se retira la corona, se pela y se retira el corazón con un sacabocados. Se cortan rodajas de 1,5 cm de espesor y cada rodaja se corta en 4 partes iguales. Es importante controlar el proceso usando buenas prácticas de manufactura (BPM). • **Empaque**: se empaca en cajas de tereftalato de polietileno (PET) de 11 × 9 × 3 cm con un calibre de 420 mm, con capacidad para 190 g de fruta. Se puede incorporar una almohadilla absorbente como empaque activo (opcional). • **Almacenamiento:** se almacena en refrigerador a 4 °C hasta por 14 días.
Condiciones de conservación recomendadas	• Empaque en cajas de PET con cierre sello *plus* (cierre de ajuste seguro). • Refrigeración a 4 °C. No interrumpir la cadena de frío.
Tiempo de vida útil estimado	Máximo 14 días

2.2 Empaque innovador desarrollado para piña MD2 fresca

2.2.1 Generalidades del producto por empacar

La piña es una fruta tropical ampliamente cultivada en América del Sur que puede consumirse fresca o procesada en diversos productos alimenticios. Ocupa el tercer lugar en producción de frutas tropicales, después del banano y los cítricos. El mercado de la piña ha crecido ampliamente debido a los atractivos compuestos aromáticos y los valores nutricionales, así como a la gran demanda y los precios minoristas competitivos (Abu Bakar *et al.*, 2013, Martínez *et al.*, 2012). La vida útil de la piña se puede prolongar almacenando la fruta en condiciones y temperaturas específicas, así como con tratamientos específicos para evitar la contaminación por microorganismos (Ismail *et al.*, 2018).

En los últimos años, la piña ha ganado mucha atención ya que la composición nutricional ha contribuido a los usos potenciales como alimento funcional y diversos productos a base de piña. Lasekan y Hussein (2018) describen en su estudio que las piñas son ricas en compuestos de éster, incluidos metil-2-metilbutanoato, metilhexanoato, metil-3-(metiltiol)-propanoato, metil octanoato y 2-metoxi-4-vinilo fenol que están asociados con la calidad del sabor de diferentes tipos de variedades de piña. Con base en la composición fisicoquímica y valores nutricionales, la piña puede considerarse como una de las frutas más útiles para la fabricación de compuestos de valor agregado como antioxidantes, ácidos orgánicos, bromelina y compuestos fenólicos (Mohd Ali *et al.*, 2020). Asimismo, los beneficios para la salud de la piña también se asocian con diferentes fitoquímicos y bioactividad funcional para mantener el metabolismo y mejorar la salud humana (Hossain y Rahman, 2011). Los compuestos bioactivos típicos de la piña son principalmente compuestos fenólicos y flavonoides que se encuentran presentes en las partes morfológicas del fruto (Lobo y Yahia, 2016).

Teniendo en cuenta el hecho de que la piña es una fruta no climatérica, la calidad de la fruta cambia y no es uniforme a diferentes niveles de madurez. Por lo general, los indicadores de madurez de la piña se evalúan en función de los atributos físicos, fisicoquímicos y químicos de la fruta con sabor y características morfológicas aceptables (Nadzirah *et al.*, 2013). En cuanto a la vida útil de la piña, la fruta debe almacenarse a una temperatura de 10 a 15 °C con una humedad relativa de 85 a 95 % por un periodo de almacenamiento de hasta un mes (Reinhardt *et al.*, 2018). Aunque se recomienda una temperatura baja para el almacenamiento de la fruta, una temperatura inferior a 8 °C inducirá síntomas de daño por frío, como oscurecimiento de la pulpa y la cáscara, deterioro de la calidad y progresión imperfecta del color de la fruta (Dolhaji *et al.*, 2019).

Por lo tanto, los atributos de calidad interna durante la producción de rendimiento dependen en gran medida del manejo poscosecha y las condiciones de almacenamiento.

Los mercados de frutas recién cortadas se han expandido drásticamente en los últimos años, como resultado de la creciente demanda de los consumidores de frutas frescas, convenientes, sin aditivos y mínimamente procesadas, que sean nutritivas y seguras. La demanda del consumidor de piña es, principalmente, recién cortada mínimamente procesada, con un grado óptimo de madurez, libre de defectos y con una alta calidad organoléptica y nutricional, combinada con un alto grado de seguridad alimentaria. Sin embargo, la fruta recién cortada puede exponerse fácilmente a condiciones ambientales poco higiénicas durante el procesamiento, el pelado y el corte, lo que lleva a la contaminación cruzada con bacterias patógenas de frutas crudas o equipos. Además, estas bacterias contaminantes pueden crecer rápidamente, ayudadas por las fluctuaciones de temperatura durante el almacenamiento en los establecimientos de alimentos. Por lo tanto, es importante desarrollar tecnologías de procesamiento que no solo preserven la calidad sensorial y nutricional, sino que también aumenten la seguridad alimentaria de la piña recién cortada (Ying Zou *et al.*, 2021).

Características del producto a empacar
Trozos de pulpa de piña fresca mínimamente procesada, cortados en cuartos de rodaja o cubos. Contiene concentraciones considerables de polifenoles y vitaminas (Da Silva *et al.*, 2013) y presenta una actividad acuosa correspondiente a 0,092 (Ríos *et al.*, 2007).

Factores causantes de deterioro y pérdida de calidad
Entre los factores que llevan al deterioro de este producto puede destacarse el proceso de manipulación y corte que resulta en la inducción de estrés, liberación de enzimas causantes de reacciones de pardeamiento e hidrólisis de compuestos estructurales, tales como pectinas, almacenamiento a condiciones no refrigeradas y a concentraciones de aire ambiental (concentración de oxígeno normal). También el almacenamiento a baja humedad relativa resulta en una rápida pérdida de peso al estar el tejido de la pulpa expuesto al ambiente (Gómez *et al.*, 2019). Así mismo esto último incrementa significativamente la posibilidad de contaminación microbiana.

2.2.2 Propuesta de sistema de empaque innovador para el producto

Considerando las características y factores causantes de deterioro de la piña cortada se propuso el siguiente sistema de empaque para este producto:

Sistema de empaque con atmósfera modificada en equilibrio (EMAP) que consta de una bandeja rígida en polipropileno con una película de poliamida/polietileno (PA/LDPE)

sellada a la parte superior y con una perforación de 0,060 mm. A través de esta película perforada se realiza la transferencia de gases (O_2, CO_2, vapor de agua) para obtener niveles de gases favorables para el producto en el espacio de cabeza del empaque. En el interior de la bandeja, se incluye una almohadilla adsorbente (*pad*) para la humedad exudada por la fruta, dispuesta en la base de la bandeja de empaque (similar a las que se usa con las piezas de pollo que se venden en bandejas en los supermercados). La capacidad de la bandeja es de 10-150 g de piña cortada.

2.2.2.1 Desarrollo de los elementos y materiales de empaque

La bandeja de PP y la película de PA/LDPE se consiguieron de fuentes comerciales a nivel local. La almohadilla adsorbente de humedad Soaker Pad–Xtra fue suministrada por la empresa JCR Pack (Bogotá, Colombia) y se compone de un sobre con una lámina de plástico poroso con un elemento activo adsorbente de humedad, conformado por cristales de un material polimérico superadsorbente.

Lámina activa de PLA/TiO2-Zn/Bergamota

Síntesis de partículas de $Ti_{1-x}Zn_xO_2$

Para la síntesis de nanopartículas de TiO_2 dopadas con Zn se utilizó la ruta de síntesis química de autocombustión, la cual consiste en aprovechar la reacción de oxidorreducción entre un combustible y un comburente (generalmente nitratos) con el fin de formar la fase incluso sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

Se usaron como precursores isopropóxido de titanio ($Ti[OCH(CH_3)_2]_4$, Alfa Aesar-95 %), nitrato de zinc ($Zn(NO_3)$ $6H_2O$, Merck-98 %) ácido nítrico (HNO_3 Scharlau-67 %) y glicina ($NH_2CH_2CO_2H$, Alfa Aesar) como combustible. Inicialmente, 3,29 cm^3 de isopropóxido de titanio se mezclaron con 25 cm^3 de agua destilada bajo fuerte agitación a 0 °C, durante una hora, para obtener hidróxido de titanio. Posteriormente, se añadieron 3,98 cm^3 de ácido nítrico con el fin de formar oxinitrato de titanio, de acuerdo con la reacción química previamente reportada por Patil (Patil *et al.*, 2002). El sistema fue dejado bajo fuerte agitación hasta que la solución se tornó translúcida (aproximadamente 1 hora). En esta etapa, se adicionaron 0,28 g de nitrato de Zn y posteriormente 1,03 g de glicina. La mezcla se dejó en agitación durante 20 minutos seguida de un calentamiento a 80 °C hasta la evaporación del solvente, en esta etapa se formó una resina blanca, la cual fue llevada hasta 200 °C produciéndose una reacción exotérmica de combustión que formó polvos de TiO_2 dopado con Zn. Los polvos fueron macerados y almacenados para su posterior uso (ver figura 40).

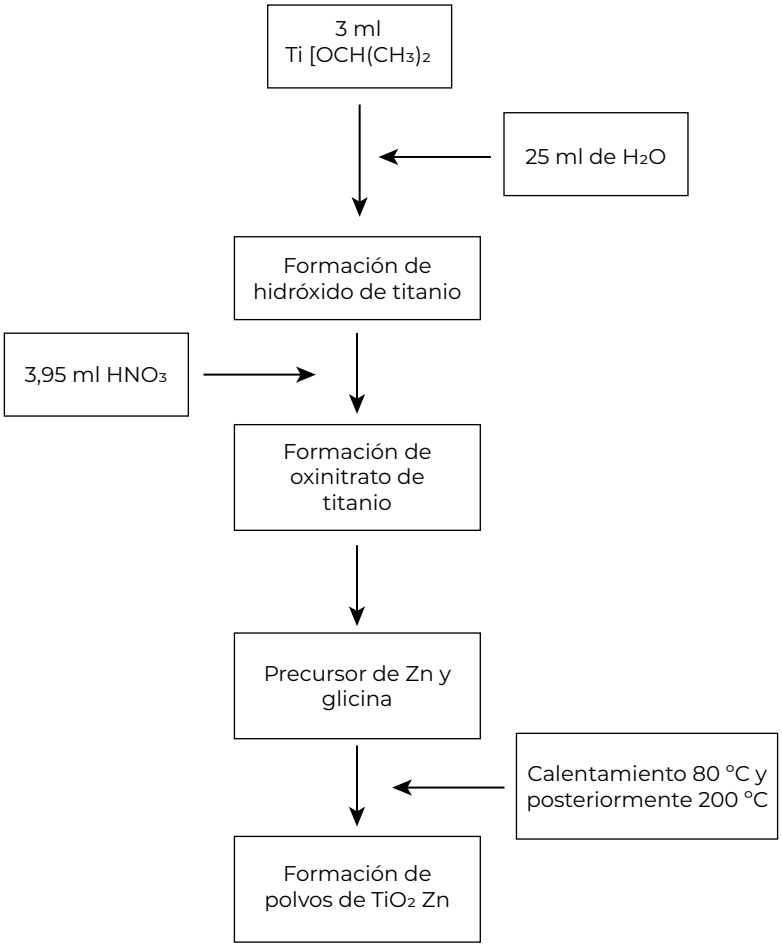


Figura 40. Diagrama de flujo de la obtención de las partículas de TiO_2 dopadas con Zn

Fuente: elaboración propia.

Conformación de la película de PLA/TiO_2-Zn/Bergamota

Las películas fueron fabricadas mediante la técnica de *solvent casting*. Inicialmente 2 gramos de PLA pulverizado fueron disueltos en 50 mL de cloroformo ($CHCl_3$-Sigma 99 %) en un *beaker* de 100 cm^3 bajo constante agitación y a una temperatura entre 30 y 35°C. Posteriormente, 0,2 g de TiO_2-Zn (correspondientes a una concentración 10 % wt respecto al polímero) fueron añadidos a la solución, formando una dispersión. El sistema se mantuvo bajo condiciones de agitación durante 30 minutos y temperatura ambiente, pasado este tiempo a la dispersión se le añadió 200 uL de extracto de Bergamota para continuar con la agitación durante 2 horas más. Posteriormente, la dispersión con PLA/TiO_2-Zn/Bergamota (ver figura 41) fue llevada a ultrasonicación en un sonicador de barra (Cole Palmer 500 W), se realizaron 4 ciclos de sonicación con una potencia de 40 % durante 1 minuto de encendido y 2 minutos apagado.

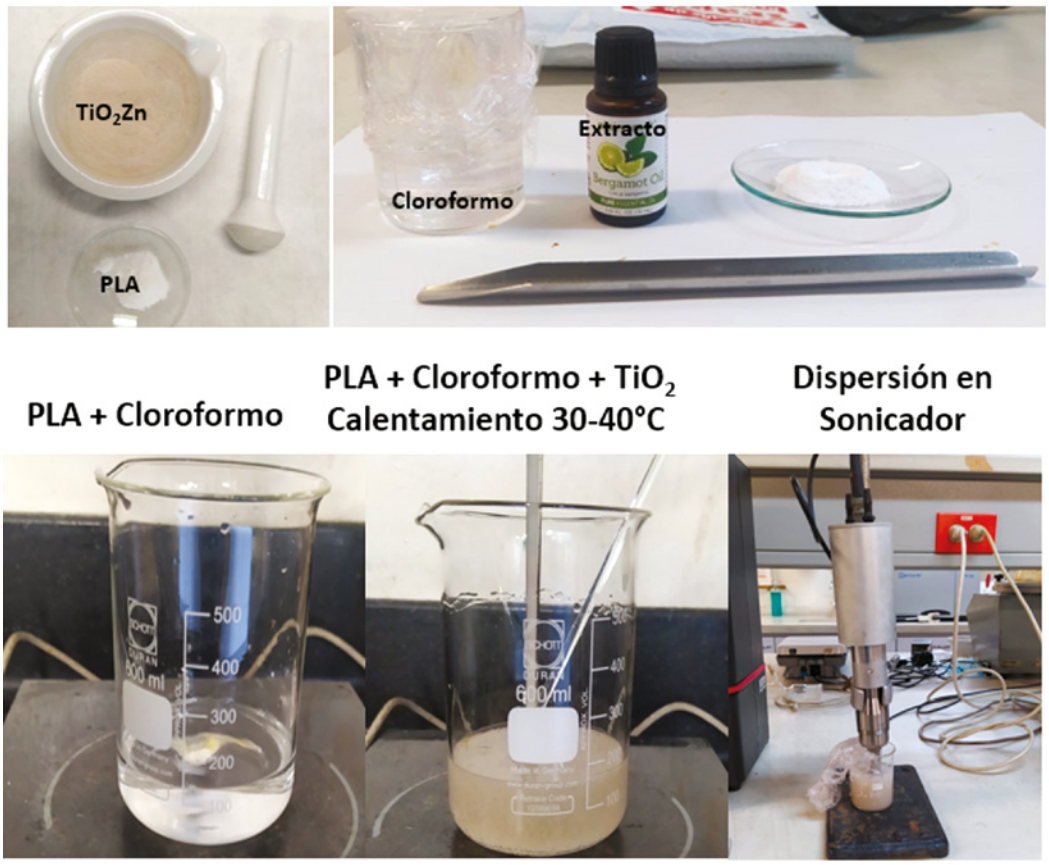


Figura 41. Proceso de obtención de la dispersión de PLA/TiO_2-Zn/Bergamota

Fuente: elaboración propia.

Proceso de *casting*

El proceso de *solvent casting* (ver figura 42) fue llevado a cabo sobre placas de vidrio de formato rectangular (10 cm × 12 cm) y superficie de teflón, limpiadas con alcohol isopropílico y calentadas a una temperatura aproximadamente de 40°C (factor importante para mejorar la homogeneidad de la película). Se encontró que la mejor superficie para la obtención de la película fue la superficie del vidrio. Sobre el vidrio fue esparcida la solución de PLA/TiO_2-Zn/Bergamota y, con suaves movimientos de la placa o ayuda de un agitador de vidrio, se terminó de cubrir todas las zonas de la placa.

En esta etapa se dejó evaporar el solvente hasta la formación de la película. Para la etapa de desmoldeo de la película por el reverso de la placa de vidrio se echa un poco de agua lentamente, teniendo cuidado de no fracturar el vidrio por el choque térmico, y también se encontró que un poco de agua entre la película y el vidrio ayuda a un desmoldeo rápido evitando la fractura de la película cuando el proceso se deja solo mediado por la evaporación de solvente y enfriamiento lento.

Figura 42. Proceso de *casting* hasta la obtención de las películas de PLA/TiO2-Zn/Bergamota

Fuente: elaboración propia.

Reporte de pruebas de almacenamiento

Se realizaron 2 ensayos de almacenamiento. 1 preliminar, para evaluar los parámetros generales de configuración del sistema de empaque, y 1 definitivo, para evaluar la vida útil estimada en el producto para el sistema de empaque propuesto. Para el primer ensayo de almacenamiento de la piña se ajustó las condiciones de almacenamiento a una temperatura promedio de 6±1°C. Para evaluar el efecto de una almohadilla absorbente fueron empleados 2 materiales disponibles comercialmente, una almohadilla absorbente blanca (TAS2) y una almohadilla absorbente negra (Super Soaker Pad-Xtra-JCR) (ver tabla 38). En este apartado se presentan los resultados de este ensayo.

Tabla 38. Tratamientos para la evaluación para piña MD2 en refrigeración

Tratamiento	Factores		
	Bandeja termosellada	Almohadilla absorbente negra	Almohadilla absorbente blanca TAS2
T1	Sí	Sí	-
T2	Sí	-	-
T3	No*	-	Sí
T4	No*	-	-

*Bandejas Darnel Selloplus Resq® de tereftalato de polietileno (PET) (empaque común).

Fuente: elaboración propia.

Durante este primer ensayo, el pH de las muestras de piña que fueron almacenadas en las cajas sellada de PET presentó un incremento en este parámetro. Esta variación puede estar asociada a procesos de senescencia que están acompañados de la disminución en la acidez de los frutos (ver tabla 39).

Tabla 39. Seguimiento de variables fisicoquímicas cuartos de rodaja de piña *gold*, variedad MD2, en refrigeración durante el almacenamiento

Propiedad	Tratamiento	Almacenamiento (día)			
		2	6	9	12
Sólidos solubles totales (%)	T1	13,8±3,8	19,0±0,21	18,1±0,07	15,6±0,85
	T2	13,9±0,07	19,0±0,21	18,2±0,14	14,1±0,28
	T3	14,1±1,27	19,1±0,21	18,0±0,00	14,9±0,14
	T4	15,3±1,06	19,1±0,35	18,2±0,07	14,4±0,85
Acidez titulable (%) expresada como ácido cítrico	T1	0,54±0,04	0,68±0,04	0,73±0,01	0,76±0,19
	T2	1,00±0,07	0,72±0,33	0,76±0,07	0,83±0,08
	T3	0,89±0,16	0,78±0,22	0,93±0,05	0,80±0,03
	T4	0,83±0,19	1,02±0,03	0,72±0,06	0,82±0,11
pH	T1	4,30±1,14	3,88±0,20	3,95±0,13	3,87±0,16
	T2	3,89±0,00	3,99±0,09	3,94±0,01	3,87±0,00
	T3	3,84±0,02	4,09±0,13	3,85±0,16	4,14±0,00
	T4	4,05±0,03	4,05±0,02	4,11±0,00	3,98±0,04

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los cambios de color, para todas las muestras se observa un incremento en las tonalidades pardas, que al final del tiempo de almacenamiento son visibles (ver tabla 40). Estas modificaciones en el color están asociadas a procesos de oxidación que llevan a procesos de senescencia que limitan la comercialización de este producto. Las reacciones de oxidación (como resultado de la actividad enzimática de la polifenoloxidasa) que ocurren en las rodajas de piña se relacionan con un incremento en los procesos metabólicos de la fruta, que no solo están dados por el tiempo, sino por el estrés causado en las frutas al realizar operaciones como el pelado y picado. Estas operaciones permiten que enzimas y sustancias como vitaminas y ácidos orgánicos se liberen y se desencadenen procesos metabólicos y microbiológicos con una velocidad superior, si se comparan con los cambios de frutas enteras en almacenamiento.

Tabla 40. Color de cuartos de rodaja de piña *gold*, variedad MD2, en refrigeración durante el almacenamiento

Propiedad	Tratamiento	Almacenamiento (día)			
		2	6	9	12
L		65,46±6,84	61,09±11,82	51,04±2,71	64,96±7,91
		67,75±6,49	56,54±5,18	65,49±9,03	62,08±11,64
		69,32±5,65	61,80±2,53	74,83±1,59	69,00±7,50
		64,47±4,10	63,71±3,28	55,24±1,72	68,88±5,19
a*		−2,70±1,54	−2,38±1,02	−1,95±0,38	−2,89±1,23
		−3,04±0,30	−2,42±0,59	−1,34±0,73	−2,69±1,11
		−4,02±0,83	−0,32±0,55	−2,79±0,73	−1,27±0,57
		−1,94±1,62	−3,01±0,43	−4,35±0,72	−2,37±1,26
b*		34,70±2,67	31,31±5,21	26,65±3,13	34,33±4,18
		34,63±1,61	29,82±3,50	31,08±2,90	31,68±3,52
		37,44±3,06	35,35±1,14	33,34±2,06	36,16±2,35
		37,12±2,07	31,76±4,80	39,13±3,27	32,41±2,67

Fuente: elaboración propia.

Al revisar los resultados de firmeza de las muestras se evidencia que durante el almacenamiento todos los tratamientos presentan un incremento en este parámetro (ver tabla 41). La variación puede estar asociada a los procesos de deshidratación de las muestras, principalmente para el caso de los tratamientos que incluyen absorbedores de humedad. Adicionalmente, las muestras de piña pueden verse afectadas por un reblandecimiento que se presenta por la acción de enzimas como pectinasas que alteran la estructura celular del fruto.

Tabla 41. Firmeza de los cuartos de rodaja de piña, variedad MD2, en refrigeración durante el almacenamiento

Tratamiento/almacenamiento (día)	Firmeza (N)			
	Día 2	Día 6	Día 9	Día 12
T1	3,352±0,844	4,105±0,900	3,354±1,361	3,297±0,665
T2	1,981±0,342	4,626±0,638	3,471±1,651	2,865±0,363
T3	2,390±0,531	2,712±0,417	2,860±0,354	2,033±0,053
T4	3,282±0,521	3,888±2,00	2,957±0,090	2,857±0,671

Fuente: elaboración propia.

Tabla 42. Contenido de humedad de los cuartos de rodaja de piña, variedad MD2

Tratamiento/almacenamiento (día)	Humedad (%)		
	Día 6	Día 9	Día 12
T1	29,88	36,68	40,05
T2	31,40	39,91	42,62
T3	50,87	43,19	48,87
T4	44,67	52,40	36,00

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la humedad de las muestras de este estudio se presentan en la tabla 42. Los resultados evidencian una fluctuación durante el tiempo de almacenamiento, esto puede ser explicado si se considera que inicialmente las frutas se deshidrataban por efecto de la almohadilla, pero posteriormente en el almacenamiento parte del agua condensada en el material de empaque puede retornar a la superficie del fruto, incrementando de esta forma la humedad de la muestra.

La concentración de oxígeno para los tratamientos a los cuales fueron sometidas las muestras de piña *gold* mínimamente procesadas disminuyeron con el almacenamiento, lo cual está relacionado con la búsqueda del equilibrio (ver tabla 43). En el caso de las frutas almacenadas en las bandejas comerciales selladas y con absorbedor TAS2, en el día 9 de almacenamiento se tiene una concentración más baja de 16, una menor transferencia de gas o menor velocidad de respiración en las muestras. Sin embargo, la concentración vuelve a subir para el día 12. El comportamiento en la concentración de dióxido de carbono en los

empaques evidencia un incremento. Los valores que reportamos en este trabajo coinciden con el rango de 2-40 % de CO_2 reportado por Marrero y Kader (2006) para piña cortada.

Tabla 43. Seguimiento a la concentración de gases (CO_2 y O_2) durante el almacenamiento de piña mínimamente procesada

Tratamiento	O_2 (%)			CO_2 (%)		
	Día 6	Día 9	Día 12	Día 6	Día 9	Día 12
T1	20,15±0,07	19,2±0,84	19,15±1,83	0,25±0,35	2,7±1,83	0,6±0,14
T2	19,9±0,70	19±1,70	19,4±0,00	0,95±1,34	2,55±2,50	2,5±0,14
T3	18,4±0,40	16,0±0,10	17,1±3,39	2,6±0,71	20,4±0,00	15,2±3,90
T4	18,75±1,20	15,2±1,70	17,55±0,92	2,7±2,12	11,15±3,46	6,1±2,26

Fuente: elaboración propia.

Considerando estos resultados fue llevado a cabo un nuevo ensayo que permitiera estudiar el comportamiento de los frutos con la incorporación de una película de PLA con óxido de titanio en la configuración del empaque para validar el efecto de este sobre la prolongación de la vida útil de la fruta. El diseño experimental propuesto se presenta en la tabla 44.

Tabla 44. Diseño experimental para prolongar la vida útil de piña, variedad MD2, en refrigeración (ensayo 2)

Tratamiento	Factores			
	PET	Absorbedor	Película polipropileno	Película activa de PLA y TiO_2
Control (N)	Sí	-	-	
(A)	Sí		Sí	-
(S)	-	Sí	Sí	
(SP)	-	Sí	Sí	Sí

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de este segundo ensayo se presentan en la tabla 45. En este último ensayo se evidenció que los frutos que fueron empacados en las configuraciones que contenían *sachet* absorbente de humedad y la película activa de dióxido de titanio y aceite de bergamota se conservaron hasta por 15 días a una temperatura de 6 + 1 °C. Los cambios que se evidencian en cuanto a variaciones en la concentración de ácido cítrico después del día 12 de almacenamiento pueden estar asociadas al inicio de procesos de fermentación que para el caso de las muestras empacadas en las configuraciones N y A iniciaron al día 6 de almacenamiento.

Las variaciones en el color de todas las muestras están asociadas con procesos de pardeamiento enzimático que iniciaron, posterior al procesamiento de las muestras, estas reacciones se ven ralentizadas por el uso de elementos activos como el adsorbedor y la lámina activa de óxido de titanio. En la figura 43 se presenta el seguimiento visual de las muestras de piña, en las cuales se evidencia que posterior al día 8 de almacenamiento las frutas empacadas en las configuraciones N y A presentan deterioro fúngico por acción de mohos y levaduras que limitan la comercialización y afectan la inocuidad del producto.

Tabla 45. Seguimiento a parámetros fisicoquímicos de piña cortada en cuartos de rodajas en condiciones de refrigeración

Empaque	Tiempo (día)	L	a*	b*	Firmeza (N)	Sólidos solubles (°Bx)	pH	Acidez titulable (% ácido cítrico)
N	0	50,33+3,4+3,40	4,96+10,34	48,37+5,04	3,44+1,09	16,8+0,28	4,22+0,070	0,78+0,47
	6	55,67+5,28	–4,01+0,36	32,07+5,17	3,2+0,46	15,7+0,00	3,92+0,06	0,72+0,13
	8	55,50+2,41	–2,62+1,70	31,23+3,54	1,99+0,48	15,55+0,50	4,00+0,05	0,74+0,05
	12	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-
A	0	50,33+3,4+3,40	4,96+10,34	48,37+5,04	3,44+1,09	16,8+0,28	4,22+0,070	0,78+0,47
	6	73,84+2,30	–4,07+0,78	36,35+3,08	2,76+0,05	13,0+0,28	3,86+0,035	0,75+0,06
	8	68,89+8,54	–3,47+0,76	33,65+2,67	2,55+0,14	14,15+0,07	3,94+0,029	0,73+0,00
	12	-	-	-	-	-	-	-
	15	-	-	-	-	-	-	-
S	0	50,33+3,4	4,96+10,34	48,37+5,04	3,44+1,09	16,8+0,28	4,22+0,07	0,78+0,47
	6	-	-	-	2,44+1,09	14,2+0,07	3,72+0,00	0,82+0,10
	8	75,07+3,21	–4,28+0,60	30,77+2,25	1,76+0,33	12,35+1,06	3,76+0,02	0,91+0,04
	12	77,14+1,07	–3,83+0,74	28,53+1,84	2,74+0,13	11,55+1,49	3,80+0,02	1,00+0,09
	15	68,38+4,38	–4,06+0,46	31,73+3,37	3,16+0,57	12,2+4,38	3,84+0,09	1,04+0,08
SP	0	50,33+3,40	4,96+10,34	48,37+5,04	3,44+1,09	16,8+0,28	4,22+0,07	0,78+0,47
	6	-	-	-	2,14+0,51	14,5+2,12	3,72+0,07	0,93+0,08
	8	58,45+14,09	–4,32+0,76	28,7+8,19	2,84+0,52	13,65+2,76	3,85+0,02	0,83+0,00
	12	57,13+11,3	–4,74+1,43	30,52+10,0	1,95+0,12	13,45+1,34	3,83+0,06	1,05+0,14
	15	50,69+4,70	–5,03+1,52	26,79+6,40	1,69+0,04	12,25+2,90	3,82+0,05	0,97+0,00

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.2 Vida útil estimada

Las frutas mínimamente procesadas presentan una vida útil menor si se comparan con frutas frescas sin procesamiento, esto se debe al estrés al cual son sometidas durante los procesos de corte y a la acción del oxígeno que acelera los procesos de pardeamiento enzimatico. De acuerdo con los ensayos de almacenamiento realizados, la propuesta de empaque presentada en este documento puede permitir extender la vida útil del producto de 14-15 días a las condiciones de almacenamiento de 6-7 °C y 75 % de humedad relativa (ver figura 43). Esto en comparación con los 8-10 días que se puede alcanzar con el empaque tradicional de PET, sin y con adsorbedor en el que los frutos mostraron síntomas de contaminación fúngica desde el día 6 y en el que, para el día 12, se encontraban completamente deteriorados.

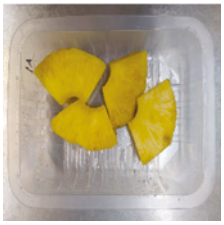
Empaque	Tiempo de almacenamiento (día)			
	0	6	12	15
N				-
A				-
S				
SP				

Figura 43. Seguimiento visual de piña mínimamente procesada y almacenada en condiciones de refrigeración

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Ficha técnica del producto

Propuesta de empaque para piña MD2 fresca cortada en cuartos de rodaja

Diana C. Moncayo, Lesley A. Cortés, Adriana I. Rada, Diego A. Castellanos

Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA)

Características del producto (fruta fresca mínimamente procesada)
La piña (*Ananas comosus*) es uno de los cultivos de zonas subtropicales y tropicales más importantes en el mundo (Basaglia *et al.*, 2021). Se ha demostrado que esta fruta es una buena fuente de vitaminas, azúcares y fibras que contribuyen a la buena digestión (Lima *et al.*, 2020). La piña MD2, conocida también como *Honey Golden*, *Golden Sweet* o piña miel, es un híbrido entre variedades de piña (Cerrato, 2013; Mercado-Ruiz *et al.*, 2019), el cual presenta un mayor contenido de azúcares y buenas características organolépticas. Por ello, tiene gran aceptación por parte del consumidor y destaca entre otras variedades de piña (Dane, 2016). Se estima que la piña mínimamente procesada es más perecedera que la piña íntegra, la cual tiene una vida útil entre 4 y 10 días, ya que en la primera los tejidos internos quedan expuestos a los compuestos ambientales, al contacto y a la acción de agentes biológicos causantes de deterioro (Basaglia *et al.*, 2021). Debido a esto, es importante encontrar los mecanismos que conduzcan a la extensión de vida útil de esta fruta bajo estas condiciones de mínimo procesamiento.

Figura 44. Piña fresca MD2

Fuente: elaboración propia.

Descripción del producto empacado
Trozos de piña fresca cortados en cuartos de rodaja de 1,5 cm de espesor (sin corazón).

Características principales

Parámetros fisicoquímicos

- Sólidos solubles: 14,13 ± 0,50 °Bx.
- pH: 3,78 ± 0,06.
- Acidez (como ácido cítrico): 0,74± 0,02 %.
- Color:
  - Parámetro L* ≥ 47,49 ± 10,81 (luminosidad).
  - Parámetro b*≤ 32,02 ± 2,08 (tonalidad amarilla).
- Firmeza: 3,96 ± 0,75 N.

Parámetros microbiológicos

- Recuento de bacterias mesófilas: 3,92 log UFC/g.
- Recuento de psicrófilos: <1 log UFC/g.
- Recuento de mohos y levaduras: < 3,36 log UFC/g.

Fuente: Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle (2021).

Valor nutricional

Se ha demostrado que la piña MD2 presenta un alto contenido de vitamina C, incluso por encima de otras variedades (Lu *et al.*, 2014). Otros compuestos importantes en la piña son los azúcares y polifenoles, que sobresalen con respecto a otras variedades. En la tabla 46 se muestra el valor nutricional de la piña MD2.

Tabla 46. Valor nutricional de la piña mínimamente procesada MD2

Compuestos	Valor
Ácido ascórbico (vitamina C)	201,40 ± 26,75 mg ácido ascórbico/kg muestra
Contenido total de polifenoles	1,46 ± 0,11 (mg eq ácido gálico/ g materia seca
Capacidad antioxidante	1,99 ± 0,01 mg eq trolox/ g materia seca
Glucosa	14,63 mg/g muestra
Fructosa	13,06 mg/g muestra
Sucrosa	78,99 mg/g muestra

Fuente: Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle (2021) y Lu *et al.* (2014).

Descripción del proceso de elaboración

Selección: se seleccionan frutas sin defectos ni enfermedades. La fruta debe tener color y madurez uniforme (estado 0 y 1 de maduración). Los frutos deben tener un contenido de sólidos solubles entre 13 y 15 °Bx.

Lavado y desinfección: las piñas enteras se lavan con agua potable y se sumergen en una solución de hipoclorito de sodio (0,01 ml/L de agua) durante 10 min.

Corte: se retira la corona, se pela y se retira el corazón con un sacabocados. Se cortan rodajas de 1,5 cm de espesor y cada rodaja se corta en 4 partes iguales. Es importante controlar el proceso usando buenas prácticas de manufactura (BPM).

Características del empaque
Bandeja de polipropileno (PP) sellada al calor en la parte superior con una película laminada de poliamida y polietileno de baja densidad (PA/LDPE) de 0,063 mm de espesor, esta última con una perforación de 0,060 mm en el centro, incluyendo una lámina activa adsorbente de humedad de 60 cm^2 en el fondo y una lámina activa antimicrobiana de ácido poliláctico (PLA) nanocompuesta con dióxido de titanio dopado con Zn (Ti1-xZnxO2 , X=0,1) y aceite esencial de Bergamota. La composición de la película activa fue de 2g PLA: 0,2 g de TiO2 y 200 uL de Bergamota. Esta fue adherida a una de las paredes internas de la bandeja. Para ofrecer mejor protección antifúngica se pueden incorporar 2 láminas de PLA en lugar de una. La capacidad del empaque fue de entre 100 y 150 g de piña cortada.

Figura 45. Empaque propuesto para piña MD2 fresca cortada en cuartos de rodaja

Fuente: elaboración propia.

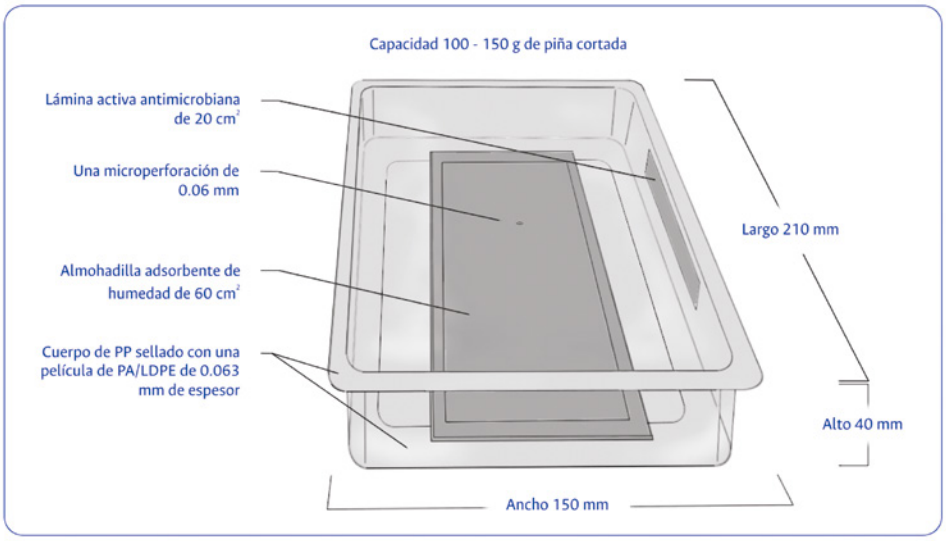


Figura 46. Diagrama del sistema de empaque propuesto para piña MD2 fresca cortada en cuartos de rodaja

Fuente: elaboración propia.

Condiciones de almacenamiento recomendadas
Se recomienda el almacenamiento a temperaturas entre 6 y 8 °C, con 75 % de humedad relativa.
Vida útil estimada
Empleando el empaque propuesto, se estima una vida útil de 14-15 días para el producto empacado.
Referencias

Basaglia, R. R., Pizato, S., Santiago, N. G., Maciel de Almeida, M. M., Pinedo, R. A., y Cortez-Vega, W. R. (2021). Effect of edible chitosan and cinnamon essential oil coatings on the shelf life of minimally processed pineapple (Smooth cayenne). *Food Bioscience*, *41*. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100966

Cerrato, I. (2013). *Parámetros de comercialización de la piña MD2 en los principales mercados hondureños*. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional de Desarrollo Agro-Alimentario.

Dane. (2016). Principales características del cultivo de Piña (*Ananas comosus* L.). *Boletín Mensual. Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, *54*, 1-99. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_dic_2016.pdf

Escuela de Ingeniería Química (EIA). (2021) *Ficha técnica de piña mínimamente procesada*. Universidad del Valle.

Lima, P. C. C., Calvo, P., Souza, P. S., Vilas Boas, B. M. y Souza, B. S. (2020). Temperature and packing influence in storage of minimally processed pineapple and papaya. *Acta Horticulturae*, *1278*, 45–52. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1278.7

Lu, X. H., Sun, D. Q., Wu, Q. S., Liu, S. H., y Sun, G. M. (2014). Physico-chemical properties, antioxidant activity and mineral contents of pineapple genotypes grown in China. *Molecules*, *19*(6), 8518-8532. https://doi.org/10.3390/molecules19068518

Mercado-Ruiz, J., Tortoledo-Ortiz, O., García-Robles, J., Báez-Sañudo, R., García-Moreno, B., Ávila-Prado, J., Corella-Salazar, D., Cruz-Feliz, M., Velásquez-Jiménez, D., y Zuñiga-Martinez, B. (2019). Calidad comercial de piña MD2 (*Ananas comosus* L.) tratada en postcosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*.

3. PIÑA MD2 PROCESADA COMO *SNACKS*

3.1 Diseño e implementación de procesos agroindustriales

La piña (*Ananas comosus*) pertenece a la familia Bromeliaceae, género *Ananas*, es originaria de Brasil y Paraguay y se consume en todo el mundo (Olmos, 2015). Es la tercera fruta tropical más importante comercialmente (Simmonds y Preedy, 2015). El 25 % de la producción mundial de bananas y frutas tropicales (mango, piña, papaya y aguacate) es originario de América Latina y el Caribe. Entre el año 2016 y 2018, esta región aportó el 75 % de exportaciones a nivel mundial y aproximadamente el 80 % fue destinado a mercados de los Estados Unidos y la Unión Europea (FAO, 2019). Para Colombia, en el año 2016, el departamento del Valle del Cauca reportó el 18 % de la producción de piña, su comercialización se realizó principalmente en fresco y tan solo un 2 % se destinó a exportación (Minagricultura, 2017).

Debido al rápido deterioro de las frutas, al cambio climático, a los tiempos de cosecha y a las pérdidas poscosecha se han implementado tecnologías de conservación, entre estas destacan las que disminuyen la tasa de respiración y transpiración de la fruta, las que funcionan como protectoras contra agentes patógenos y las que mantienen condiciones óptimas de manipulación en el transporte. Además, se encuentran las que ayudan a prolongar la vida útil y a mantener en lo posible su composición nutricional, transformando las características físicas de la fruta. Es importante el desarrollo de nuevos productos que permitan ofrecer alternativas para la industrialización y tecnificación de esta fruta y una forma de generar valor agregado es mediante la transformación de la fruta en un producto tipo pasaboca (denominado *snack*).

Los *snacks* de frutas deshidratadas presentan un mercado en expansión; se pronostica un incremento en el consumo global de frutas deshidratadas para el 2020 en adelante, al relacionarse con las tendencias saludables y productos listos para comer, que se traduce en la practicidad de los productos tipo *snacks* tradicionales consumidos entre comidas. Estos productos cada vez adquieren mayor aceptación debido a los cambios en el estilo de vida y a la utilización de tiempo, tanto para comer en restaurantes, como para cocinar. Por ejemplo, Estados Unidos ha sido catalogado como uno de los mayores consumidores de *snacks* el mundo. En el año 2010 quedaron registradas ventas por 64.000.000.000 aproximadamente, que seguirán creciendo (Cepeda y Castellanos, 2017).

Los productos tipo *snacks* se pueden elaborar mediante tecnologías de deshidratación, como el secado con bandejas, la liofilización, el secado por microondas, la radiación infrarroja o la deshidratación en ventana de refractancia, entre otras (Rosero Chamorro, 2018).

La deshidratación por ventana de refractancia (VR) fue seleccionada como parte del proceso de elaboración de los *snacks* de piña MD2, principalmente por el menor impacto al ambiente (menores emisiones de calor), tiempo de proceso más corto, con relación a otros sistemas de secado. Otra ventaja de la VR es que el mantenimiento de los equipos es menos costoso al compararlo con la liofilización. Por VR se puede deshidratar el producto hasta un contenido de humedad intermedio.

Para continuar con el tratamiento de deshidratación la VR se puede realizar para deshidratar inicialmente hasta un contenido de humedad intermedio y luego aplicar el proceso de fritura con aire caliente en movimiento, *air fryer* (AF) para otorgar al producto final, *snacks* de piña, mejores propiedades sensoriales de textura y color. La fritura con aire caliente en movimiento (AF) es una novedosa técnica con la que se obtienen productos alimenticios fritos, usando mínima cantidad de aceite para obtener un producto deshidratado listo para consumir (Shaker, 2015). La operación se puede realizar con y sin aceite.

El propósito de esta investigación es el desarrollo de un proceso de transformación de piña (*Ananas comosus*, variedad MD2) para obtener un producto tipo *snacks* que conserve las propiedades nutricionales y organolépticas características de la materia prima, cumpliendo con los requisitos de calidad microbiológicos y fisicoquímicos exigidos por la normatividad del mercado objetivo.

Justificación

La transformación de la piña MD2 en *snacks* permite el aprovechamiento agroindustrial de la fruta para encontrar un mercado nacional o internacional. La piña se someterá a un proceso que combina 2 tecnologías: la primera es la deshidratación por ventana de refractancia (VR) y la segunda es la fritura con aire caliente en movimiento *air fryer* (AF). La AF tiene al interior de la cámara de secado un ventilador para mover el aire dentro de la cámara a alta temperatura (entre 100 y 180 °C) por tiempos hasta de 30 min. El aire caliente en movimiento en contacto con los trozos de piña (*snacks*) cubiertos superficialmente con aceite o sin él, los deshidrata hasta contenidos de humedad (b. h.) de alrededor del 2 %.

El secado por VR, además de otras ventajas expresadas antes, permite también conservar en alta proporción las características organolépticas de la piña fresca, una razón más por la cual el proceso fue seleccionado. Esta tecnología ha sido aplicada a diferentes frutas, logrando conservar las características de calidad del alimento y, además, en un tiempo de procesamiento más rápido que en otros métodos (Franco *et al.*, 2019; Gamboa *et al.*, 2014; Nindo y Tang, 2007; Raghavi *et al.*, 2018; Shende y Datta, 2019). En la búsqueda bibliográfica de VR y de AF no se han reportado estas 2 operaciones combinadas en la elaboración de ningún tipo de producto.

Con esta propuesta se pretende evaluar la operación de deshidratación por VR y AF, de trozos de piña MD2 cubiertos superficialmente con aceite o sin él, para obtener un producto tipo *snacks* de piña.

3.1.1 Primera parte: determinación de las condiciones de deshidratación por el proceso de ventana de refractancia (VR) previo al proceso de fritura con aire caliente en movimiento (AF)

3.1.2.1 Objetivos

Objetivo general

- Determinar las condiciones de los procesos combinados de ventana de refractancia (VR) y fritura con aire caliente en movimiento (AF) sobre la calidad fisicoquímica y sensorial de *snacks* de piña MD2.

Objetivos específicos

- Determinar los efectos de la temperatura de secado por ventana de refractancia (VR) y el nivel de humedad de láminas de piña MD2 sobre algunas propiedades fisicoquímicas (color, a_w, textura y vitamina C) de los *snacks* de piña deshidratados con aire caliente en movimiento.
- Establecer la aceptación de los *snacks* de piña MD2 deshidratados con aire caliente en movimiento mediante una prueba sensorial de consumo.

3.1.2.2 Metodología

En este proyecto, para el desarrollo de *snacks* de piña MD2 se utilizaron en el proceso 2 equipos principales para la deshidratación, un equipo de ventana de refractancia (hs-50/serie 002), marca CEI Robots, con capacidad de 400 g por tanda, que realiza el proceso de deshidratación inicial en los trozos de piña fresca hasta un contenido de humedad intermedio y otro equipo de fritura con aire caliente en movimiento, Easy fry classic EZ201D, marca Imusa, con capacidad de 4,2 L y potencia de 1400 W, en el que se obtiene los *snacks* de piña MD2.

Se seleccionaron piñas de variedad MD2 provenientes de Jamundí, Valle del Cauca, entre estado de maduración entre 1/2 y 3/4, con alrededor de 15 °Bx. Las piñas se lavaron con agua potable y se desinfectaron sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio (0,1 ml/L de agua) durante 10 min. Las piñas se pelaron, se cortaron en rodajas usando una mandolina calibrada con 4 ± 0,5 mm de espesor, a las tajadas se les retiró el corazón (parte central del fruto) con un sacabocados de 21,9 ± 0,05 mm de diámetro, en acero inoxidable. Las tajadas se cortaron en 8 partes triangulares.

La impregnación de los trozos de piña MD2 se realizó con cloruro de calcio ($CaCl_2$) (polvo anhidrido, M: 110,98 g/mol) con una concentración de 0,15 % por 20 minutos, sin agitación, con una relación m/v, relación másica piña/solución de 1/4, es decir, por cada 400 ml de solución se utilizaron 100 gramos de piña (Lima *et al.*, 2016a).

Las muestras de piña MD2 se deshidrataron por VR hasta obtener trozos de piña con alrededor de 25, 35 y 45 % de contenido de humedad (b. h.) a temperaturas de 70, 80 y 90°C. Después de cada tratamiento las muestras se introdujeron en un desecador por separado.

Para iniciar con el proceso de fritura con aire caliente se calentó el equipo a 100°C por 10 min; luego, se realizaron ensayos por un tiempo entre 20 y 30 min. El equipo se cargó con 30 trozos de piña MD2 previamente guardada en el desecador (un trozo de piña pesa 4 a 5 g). Para las muestras con 25, 35 y 45 % de humedad (b. h.) de cada una de las temperaturas, se realizó la fritura con aire caliente en movimiento (AF) hasta obtener *snacks* de piña con aproximadamente 1 % de humedad final (b. h.).

Para encontrar el tiempo en el cual las muestras obtienen contenido de humedad intermedio (25, 35 y 45 %) se realizaron pruebas preliminares de cinéticas de secado por triplicado a 70, 80 y 90 °C. Se tomaron muestras por triplicado cada 10 min, durante 120 min para determinar el contenido de humedad (g agua /g materia seca). Con los datos obtenidos se realizó una modelación matemática de los resultados de las cinéticas o curvas de secado.

Los datos obtenidos experimentalmente en las curvas de secado fueron modelados con el *software* Matlab R2018b con 4 diferentes modelos matemáticos (ecuaciones 1 a 4, ver tabla 47), en el modelamiento se obtuvieron diferentes parámetros de verificación para conocer cuál se ajusta mejor. Se verificaron los modelos de Page, Newton, Wang y Singh, y Midilli.

Tabla 47. Modelos matemáticos seleccionados para el secado por VR de muestras de piña MD2

Nombre del Modelo	Expresión	
Newton	$MR=exp(-kt)$	(1)
Page	$MR=exp(-kt^n)$	(2)
Wang y Singh	$MR=0,6325+at+bt^2$	(3)
Midilli	$MR= a^*exp\ (-kt^n)+ bt$	(4)

Fuente: elaboración propia con base en Michalewicz *et al.* (2011) y Zhang *et al.* (2017).

Donde:

k: constantes de secado.
a: coeficiente de ajuste.
b: coeficiente de ajuste.
n: coeficiente de ajuste.

Los parámetros constantes a, b, k y n presentados anteriormente, asociados a los modelos utilizados, se estimaron por medio de una regresión no lineal entre t y MR con asistencia del *software* Matlab R2018b, con el objetivo de seleccionar el mejor ajuste y perfeccionar el análisis de los valores experimentales. *MR* corresponde a la relación adimensional de humedad (ecuación 5).

$$MR = \frac{(Xt - Xe)}{(Xo - Xe)} \quad (5)$$

Donde *Xt* es el contenido de humedad del producto en el tiempo *t*, *Xo* es el contenido de humedad inicial del producto y *Xe* es el contenido de humedad de equilibrio. En VR el valor de *Xe* se puede determinar experimentalmente (secar las muestras hasta peso constante) o simplificar la expresión de la ecuación 5 que se reduce a la ecuación 6, debido a que en este método no se controla la humedad relativa del aire que está en contacto con las muestras (Ocoró y Ayala, 2012).

$$MR = \frac{(Xt)}{(Xo)} \quad (6)$$

Para evaluar cuantitativamente los datos experimentales y obtener el modelo matemático con mejor ajuste, se emplearon parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), el error porcentual ((%) *E*) y el estadístico chi-cuadrado (x^2) (Michalewicz *et al.*, 2011).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{pre,t} - MR_{exp,t})^2}{\sum_{i=1}^{N}(MR_{pre} - MR_{pre,t})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \left(\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{pre,t} - MR_{exp,t})^2\right)^{1/2} \quad (8)$$

MR_{pre}: relación adimensional del contenido de humedad previsto.
MR_{exp}: relación adimensional del contenido de humedad experimental.
N: número de observaciones.

$$(\%)E = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|X_e - X_p|}{X_e} \quad (9)$$

$$x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \quad (10)$$

X_e: valor experimental.
X_p: valor predicho de cada modelo.
N: número de observaciones.
z: número de parámetros o coeficientes del modelo.

MR_{pre}: relación adimensional del contenido de humedad previsto.
MR_{exp}: relación adimensional del contenido de humedad experimental.

Metodología para la determinación de las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y el panel sensorial

Para la implementación del secado final de los trozos de piña se utilizó un sistema de fritura con aire caliente en movimiento (*air fryer*), se realizaron cinéticas con el fin de predecir los tiempos en los que se puede obtener un contenido de humedad de alrededor de 1 %. Se incluyen los resultados y el respectivo análisis de la evaluación de propiedades fisicoquímicas como contenido de humedad, actividad de agua, color y textura.

Cinéticas de secado

El objetivo fue obtener las cinéticas de secado a partir del sistema de aire caliente en movimiento (AF) de trozos de piña MD2 con y sin aceite, con el fin de hallar los tiempos de tratamiento para obtener un producto seco (CH) b. h. de 1 %.

Se realizaron cinéticas de secado por usando el equipo AF a 100°C, para las muestras con contenidos de humedad (b. h.) de 25, 35 y 45 %.

El contenido de humedad (% b. h.) del proceso de AF se determinó cada 3 min. Se tomaron 3 muestras de cada ensayo usando cajas de aluminio (previamente pesadas). Los pesos de las cajas más el trozo de piña se pesaron en una balanza analítica (Mettler Toledo, precisión 0,0001 gr) y se sometieron al método de la estufa (aire convectivo a 60 °C por 24 horas). Terminado este proceso las cajas fueron pesadas nuevamente.

Este procedimiento se realizó 8 veces hasta completar 24 min, para cada uno de los ensayos con humedad de 25, 35 y 45 (% b. h.) de cada una de las temperaturas (70, 80 y 90 °C). Los resultados fueron expresados en base húmeda (kg de agua/kg de masa total) y graficados en CH (% b. h.) para las temperaturas de 70, 80 y 90°C aplicadas en el presecado por ventana de refractancia (ver figuras 48, 49 y 50).

Contenido de humedad

Se determinó el contenido de humedad (% b. h.) de los productos *snacks* de piña MD2 obtenidos por VR y AF.

El contenido de humedad se determinó por la diferencia de pesos antes y después del secado (balanza digital de 0,0001 g de precisión, Precisa, serie 321 modelo LX 120, Suiza) de *snacks* de piña en una estufa de secado (Thermo Scientific, Heratherm OGS60, Germany) a 60°C durante 24 h. La medición del contenido de humedad se realizó a 3 *snacks* por cada tratamiento de VR + AF, a su vez se realizó el triplicado de cada tratamiento por temperaturas (70, 80 y 90°C) para un total de 27 mediciones por temperatura y 81 mediciones por todo el experimento.

Actividad de agua

Se determinó la actividad de agua (*aw*) de *snacks* de piña MD2 resultado de los procesos combinados de VR + AF.

Los valores de actividad de agua (*aw*) de los *snacks* de piña MD2, fueron medidos a temperatura ambiente mediante un equipo conocido como Decagón, AquaLab CX-1, USA con una sensibilidad de 0,001. Las determinaciones de (*aw*) se realizaron a 3 *snacks* de piña MD2 por cada uno de los experimentos de VR+AF, teniendo en cuenta que el proceso de VR se realizó a CH % (b. h.) 25, 35, 45 y temperaturas de 70, 80 y 90°C. Cada temperatura se hizo por triplicado, para un total de 81 mediciones.

Color

Se determinó el color de los *snacks* de piña MD2 obtenidos con 1 % de contenido de humedad (b. h.) por el método de VR y AF.

Los tratamientos por VR y AF se realizaron por triplicado para cada una de las temperaturas (70, 80 y 90°C) con cada una de las humedades deseadas (25, 35 y 45 % b. h.). Se escogieron 3 *snacks* de forma aleatoria provenientes de la VR por cada uno de los tratamientos. Se les realizó la medición de color por triplicado. Para la determinación del color a diferentes tiempos, se utilizó un Colorímetro (HunterLab, ColorFlex, USA). En total se realizaron 9 mediciones por temperatura y humedad, para un total de 81 mediciones en todo el experimento.

Textura

Se midió el efecto del proceso combinado de VR y AF sobre la textura de los *snacks* de piña MD2 con 1 % de humedad (b. h).

Se determinó la fuerza de ruptura de los *snacks* de piña. Se empleó un texturómetro (Shimadzu Ez Test, Modelo: SM-500N-168), con la prueba de flexión. Con una carga de 100 N, en un soporte móvil con apoyo en 2 puntos y 1 punzón cilíndrico con base plana. El punzón realizó el recorrido entre los 2 soportes a una velocidad de 50 mm/min, flexionando cada muestra hasta que esta se fraccionaba (ver figura 53). Se reportó el valor más alto de dureza (N), este fue el valor en el que la muestra se fraccionaba (Cortellino *et al.*, 2011).

Al igual que en las pruebas fisicoquímicas anteriores, la textura se midió a 3 *snacks* de piña MD2 por cada uno de los tratamientos de VR + AF, teniendo en cuenta que se realizó triplicado por cada temperatura (70, 80 y 90°C) en el proceso de deshidratación por VR. En total se realizaron 9 mediciones por temperatura y humedad, para un total de 81 mediciones en todo el experimento.

Vitamina C

El objetivo fue determinar el contenido de vitamina C en los *snacks* de piña variedad MD2 producto de los procesos combinados de VR + AF.

El contenido de vitamina C se determinó por reflectometría, esta es una técnica basada en la interacción entre la materia y la luz (Poveda Núñez, 2014). Se utilizó un refractómetro digital (Rqflex 10 Merck; Reflectoquant, EDM Millipore Corp., Darmstadt, Germany). Diluyendo 1g de muestra en 10 ml de agua destilada. El resultado se expresó como ml de ácido ascórbico por cada 100 g de muestra. El análisis se realizó por triplicado para cada muestra (Domínguez *et al.*, 2016). Se realizó la determinación de vitamina C a la piña fresca y a las muestras al final del proceso de VR y AF.

$$\frac{mg\ de\ ácido\ ascorbico}{100\ g\ muestra} = \frac{Lectura*volumen\ H_2O\ destilada}{10*Peso\ de\ la\ muestra}$$

Ecuación 1. Determinación vitamina C

Análisis sensorial

El objetivo de realizar un análisis sensorial de los *snacks* de piña MD2 obtenidos por deshidratación por VR y AF fue determinar cuál producto tiene más aceptación entre los consumidores.

Obtención y presentación de las muestras

Se evaluaron 2 productos. El primer producto (codificación 9087) fue el producto tipo *snacks* de piña MD2 que se elaboró por el proceso combinado de VR (90°C-25 %) y AF (100°C). El segundo producto (codificación 4356) fue el tratamiento control, al cual se le realizó el procedimiento únicamente de secado en VR (90°C). Se empacaron y se codificaron ambos productos en bolsas resellables individuales pequeñas, para ser analizadas por los consumidores. Se tuvo en cuenta que las 2 muestras tuvieran la oportunidad de ocupar el primer lugar el mismo número de veces para evitar el error por ordenamiento (Ramirez Navas *et al.*, 2014).

Locación y personal

Se realizaron pruebas orientadas al consumidor, una prueba de aceptación o hedónica y de preferencia. Se llevaron a cabo en el mes de febrero de 2020 en las instalaciones de la Universidad del Valle, sede Meléndez. Se evaluaron las preferencias y aceptación de 100 panelistas no entrenados, en diferentes rangos de edad (15-17, 18-25, 26-40 y 41+), de sexo masculino y femenino.

Prueba de aceptación: prueba hedónica de 7 puntos

Se aplicó una encuesta de estudio hedónico con una evaluación de 7 puntos (ver figura 47), en la que 1equivalía a “me disgusta mucho” y 7 a “me gusta mucho”. Los atributos que se evaluaron fueron: color, olor, sabor y textura. Los panelistas calificaron los atributos del 1 al 7, por la aceptación que percibieron de cada uno de los productos.

Género		Rango edad	15-17	18-25	26-40	40+

Producto: "Snack" o pasaboca.

INSTRUCCIONES

Frente a usted se presentan dos muestras de pasaboca de piña. Por favor, observe y pruebe cada una de ellas. Indique el grado en que le gusta o le disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo a la categoría presentada en la tabla 1. Luego escriba, en la tabla 2, el **puntaje** de categoría que eligió para el atributo correspondiente. **Antes de pasar a degustar una muestra, por favor tome agua para evitar sabores residuales de la muestra anterior.**

Tabla 1. Puntaje según la categoría.

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Me disgusta mucho	5	Me gusta levemente
2	Me disgusta	6	Me gusta
3	Me disgusta levemente	7	Me gusta mucho
4	No me gusta ni me disgusta		

Tabla 2. Respuestas

Código	Color	Olor	Textura	Sabor
4356				
9087				

Figura 47. Encuesta para prueba hedónica de 7 puntos utilizada para evaluar atributos sensoriales de *snacks* de piña

Fuente: elaboración propia.

Prueba de preferencia

En la misma encuesta se realizó una pregunta abierta para que los consumidores indicaran cuál de las 2 muestras preferían. Igualmente, se les preguntó por qué prefirieron esta muestra. En la figura 48 se encuentra la segunda parte de la encuesta.

¿Cuál de las dos muestras prefiere y por qué? _____

_____

¿Por qué no prefiere la otra muestra? _____

_____

¿Percibe un sabor residual? _____

Observaciones: _____

Figura 48. Encuesta para prueba de preferencia y preguntas abiertas

Fuente: elaboración propia.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el *software* Minitab 19. Se llevó a cabo un análisis de varianza anova para encontrar diferencias entre las muestras. Posteriormente, se utilizó el método de Tukey con un nivel de confianza del 95 % para realizar las comparaciones múltiples entre los factores del diseño experimental.

3.1.2.3 Resultados y discusión

Cinéticas de secado

La figura 49 presenta los datos obtenidos de las cinéticas de secado por VR a 70, 80 y 90 °C realizadas a las muestras de piña de 4 mm de espesor impregnadas con calcio. Se observa que en las 3 temperaturas hay un comportamiento similar, el contenido de humedad tiende a disminuir a medida que aumenta el tiempo. Lo que coincide con lo encontrado por García Pereira *et al.*, (2013). Se evidencia que la velocidad de secado fue mayor en la primera hora del proceso. Posteriormente, la fruta comienza a experimentar una tendencia a mantener su peso, poco variable. La disminución de la velocidad de secado se relaciona con la contracción del material, debido a que con el avance del proceso de secado se deforma la matriz vegetal. Hay cambios de volumen, de composición y estructura del alimento, estos cambios crean resistencia al movimiento de la humedad interna ocasionando el decrecimiento de la velocidad de secado (Nicoleti *et al.*, 2001; Ochoa-Martínez *et al.*, 2012).

El aumento de la temperatura conduce a tiempos de secado más bajos (Nicoleti *et al.*, 2001) por consiguiente, el secado a 90 °C requirió aproximadamente 58 % del tiempo necesario para alcanzar el mismo contenido de humedad cuando se secó a 70 °C. El contenido de humedad promedio a 70 °C, 80 °C y 90 °C en 80 minutos de secado fue de 0,976 ± 0,129, 0,325 ± 0,080 y 0,113 ± 0,023 g agua/g sólido seco, respectivamente. A los 120 minutos el contenido de humedad promedio fue de 0,220 ± 0,020, 0,063 ± 0,009, 0,027 ± 0,006 g agua/g sólido seco a a 70°C, 80 °C y 90 °C, respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza (tabla 48) mostraron que hay diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la temperatura y el tiempo. También se evidenció una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre la interacción del tiempo de secado respecto a la temperatura, ya que para 120 min la humedad (b. h.) de las muestras tratadas a 70, 80 y 90 °C se redujo aproximadamente un 80, 93 y 97, respectivamente.

Tabla 48. Anova para contenido de humedad (b. s.) de muestras de piña MD2

Fuente	Valor p
Temperatura	0,000
Tiempo	0,000
Temperatura*Tiempo	0,000

Fuente: elaboración propia.

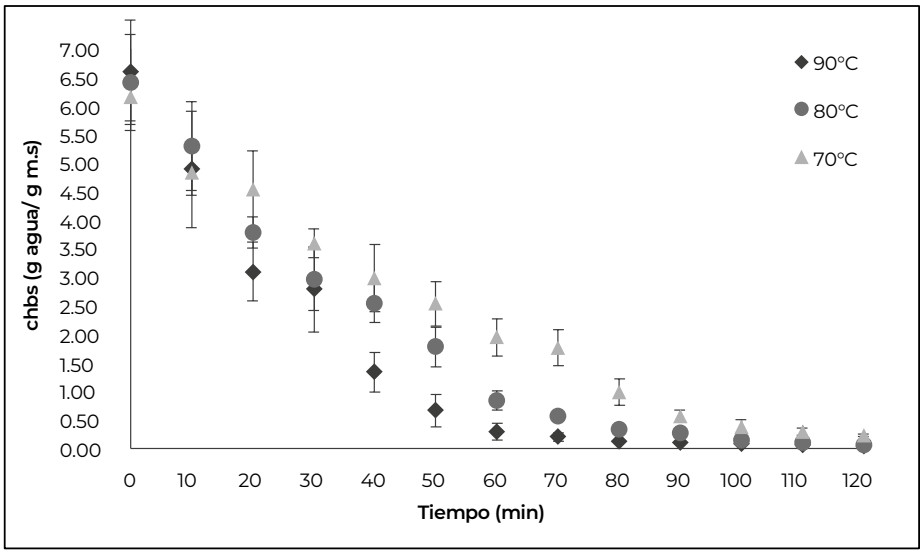


Figura 49. Cinéticas de secado de muestras de piña MD2 mediante VR a 3 temperaturas (70 °C, 80 °C y 90 °C)

Fuente: elaboración propia.

Modelamiento matemático

Los datos obtenidos de las cinéticas de secado a 70, 80 y 90 °C realizadas a muestras de piña de 4 mm de espesor fueron modelados con el *software* Matlab R2018b, los modelos matemáticos empleados fueron Page, Newton, Singh y Wang, y Midilli.

Para evaluar cuantitativamente los datos experimentales y obtener el modelo matemático con mejor ajuste, se emplearon parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación (R^2), la raíz del error cuadrático medio (RMSE), error porcentual (E %) y chi-cuadrado (x^2) (Michalewicz *et al.*, 2011). Valores de R^2 cercanos a 1, de RMSE inferiores a 0,06 o cercanos a 0, de E % inferiores 0,5 representan un buen ajuste para el modelo. De igual forma los valores de chi cuadrado (x^2) toman el menor valor (0) cuando coinciden los valores experimentales y los valores predichos, es decir, que entre menor el valor de x^2 mejor es el ajuste del modelo matemático (Michalewicz *et al.*, 2011). Los parámetros de ajuste hallados se encuentran consignados en la tabla 49.

Tabla 49. Parámetros estadísticos obtenidos del modelamiento matemático de cinéticas de secado de muestras de piña MD2

Modelo	Parámetros	Temperatura (°C)		
		70	80	90
Newton	R2	0,9739	0,9807	0,9820
	E (%)	0,4471	0,8040	0,8453
	RMSE	0,0492	0,0445	0,0421
	x^2	4,E-04	6,E-04	7,E-04

Modelo	Parámetros	Temperatura (°C)		
		70	80	90
Page	R2	0,9849	0,9928	0,9906
	E (%)	0,2382	0,2124	0,2804
	RMSE	0,0374	0,0272	0,0305
	x^2	9,E-04	2,E-04	9,E-05
Wang y Singh	R2	0,8073	0,8122	0,8347
	E (%)	0,5123	0,9904	0,8537
	RMSE	0,1336	0,1890	0,1276
	x^2	4,E-02	8,E-02	3,E-02
Midilli	R2	0,9918	0,9934	0,9907
	E (%)	0,1896	0,1561	0,4313
	RMSE	0,0276	0,0256	0,0303
	x^2	7,E-08	3,E-05	6,E-06

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 49, se observa que el modelo que mejor se ajustó a todas las cinéticas de secado fue Midilli porque presentó los valores más altos de R^2, los cuales están entre 0,9900-1,000, los valores más bajos de RMSE que oscilaron entre 0,0256 -0,0303, los valores de E % menores a 0,5 y los valores de x^2 fueron menores a 3E-05. Investigadores han descubierto que el modelo de Midilli caracterizó con precisión el comportamiento de secado de diferentes alimentos (Kucuk *et al.*, 2014; Ocoró y Ayala, 2012) Además, Onwude *et al.* (2016) mencionan que el mejor modelo que se ajusta a secado de piña es también Midilli.

Los parámetros constantes a, b, k y n presentados en la tabla 50 asociados al modelo utilizado, se estimaron por medio de una regresión no lineal entre tiempo y MR.

Tabla 50. Constantes del modelo de Midilli obtenidos de la modelación matemática de cinéticas de secado de muestras de piña MD2

Modelo	Parámetros	Temperatura (°C)		
		70	80	90
Midilli	a	0,9841	0,9960	0,9920
	k	0,9235	1,7230	2,5850
	n	1,0150	1,2140	1,2460
	b	–0,0748	–0,0113	–0,0021

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, se observó que los parámetros k, n y b incrementaron con el aumento de la temperatura, lo cual muestra que la variable de proceso tiene influencia en dichos valores, como mencionan Ocoró y Ayala (2012) para el parámetro k.

Sustituyendo los parámetros de la tabla 50 y la relación de humedad (MR) en la ecuación 4 de la tabla 47 , con ayuda de la función Solver del *software* Excel® 2016, se encontró el tiempo

en el que las muestras se encuentran a los contenidos de humedad planteados en el diseño experimental (ver tabla 51).

Tabla 51. Tiempo de secado de muestras de piña MD2 a diferentes temperaturas en VR para alcanzar la humedad intermedia deseada

Contenido de humedad intermedio (%)	70°C	80°C	90°C
	Tiempo (min)		
45	90	67	50
35	99	77	57
25	107	86	66

Fuente: elaboración propia.

En las figuras 50, 51 y 52 se puede observar que a medida que transcurre el tiempo de fritura con aire caliente el %CH (b. h.) disminuye para cada una de los % de humedad 25, 35 y 45 (b. h.) que tenían inicialmente los trozos de piña, debido al secado por VR.

En la figura 50 se puede apreciar que los trozos de piña que se encuentran en la humedad intermedia inicial alrededor de 45 % (b. h.) pierden su humedad significativamente a los 3 min; luego, se mantiene disminuyendo de forma constante hasta alcanzar aproximadamente el 1 % de CH (b. h.) entre los 21 y 24 min, con 1,79 y 1,41 %, respectivamente. Los trozos de piña con humedad inicial cerca de 35 % alcanzaron el 1,2 % de humedad (b. h.) a los 18 min y para los que tenían humedad inicial alrededor de 25 % (b. h.), a los 15 min quedaron con alrededor de 1 % de contenido de humedad (b. h.). Esto ocurre porque durante la fritura por aire caliente los alimentos se calientan en un sistema cerrado en el que se aplica la transferencia de calor por convección forzada. El aire caliente se mueve alrededor del alimento provocando que este pierda en un principio y de manera rápida el agua superficial, como se puede observar en las figuras 50, 51 y 52, de los 0 a los 3 min (Abd Rahman *et al.*, 2017).

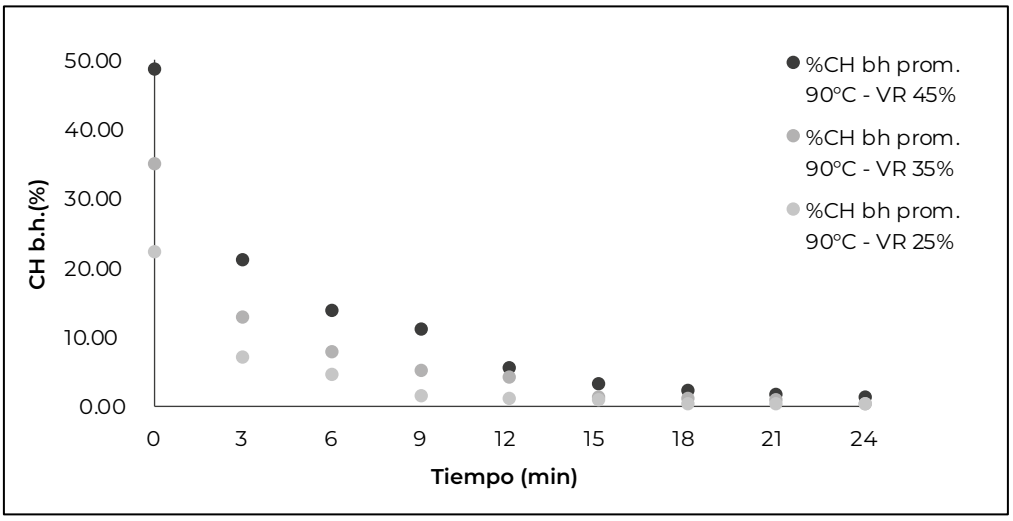


Figura 50. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 secados en VR a 90°C, en AF a 100°C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 51 se observa la cinética de secado de trozos de piña que fueron previamente secados en VR a 80°C. De los trozos de piña con humedad inicial cerca del 45 % alcanzaron el 1 % de humedad entre 21 y 24 min, para los trozos que tenían humedad inicial alrededor de 35 %, también ocurrió entre los tiempos de 21 a 24 min, y para los que tenían humedad de 25 % fue entre 15 y 18 min.

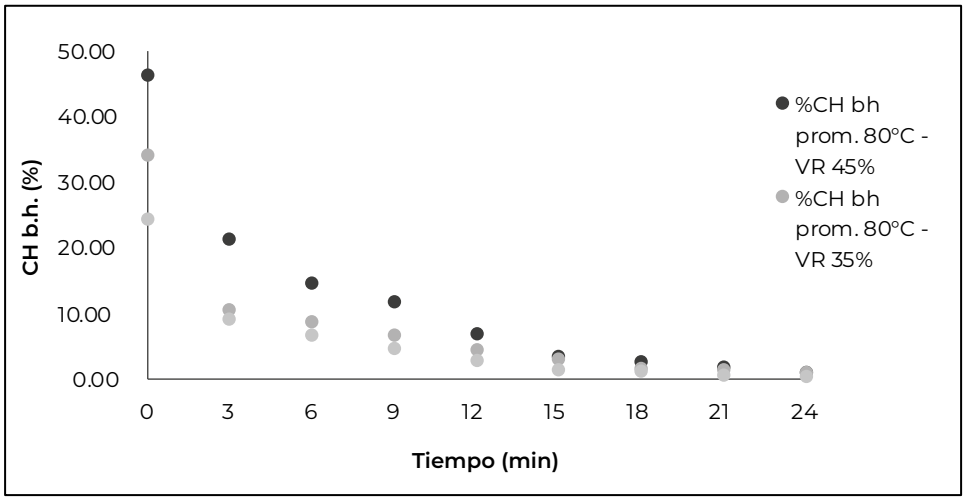


Figura 51. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 secados en VR a 80°C, en AF a 100°C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 52 se ilustra la cinética de secado de trozos de piña que fueron previamente secados en VR a 70°C. Al igual que en las figuras anteriores, hay una disminución significativa de contenido de humedad desde los 0 a los 3 min.

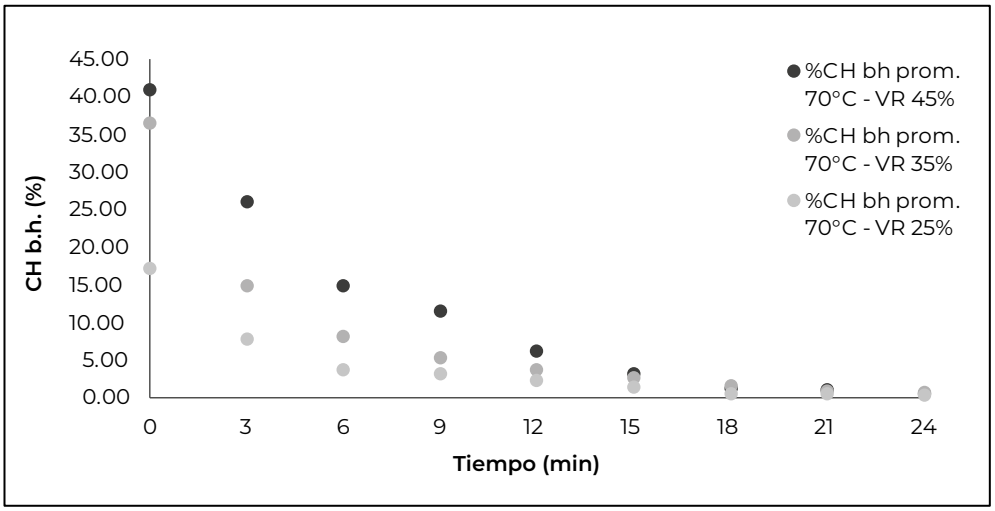


Figura 52. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 secados en VR a 70°C, en AF a 100°C

Fuente: elaboración propia.

Los trozos de piña con aproximadamente 45 % de humedad llegaron a 1,07 % a los 21 min, para los que tenían humedad inicial cerca de 35 %, fue entre los 18 y los 20 min que alcanzaron 1,72 y 0,96 %, respectivamente, y para los que tenían 25 % de humedad inicial ocurrió cerca de los 15 min con 1,46 % CH (b. h.).

Por lo tanto, según los resultados expresados en las figuras, se estimaron los siguientes tiempos para cada % de humedad inicial (ver tabla 52).

Tabla 52. Tiempos de secado en AF para los contenidos de humedad intermedia (% b. h.)

Humedad intermedia(%)	Tiempo de secado en AF (min)
45	23
35	19
25	15

Fuente: elaboración propia.

Contenido de humedad

El contenido de humedad promedio de la piña fresca que se utiliza en la experimentación es de 0,8465 ± 0,0165 (84,65 % b. h.), valor que se compara con lo descrito por Farid *et al.* (2015) quienes reportaron que la piña entre 81,2 % y 86,2 % de humedad, y 13 a 19°Bx.

El análisis de varianza (tabla 53) para el contenido de humedad evidenció que no hay un efecto significativo ($p > 0,05$) de la temperatura de VR y la humedad intermedia sobre el contenido de humedad de los *snacks* de piña.

Tabla 53. Anova para el contenido de humedad (b. h.)

Fuente	Valor p
Temperatura	0,521
Humedad	0,848
Temperatura*Humedad	0,154

Fuente: elaboración propia.

Todas las muestras de cada tratamiento se llevaron a un contenido de humedad promedio de 1 %.

Tabla 54. Datos promedio de CH (b. h.) resultado del efecto de la temperatura de VR y humedad intermedia

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio CH (b. h.)	Desviación
70 °C Ctrl	0,0888	0,0318
80 °C Ctrl	0,0500	0,0129
90 °C Ctrl	0,0415	0,0061

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio CH (b. h.)	Desviación
70 °C 45 %	0,0042	0,0020
35 %	0,0071	0,0032
25 %	0,0076	0,0048
80 °C 45 %	0,0098	0,0077
35 %	0,0083	0,0089
25 %	0,0036	0,0021
90 °C 45 %	0,0097	0,0073
35 %	0,0058	0,0058
25 %	0,0096	0,0081

Fuente: elaboración propia.

Respecto a los tratamientos control se puede observar en la tabla 54 que en VR no se logró obtener un porcentaje de contenido de humedad similar al de los otros tratamientos. El espesor es un factor principal que afecta el contenido de humedad final, se ha encontrado que muestras con 1 y 2 mm de espesor alcanzan 5 % de humedad (b. h.) en 30 min y 60 min, respectivamente. Además, otros investigadores reportaron valores alrededor de 3 % (b. h.) de humedad en alimentos de 2 a 3 mm de espesor (Raghavi *et al.*, 2018; Shende y Datta, 2019).

El equipo de VR es reconocido por el secado de purés de fruta, en el cual hay un proceso de deshidratación rápido, se ha encontrado que se puede secar puré de frambuesa de 92 % de humedad a 4 % en alrededor de 5 min (Raghavi *et al.*, 2018). Sin embargo, el modelamiento de las muestras de piña fresca arrojó que el tiempo de secado para alcanzar 1 % de humedad fue de 2h 26 min, 2 h 18 min y 2 h 11min para 70, 80 y 90°C, respectivamente.

Actividad de agua

La actividad de agua (*aw*) de la piña fresca fue de 0,982 ± 0,004. Este valor se encuentra alrededor del valor encontrado por Pérez-Tinoco *et al.* en piña fresca (0,9±0,03). Gracias al proceso experimental la humedad de los trozos de piña disminuye y se obtienen valores característicos de los *snacks*. Según los resultados del análisis de varianza (ver tabla 55) no hay una diferencia significativa entre los resultados de *aw* ($p > 0,05$), es decir que la temperatura de VR y la humedad intermedia no afectan significativamente la actividad de agua del *snack* de piña obtenido.

Tabla 55. Anova para actividad de agua (*aw*)

Fuente	Valor p
Temperatura	0,166
Humedad	0,714
Temperatura*Humedad	0,992

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 56 se encuentran los promedios del efecto de la temperatura y la humedad intermedia sobre la *aw*, se obtuvieron valores entre 0,1750-0,2286. Sin embargo se evidencia que la *aw* de los tratamientos a 90°C estuvo alrededor de 0,18, y de los tratamientos a 70°C estuvo alrededor de 0,21. Los valores obtenidos para *aw* estuvieron dentro del rango reportado por Pérez-Tinoco *et al.* (2008) en esta investigación se realizaron experimentos de fritura a presión reducida de piña por periodos cortos de tiempo y bajas temperaturas. Obtuvieron "chips" de piña con 4 % de humedad y *aw* por debajo de 0,29. Cortellino *et al.* (2011) obtuvieron aros de piña crujiente por aplicación de un proceso combinado de deshidratación osmótica (50°Bx) y secado con aire caliente (70-80°C). La actividad de agua de este producto estuvo alrededor de 0,16 a 0,27. Los aros de piña *crispy* se caracterizaron por tener la crujencia característica de los *snacks*.

Tabla 56. Datos promedio de actividad de agua (*aw*) y contenido de humedad (% b. h.) resultados del efecto de la temperatura de VR y humedad intermedia

Tratamiento: condiciones de VR	CH (b. h.) (%)	Promedio	Desviación
70 °C Ctrl	8,9	0,2700	0,0176
80 °C Ctrl	5,0	0,1692	0,0108
90 °C Ctrl	4,2	0,1206	0,0086
70 °C 45 %	0,4	0,2286	0,0171
35 %	0,7	0,2079	0,0199
25 %	0,8	0,2064	0,0152
80 °C 45 %	1,0	0,1983	0,0437
35 %	0,8	0,1914	0,0490
25 %	0,4	0,1853	0,0420
90 °C 45 %	1,0	0,1838	0,0369
35 %	0,6	0,1767	0,0187
25 %	1,0	0,1750	0,0345

Fuente: elaboración propia.

Color

En la tabla 57 se encuentran los valores promedio de los parámetros L*, a* y b* de la piña fresca antes de ser sometida a la combinación de tratamientos VR y AF.

Tabla 57. Valores iniciales de los parámetros L*, a* y b* de piña fresca

Promedio	Piña fresca	Desviación
L*	42,12	7,63
a*	3,01	1,67
b*	47,81	5,43

Fuente: elaboración propia.

*Luminosidad L**

La figura 53 muestra la variación de la luminosidad de las muestras de piña MD2 sometidas a los procesos de VR y AF y el control solo por VR. Los valores obtenidos de luminosidad (L*) no se vieron afectados según el análisis de varianza ($p > 0,05$) por la temperatura de VR ni por el contenido de humedad intermedia, pues no hubo diferencias significativas entre los tratamientos durante el secado de la piña (ver tabla 58).

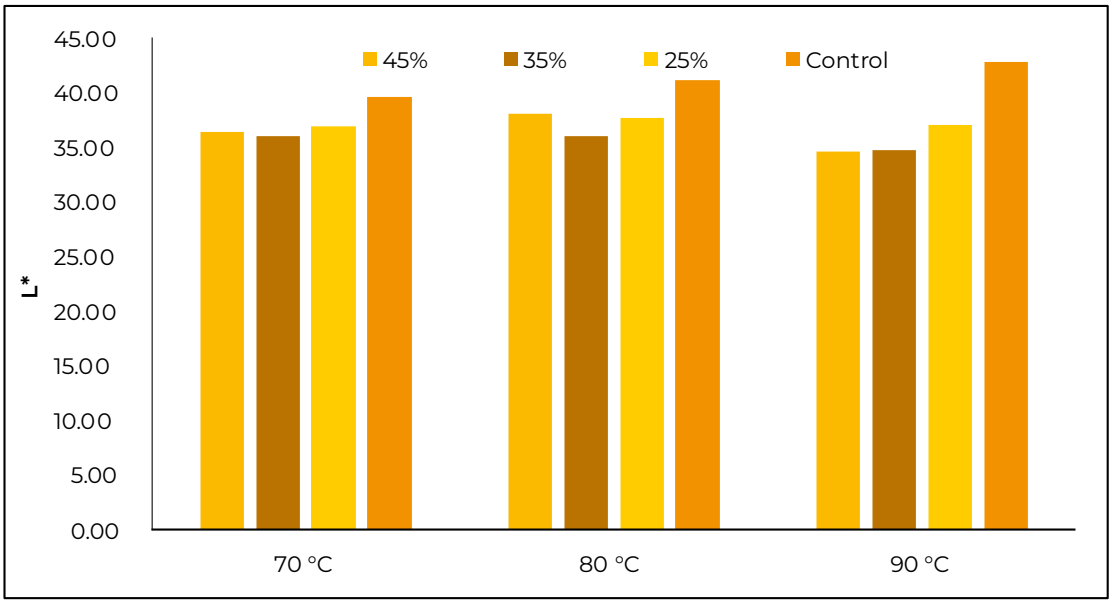


Figura 53. Variación de la luminosidad en muestras de piña MD2 secadas en VR y AF

Fuente: elaboración propia.

Tabla 58. Anova para luminosidad

Fuente	Valor p
Temperatura	0,418
Humedad	0,501
Temperatura*Humedad	0,917

Fuente: elaboración propia.

El anova indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, pero en la tabla 59 se puede observar que existe una leve diferencia entre el promedio del parámetro L* de las muestras control y los tratamientos (VR y AF). Esto se debe a que los controles solo fueron procesados en VR y este proceso afecta poco el color de los *snacks* de piña MD2. Comparando el valor de L* de los controles con los otros tratamientos (VR y AF) se observa que hay un decrecimiento de la luminosidad en parte atribuido a la pérdida de agua, ya que esta hace reflejar la luz y también porque ocurre un oscurecimiento debido a la aplicación de calor en el proceso de AF.

Tabla 59. Datos promedio de L* resultados del efecto de la temperatura de VR y AF humedad intermedia

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio L*	Desviación
70 °C Ctrl	39,61	5,21
80 °C Ctrl	41,06	3,03
90 °C Ctrl	42,70	4,26
70 °C 45 %	36,32	4,16
35 %	35,99	5,05
25 %	36,32	5,80
80 °C 45 %	37,98	3,61
35 %	36,01	5,82
25 %	37,60	4,29
90 °C 45 %	36,32	4,43
35 %	35,99	4,48
25 %	36,93	2,04

Fuente: elaboración propia.

Se observó una dispersión importante de los valores de L* medidos. La luminosidad es un parámetro que disminuye debido a la eliminación de agua e independientemente de la temperatura de secado. El parámetro de la luminosidad es un efecto de los procesos diversos que han sido reportado para muchos productos y por diversos autores, Krokida *et al.*, (1998) citado por Ramallo y Mascheroni (2012, p. 278) durante el secado de manzana, plátano, zanahoria y papa y por Tsami y Katsioti (2000) citado por Ramallo y Mascheroni (2012, p. 278) durante el secado de fresas, etc.

*Parámetro b**

La figura 54 muestra la variación del parámetro b* de las muestras de piña sometidas a los tratamientos de VR y AF, y el control solo por VR.

Los valores de b* estuvieron alrededor de 34, este parámetro no se vio afectado por la temperatura de tratamiento ni el contenido de humedad intermedio, ya que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) (tabla 60). Sin embargo, en la figura 54 y en la tabla 61 se muestra los valores de b*, para el tratamiento control se puede notar que estos son ligeramente más altos que los otros tratamientos, es decir que en las muestras control se conservó más el color amarillo.

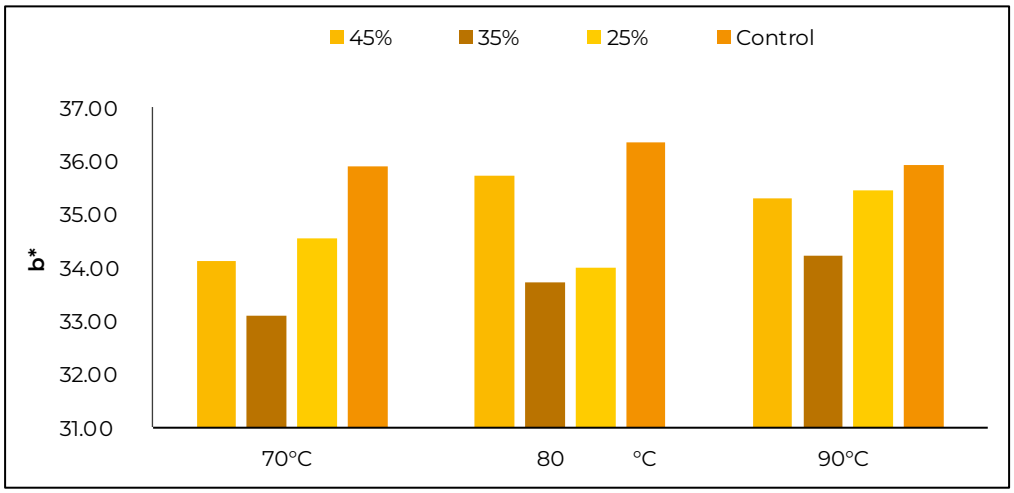


Figura 54. Variación de b* en muestras de piña MD2 secadas en VR y AF

Fuente: elaboración propia.

Tabla 60. Anova para parámetro b*

Fuente	Valor p
Temperatura	0,574
Humedad	0,390
Temperatura*Humedad	0,921

Fuente: elaboración propia.

Tabla 61. Datos promedio de b* resultados del efecto de la temperatura de VR y humedad intermedia

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio b*	Desviación
70 °C Ctrl	35,90	3,73
80 °C Ctrl	36,36	2,10
90 °C Ctrl	35,91	2,75
70 °C 45 %	34,13	2,63
35 %	33,19	2,50
25 %	34,54	3,20
80 °C 45 %	35,73	3,68
35 %	33,72	3,09
25 %	34,01	2,75
90 °C 45 %	35,30	2,40
35 %	34,23	2,46
25 %	35,45	1,48

Fuente: elaboración propia.

El color amarillo (b*) disminuyó durante el proceso de secado con respecto al valor inicial de b*= 47,81 (tabla 62) debido al calor suministrado, como se observa en la tabla 61. Chutintrasri y Noomhorm (2007) enontraron en el secado de puré de piña decrecimiento del parámetro b*, atribuyendo la pérdida del color amarillo a la isomerización de carotenoides debido a las altas temperaturas que aceleraron este proceso.

Tabla 62. Cambios de color de muestras de piña MD2 deshidratadas en VR a 90°C, 25 % de contenido de humedad (b. h.) y 15 min en AF

Imagen	Observación
	Muestras de piña fresca
	Muestras control secadas en VR a 90 °C (2 h 11 min)
	Muestras secadas en VR (90°C, + AF, CH (25 % b. h.) (15 min)

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 62 se evidencia el cambio de color de las muestras de piña tratadas, el sometimiento de las muestras a los procesos de secado condujo a un evidente oscurecimiento de las muestras en comparación a las muestras de piña fresca, esto lo señala la disminución de los parámetros L* y b*.

En otras investigaciones también se ha evidenciado el cambio de color al aplicar altas temperaturas por encima de 55°C. Estudios en frutas como el durazno, la piña, permitieron ver que hubo cambios de color. El cambio de color encontrado en los *snacks* se produjo por oscurecimiento y pérdida del color amarillo; probablemente fue más significativo el cambio cuando se aplicó calor directamente en el proceso de AF, ya que el calor favorece

la degradación de carotenoides y el pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard (Rattanathanalerk *et al.*, 2005).

Textura

En la figura 55 se muestran los valores de dureza de las muestras de piña sometidas a los tratamientos de VR y AF. En este caso la prueba de textura (flexión) para las muestras control (solo VR) no pudo ser realizada ya que en este proceso no se desarrolló la misma textura crujiente de las muestras de la experimentación (VR y AF). El texturómetro no detectó la muestra ya que esta no presentó características de producto crujiente.

La dureza se correlaciona con la fuerza a la compresión máxima registrada durante la primera mordida (Mazumder *et al.*, 2007). La dureza en productos crujientes, como los productos freídos, indica la fragilidad en vez de la dureza en su textura. La fuerza de ruptura fue usada en esta investigación como un indicador de crujencia de los *snacks* de piña MD2. Cuando la fuerza de ruptura o dureza toma valores bajos indica que hay una mayor crujencia (Al Faruq *et al.*, 2019).

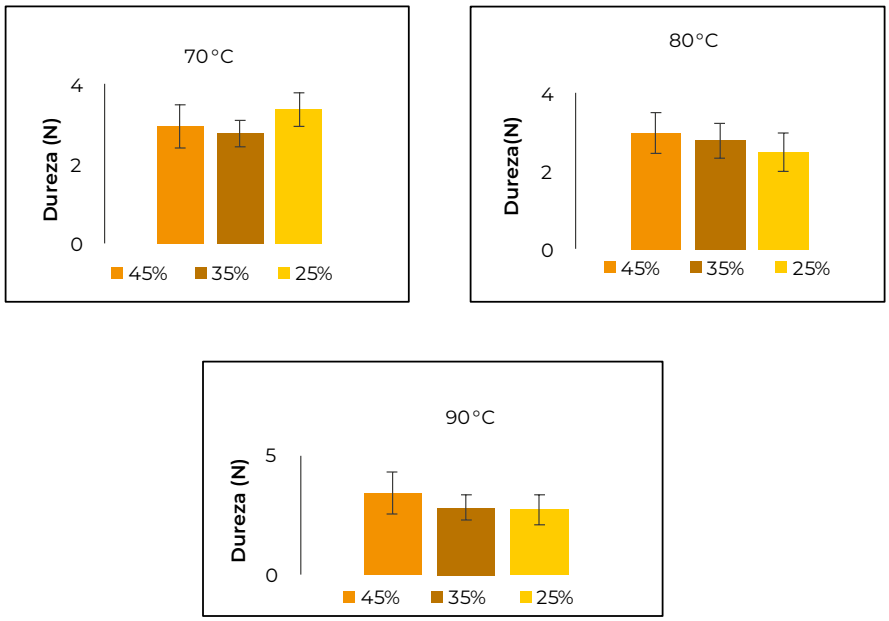


Figura 55. Valores de dureza en muestras de piña secadas por VR y AF (a: 70°C, b: 80°C, c: 90°C)

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 63 se encuentra el análisis de varianza realizado para la textura de las muestras de piña sometidas a diferentes tratamientos. Se evidenció que hay una diferencia significativa ($p < 0,05$) de la textura respecto a la interacción de la temperatura y la humedad. Se encontró que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) respecto a los factores de temperatura y humedad por separado.

Tabla 63. Anova para textura (dureza)

Fuente	Valor p
Temperatura	0,160
Humedad	0,089
Temperatura*Humedad	0,040

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la prueba posanova (Tukey) (ver tabla 64) para realizar las comparaciones. Se encontró qué al comparar las medias respecto a la temperatura, todas (70, 80 y 90°C) se encontraban entre 2,8 y 3,1N, es decir no hay diferencias significativas. Cuando se comparó las medias respecto a la humedad se encontró un promedio de 3N. Sin embargo, al comparar las medias de la interacción entre los 2 factores se encontró que 1 de los pares presentaba diferencias significativas. Las muestras del tratamiento a 80 °C, 25 % CH (b. h.) tuvieron una textura significativamente diferente, según la prueba de Tukey, a las muestras del tratamiento 90 °C, 45 % CH (b. h.). El valor para el primer tratamiento fue de 2,49 N y para el segundo tratamiento fue de 3,45 N.

Tabla 64. Postanova para el efecto de la temperatura de VR y humedad intermedia sobre la textura

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio textura (Newton)	Desviación	Agrupación	
70 °C 45 %	2,98	0,55	A	B
35 %	2,80	0,33	A	B
25 %	3,40	0,43	A	B
80 °C 45 %	3,02	0,53	A	B
35 %	2,80	0,46	A	B
25 %	2,49	0,49		B
90 °C 45 %	3,45	0,87	A	
35 %	2,83	0,53	A	B
25 %	2,74	0,62	A	B

*Los valores que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: elaboración propia.

Los *snacks* listos para consumir tienen como característica el bajo contenido de humedad. Esta beneficia directamente la crujencia. Pero la aceptación de los *snacks* se ve influenciada también por los atributos de calidad como sabor, color, olor y textura. La textura es uno de los más importantes porque condiciona la aceptabilidad de los *snacks* con la crujencia (Mazumder *et al.*, 2007).

Perez-Tinoco *et al.* (2008) desarrollaron piña freída a presión reducida, en un rango de textura de 1,7 a 4,0 N. Las condiciones de fritura que producía los *snacks* con mejores características de textura (< 1,9 N) fueron 112°C temperatura de aceite de fritura y 6,9 min. A pesar de que el valor de textura obtenido en esta experimentación (VR y AF) fue mayor al optimo hallado por Perez-Tinoco *et al.* (2008) está alrededor de los valores obtenidos por Salvador, Varela, Sanz, y Fiszman (2009). En esta investigación, Salvador *et al.* (2009)

estudiaron la textura de chips de papa dulce freídos a presión reducida, obtuvieron valores alrededor de 6 N. Al Faruq, Zhang, y Adhikari (2019) desarrollaron láminas de manzana freídas a presión reducida, encontraron que este método de fritura es prometedor para obtener *snacks* con buenas características de textura. Las láminas de manzana obtuvieron después de 16 min de fritura, un rango de textura de 2,45 a 3,92 N. Las muestras de piña sometidas a los tratamientos de VR y AF en promedio obtuvieron un valor de textura de 2,95 N. En comparación con las otras investigaciones el valor promedio obtenido está acorde con aquel de los *snacks* crujientes.

Vitamina C

La piña fresca variedad MD2 que se empleó tuvo un valor aproximado de 55,01± 5,14 mg ácido ascórbico/ 100g de materia fresca (b. h.) y un valor de 358,37 ± 33,48 mg ácido ascórbico/100g de materia seca (b. s.). La piña es una fruta que tienen cantidades considerables de vitaminas, entre ellas la vitamina C. En una investigación se reportaron valores de contenido inicial de vitamina C en piña de 47,8 mg de ácido ascórbico/100g de materia fresca (Fernández *et al.*, 2019). Por otra parte, Perez-Tinoco *et al.* (2008) reportaron un valor de vitamina C en piña fresca de 450 mg de ácido ascórbico/100 g de materia seca. El valor obtenido en esta investigación está dentro del rango encontrado en la literatura.

En la tabla 65 se muestran los resultados del análisis de varianza, los valores de p indican que no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de vitamina C a causa de la temperatura, humedad o interacción entre temperatura y humedad. No tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de Vitamina C. En la tabla 66 se puede observar los valores promedio de Vitamina C (b. s.) resultado de los tratamientos en VR.

Tabla 65. Anova para vitamina C

Fuente	Valor p
Temperatura	0,250
Humedad	0,534
Temperatura*Humedad	0,826

Fuente: elaboración propia.

Tabla 66. Valores de vitamina C en los *snacks* de piña MD2 a diferentes temperaturas de VR y de humedad intermedia

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio vitamina C (bs)*	Desviación
70 °C Ctrl	139,35	9,63
80 °C Ctrl	262,21	19,46
90 °C Ctrl	245,34	24,38

Tratamiento: condiciones de VR	Promedio vitamina C (bs)*	Desviación
70 °C 45 %	209,69	26,85
35 %	213,36	36,67
25 %	222,61	21,54
80 °C 45 %	188,11	32,65
35 %	201,65	15,28
25 %	210,87	11,00
90 °C 45 %	224,84	24,61
35 %	207,69	22,90
25 %	222,32	19,87

*mg ácido ascórbico/100g de materia

Fuente: elaboración propia.

Estudios previos realizados en secado por VR, han mostrado que esta tecnología mantiene la calidad de los productos al conservar el color y las vitaminas (Nindo y Tang, 2007). En una investigación sobre la retención de ácido ascórbico en espárragos secados por diferentes métodos se demostró que los espárragos secados en VR retuvieron mayor cantidad de ácido ascórbico en comparación con los otros métodos (Nindo y Tang, 2007; Ochoa-Martínez *et al.*, 2012).

En la tabla 66 se pueden observar los valores promedio de vitamina C encontrados en cada tratamiento (VR y AF). Debido a que no hubo diferencias significativas se puede considerar un valor promedio entre los tratamientos. La vitamina C promedio de los *snacks* de piña fue de 211,24 mg ácido ascórbico/100 g (b. s.); comparando este valor con el valor encontrado en las muestras control (ver tabla 61) se puede observar que la diferencia es pequeña. Los tratamientos control a 80 y 90°C permitieron aproximadamente un 17 % más de retención de vitamina C. El tratamiento control consistió en el secado de las muestras de piña en VR únicamente, es decir que se puede confirmar lo mencionado por las investigaciones anteriores (Nindo y Tang, 2007; Ochoa-Martínez *et al.*, 2012).

El proceso combinado de VR y AF demostró que es un método de obtención de *snacks* prometedor, ya que hay una mayor retención de vitamina C, aproximadamente 59 %, comparado con el contenido de vitamina C de la muestra fresca.

Análisis sensorial

Debido a que las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los *snacks* de piña MD2 (VR y AF), no se vieron afectadas por la temperatura de VR, por el nivel de humedad intermedio ni por la interacción entre estos. En todos los tratamientos se encontraron valores similares de las propiedades mencionadas. Se decidió realizar el análisis sensorial únicamente a los tratamientos VR (90°C; CH 25 %) + AF (100°C) y el control VR (90°C), ya que estos son los tratamientos que requieren menos tiempo y, por lo tanto, menor gasto de energía en el proceso.

Prueba de aceptación

La tabla 63 muestra la comparación entre las medias de los puntajes asignados por los consumidores a cada atributo evaluado. Se puede observar que para los atributos de textura existen diferencias significativas ($p < 0,05$) entre esos valores, como se observa en las tablas 67 y 68.

Tabla 67. Anova para los atributos de las muestras de piña

	Color	Olor	Textura	Sabor
Valor p	0,815	0,661	< 0,0001	0,911

Fuente: elaboración propia.

Tabla 68. Posanova de los atributos de las muestras evaluadas en el análisis sensorial

	Código	Color	Olor	Textura	Sabor
VR (90°C)	4356	5,40A	5,38A	4,06B	5,58A
VR (90°C, CH 25 % (b. h.) + AF (100°)	9087	5,36A	5,31A	5,58A	5,60A

*Los valores que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 56 se plasman los resultados de las medias de los atributos, obtenidas del análisis sensorial de las muestras 4356 (VR) y 9087 (VR y AF).

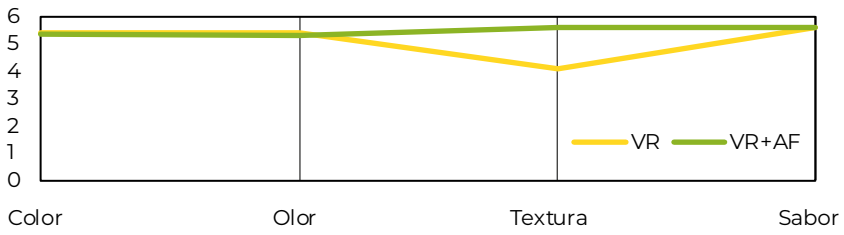


Figura 56. Representación de las medias de los atributos de *snacks* de piña MD2, obtenidas en análisis sensorial

Fuente: elaboración propia.

Se observa que el valor de textura de la muestra 9087 (VR y AF) es mayor en comparación con la muestra 4356 (VR), es decir, que según el puntaje los consumidores consideraron que la textura de la muestra 9087 les gustaba levemente o les gustaba (puntaje 5-6).

Por el contrario, los consumidores consideraron que la textura de la muestra 4356 ni les gustaba ni les disgustaba. Con este resultado se afirma la importancia de este atributo para los consumidores encuestados. En general según el puntaje los consumidores consideraron que los demás atributos de la muestra 9087 y 4356 les gustaba levemente o les gustaba (puntaje 5-6).

Prueba de preferencia

En la figura 57 se representa el porcentaje de los consumidores encuestados que prefirieron cada una de las muestras, se observa que la población de los 4 rangos de edad encuestada tuvo mayor preferencia con un 67 % por la muestra 9087, y según los resultados de la prueba de aceptación la población prefirió esta muestra debido a su textura crujiente.

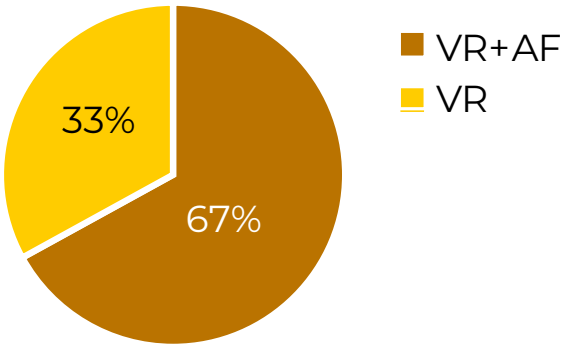


Figura 57. Resultados de prueba de preferencia de *snacks* de piña MD2 obtenidos por los procesos VR + AF y VR

Fuente: elaboración propia.

En la figura 58 se presenta el porcentaje de consumidores encuestados según el rango de edad (15-17, 18-25, 26-40, 41+), se observa que la muestra 9087 fue preferida por la población en el rango de edad a partir de 41 años en un 84 % y en el rango de 26 a 40 años en un 72 %. En el rango de edad de 18 a 25 años prefirieron la muestra 9087 en un 54 %.

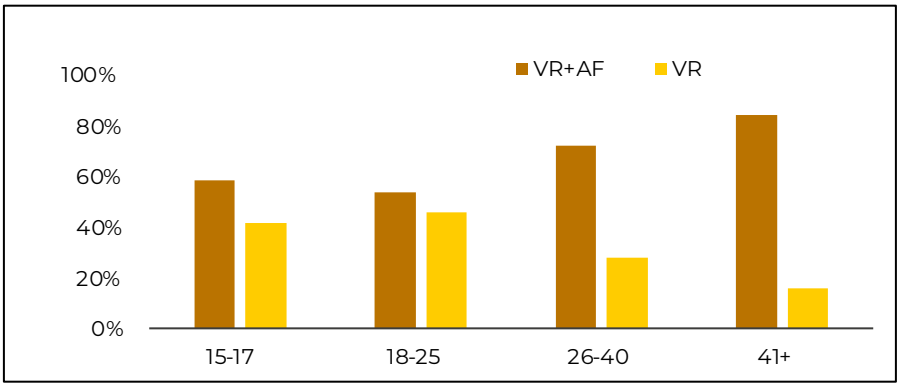


Figura 58. Diferencias de preferencias entre las 2 muestras de *snacks* de piña MD2 según los rangos de edades

Fuente: elaboración propia.

Una de las preguntas abiertas realizadas fue "¿Cuál es la muestra que prefiere y por qué?". Las personas que respondieron que preferían la muestra 9087 justificaban esta elección con algunos comentarios como los mostrados en la figura 59. Finalmente teniendo en cuenta la prueba de preferencia, se obtiene que 67 personas prefieren la muestra 9087, mientras que para la muestra 4356 la prefieren 33 personas.

La representación de los comentarios y observaciones realizados por los consumidores se hizo en nubes de texto basándose en la investigación de Ortegón Cortázar, Royo Vela, y Robayo Pinzón (2015). El tamaño de las palabras en las nubes de texto (ver figuras 59, 60 y 61) es directamente proporcional a la frecuencia con que los consumidores mencionaban cierta palabra.

Figura 59. Resultados de la pregunta abierta "¿por qué prefieren la muestra (9087)?"

Fuente: elaboración propia basado en Ortegón, Royo y Robayo (2015).

Basados en la figura 59, se observa que los consumidores prefirieron la muestra 9087 por su textura, la cual describen como crocante o crujiente. Mazumder *et al.* (2007) explica y hace énfasis en la importancia de la textura en la aceptabilidad de los *snacks* que se caracterizan por ser crujientes. Además, entre los atributos más destacados de la muestra se encuentran el sabor y el olor.

Las respuestas del 33 % de los consumidores (los cuales escogieron la 4356 como su preferida) a la pregunta abierta "¿Por qué no prefiere la otra muestra?", en este caso la 9087, se encuentran representadas en la figura 58.

Es decir, estos comentarios se podrían tener en cuenta para mejorar las características del *snack* de piña obtenido por la combinación de VR y AF. De los comentarios más destacados por los panelistas no entrenados que no prefirieron la muestra se refieren a: poco sabor, sabor ácido y menos dulce.

Por lo descrito estas respuestas se contradicen entre sí, debido a que las pruebas a panelistas no entrenados comúnmente conocidas como "pruebas de consumidores" llevan a la obtención de información subjetiva acerca de los atributos, preferencia y aceptabilidad del alimento (Mendoza y Niella, 2019).

Figura 60. Resultados de la pregunta abierta "¿por qué no prefieren la muestra (9087)?"

Fuente: elaboración propia basado en Ortegón, Royo y Robayo (2015).

Las respuestas del 67 % de los consumidores (los cuales escogieron la 9087 como su preferida) a la pregunta abierta "¿Por qué no prefiere la otra muestra?", en este caso la 4356, se encuentran representadas en la figura 61.

Figura 61. Resultados de la pregunta abierta "¿por qué no prefieren la muestra (4356)?"

Fuente: elaboración propia basado en Ortegón, Royo y Robayo (2015).

La mayoría de los comentarios mencionaban que no preferían la muestra debido a su textura, la cual describen como chiclosa y que se pega a los dientes. La fruta deshidratada presenta el inconveniente de que es altamente higroscópica y desarrolla rápidamente una textura pegajosa, por lo que los consumidores relacionan esto con una exposición del producto a condiciones ambientales, característica negativa que produce rechazo del producto (Cebrián Guaija, 2019). La descripción de textura chiclosa fue recurrente y concuerda con la no preferencia de las muestras del tratamiento control a 90°C.

3.1.2.4 Conclusiones

- En esta parte del proyecto se estudió el efecto de la aplicación de un proceso de presecado de *snacks* de piña MD2 en VR sobre las características de textura, color, contenido de humedad, actividad de agua, vitamina C y análisis sensorial. Se obtuvieron *snacks* de piña MD2 con buenas características de calidad organoléptica teniendo en cuenta los análisis de aceptación de un panel sensorial no entrenado. Los procesos que se aplicaron para el desarrollo de los productos fueron, de una parte, solo en VR y el otro proceso de VR y AF para otorgar las características de *snacks* de piña.
- La temperatura de secado en VR tuvo una influencia en el tiempo de secado de las muestras de piña. Las cinéticas mostraron que a mayor temperatura se presentan mayores pérdidas de agua para un mismo tiempo de secado. El método de VR es efectivo como presecado previo al método de AF, ya que retira grandes cantidades de agua del alimento en tiempos cortos en comparación con métodos de secado de primera y segunda generación. En el método de VR hay transferencia de calor por 3 mecanismos, convección, conducción y radiación, lo cual representa tiempos cortos y limitada exposición de los productos a la temperatura.
- Los modelos cinéticos de Page, Newton, Wang y Singh y Midilli se ajustaron bien a los datos de las cinéticas de secado en VR. Sin embargo, el modelo de Midilli fue el que presentó valores más altos de coeficiente de determinación, de error cuadrático medio, de error porcentual y de chi cuadrado, por lo que fue seleccionado para calcular los tiempos de humedad intermedia en la segunda parte de este informe.
- Durante las cinéticas de secado se evidenció que la interacción de la temperatura y el tiempo no tuvo una influencia significativa sobre la luminosidad y el parámetro b*. Sin embargo, en general durante el secado a las 3 temperaturas hubo un oscurecimiento de las muestras (menos luminosidad y menor valor del parámetro b* comparado con la muestra fresca). La luminosidad disminuyó en un promedio de 18 % para 70, 80 y 90 °C y el parámetro b* disminuyó en un promedio de 29 % para 70, 80 y 90 °C. La diferencia total de color fue de 15,24 unidades, el cambio de color se debe principalmente a la degradación de carotenoides y pardeamiento no enzimático o reacción de Maillard.
- La operación de los procesos de presecado por VR y luego el proceso de AF para obtener *snacks* de piña MD2 con características fisicoquímicas y sensoriales aceptadas para su comercialización, se puede realizar, con buenos resultados teniendo en cuenta las siguientes condiciones:
- La combinación de la aplicación del pretratamiento de secado por VR y AF superó las características de textura en los *snacks* de piña MD2, al comparar con las muestras sometidas solamente a VR. La textura se vio favorecida por la AF, aunque también se podría considerar el efecto que provoca la impregnación con calcio, en el pretratamiento, en el que los iones de calcio actúan junto a la pectina presente en las paredes celulares del producto, aumentando la dureza.

- El análisis sensorial en un panel de aceptación de los *snacks* de piña MD2 no entrenado, mostró que los consumidores prefirieron los *snacks* de piña obtenidos por VR y AF, por sus atributos de textura y por su textura crujiente.
- De acuerdo con los resultados obtenidos y la literatura consultada el equipo de VR es potencialmente útil para el secado de piña en láminas delgadas, comparados con otros métodos de secado de primera generación. El equipo de AF aportó la textura crujiente a las muestras de piña, sin aceite.
- El proceso de deshidratación de piña en VR y AF puede ser utilizado para obtener *snacks* de fruta con buenas características de calidad y aceptación por parte de los consumidores. Los productos obtenidos pueden ser considerados en el segmento de alimentos saludables teniendo en cuenta que podrían contener una mínima cantidad de aceite.

3.1.2 Segunda parte: fritura con aire caliente en movimiento (AF) con y sin deshidratación previa en VR y AF, con mínima cantidad de aceite

Se consideraron y evaluaron los resultados de la primera parte, además la disponibilidad de equipos. se decidió continuar por el presecado en VR, por favorecer los menores tiempos de procesamiento. No se presentaron efectos significativos en los parámetros de calidad de las muestras, con el desarrollo de *snacks* de piña MD2 mediante el proceso combinado de VR y AF (100 °C), con la deshidratación en VR hasta una humedad intermedia de 45 % (b. h.) a 90 °C. También en la segunda parte del proyecto se evaluaron diferentes temperaturas en AF, además del uso de una mínima cantidad de aceite, para obtener *snacks* de piña frita, como atractivo para el consumidor.

3.1.3.1 Objetivos

General

- Desarrollar *snacks* de piña MD2 mediante un proceso combinado de deshidratación por ventana de refractancia (VR) y de fritura con aire caliente en movimiento (AF).

Específicos

- Establecer las condiciones del proceso de AF, temperatura, tiempo del proceso y la humedad intermedia del producto al inicio de la fritura.
- Evaluar las condiciones de operación en función de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de los *snacks* de piña MD2.

3.1.3.2 Metodología

Se implementó un diseño factorial 2 × 3, 2 factores, temperatura en AF y contenido de humedad inicial de trozos de piña. El primer factor con 3 niveles: 100, 140 y 180°C y el segundo 2 niveles: humedad intermedia de 45 % (b. h.) (por VR a 90°C) y humedad de piña

MD2 en fresco. El diseño fue completamente al azar y correspondió a 6 tratamientos, los cuales se realizaron por triplicado.

Las muestras fueron divididas en 2 grupos, las muestras de piña MD2 fresca que fueron llevadas directamente a AF a temperaturas de 100, 140 y 180°C, (CH alrededor de 83 % b. h.) y las muestras que se sometieron a pretratamiento con $CaCl_2$, deshidratación por VR hasta 45 % (b. h.) e impregnación superficial con aceite (mezcla de girasol, oleína de palma y soya) sometidas a AF a las mismas temperaturas anteriores.

A continuación de manera más detallada se describe la metodología seguida; para las muestras sometidas directamente a la fritura con aire caliente se pesaron aproximadamente 150 g de trozos de piña (30 piezas) con humedad inicial de 83 % (b. h.) que se procesaron a diferentes condiciones de tiempo y temperatura por el método de AF,

Para el segundo grupo, se pesaron aproximadamente 350 g de trozos de piña (65-70 piezas) se impregnaron durante 20 minutos en una solución de $CaCl_2$ con una concentración de 0,15 %, sin agitación, a temperatura ambiente, con una relación piña/solución de ¼; (m/v); por cada 350 g de piña se utilizaron 1400 ml de agua potable y 7,71 g de $CaCl_2$ (Lima *et al.*, 2016b). Finalizado el tiempo de impregnación se retiraron los trozos de piña y se secaron superficialmente sobre papel absorbente.

Luego los trozos de piña fueron dispuestos en el equipo de VR. El proceso de deshidratación (presecado) se realizó hasta que el trozo de piña adquirió un contenido de humedad alrededor de 45 % (b. h.), en aproximadamente 50 ± 5 minutos (tiempo que coincide con el estimado en la primera parte del proyecto).

Terminado el proceso de deshidratación por VR, en 2 láminas de papel aluminio se distribuye el aceite (mezcla de girasol, oleína de palma y soya) en una proporción de 3g aceite/100g *snacks* con humedad inicial de 45 % (b. h.). Los *snacks* se disponen sobre la superficie de las láminas aceitadas y encima de estos se coloca la otra lámina también aceitada. Manualmente, pasando una vez un rodillo de madera sobre las láminas de papel aluminio se logra la impregnación superficial aleatoria, por ambas caras. Así los *snacks* quedan acondicionados para el proceso por AF.

Para iniciar con el proceso por (AF), se conectó el equipo y se precalentó a 100, 140 y 180°C, dependiendo del tratamiento, por 10 min, se estableció un tiempo específico para cada temperatura y finalmente se depositaron los trozos de piña. Por cada tanda de trozos de piña deshidratada en ventana de refractancia, se realizaron las 2 experimentaciones en el equipo de fritura con aire caliente. Los *snacks* obtenidos de la fritura, se reposaron a temperatura ambiente (25 °C) 10 min. antes de empacarlos.

Al finalizar los procesos de fritura con aire caliente para las diferentes temperaturas, se procedió a determinar algunos parámetros fisicoquímicos como son contenido de humedad, actividad de agua, color, textura y contenido de grasa. Además, se determinó en un laboratorio especializado los parámetros de vitamina C y pruebas microbiológicas aplicados a los *snacks*.

Metodología para determinación de propiedades fisicoquímicas, nutricionales y microbiológicas

Para la implementación del tratamiento de AF en trozos de piña MD2, se realizaron cinéticas con el fin de determinar los tiempos en los cuales se puede obtener un contenido de humedad mínimo (2 a 5 % b. h.).

Además, en este informe se presentan los resultados y sus análisis sobre la evaluación de las propiedades fisicoquímicas y nutricionales; contenido de humedad, contenido de grasa, actividad de agua, textura y color. También se presentan resultados de vitamina C y de pruebas microbiológicas.

Cinéticas de secado

Se realizaron cinéticas de secado de trozos de piña variedad MD2 por el proceso de AF a 100, 140 y 180°C para *snacks* de piña con contenido de humedad de 45 % (b. h.) y en muestras frescas con alrededor de 83 % (b. h.), con el fin de determinar el tiempo necesario para obtener los *snacks* de piña con contenido de humedad entre 2-5 % (b. h.).

Para medir el contenido de humedad (% b. h.) de las muestras tratadas con AF se tomaron 3 muestras, cada una se depositó en una caja de aluminio (previamente pesada); luego, se tomó el peso de cada caja junto con el trozo de piña. Se utilizó una balanza analítica (Mettler Toledo, precisión 0,0001gr). Se procedió a someterlas a una estufa de aire convectivo de Thermo Scientific Heratherma a 60°C por 24 horas. El contenido de humedad se midió por cada tiempo a 3 trozos de piña (valores que fueron promediados) y por tratamiento una vez.

Este procedimiento se realizó hasta completar 38, 10 y 7 min para 100, 140 y 180°C respectivamente, a muestras de piña con contenido de humedad de 45 % (b. h.) deshidratadas previamente en ventana de refractancia, y hasta 40, 30 y 20 min para 100, 140 y 180°C, respectivamente, a muestras de piña en estado fresco con humedad de 83 % (b. h.) Los resultados fueron expresados en base húmeda (kg de agua/kg de masa total) y graficados en CH (%b. h.) a las temperaturas de 100, 140 y 180°C aplicadas en el equipo de fritura con aire caliente.

Contenido de humedad

El contenido de humedad se determinó por la diferencia de pesos antes y después del secado (balanza digital de 0,0001 g de precisión-Precisa, serie 321 modelo LX 120, Suiza) de

los *snacks* de piña MD2 por el método de la estufa (Thermo Scientific, Heratherm OGS60, Germany) a 60°C durante 24 h. La medición del contenido de humedad se realizó a 3 piezas de *snacks*, al inicio y a final del proceso, por cada tratamiento.

Actividad de agua

Los valores de actividad de agua (*aw*) de los *snacks* de piña MD2, fueron medidos a temperatura ambiente mediante un Decagón, AquaLab CX-1, USA, con una sensibilidad de 0,001. Las determinaciones de (*aw*) se realizaron a 3 piezas de *snacks* de piña MD2 por cada uno de los experimentos. Teniendo en cuenta que eran 6 y que se hicieron por triplicado, es decir, un total de 54 mediciones.

Color

Se utilizó un Colorímetro (HunterLab, ColorFlex, USA), para obtener las coordenadas de L*, a* y b*. Los tratamientos se realizaron por triplicado para cada una de las temperaturas (100, 140 y 180°C) con cada una de las humedades deseadas (45 % y 83 % b. h.). Se seleccionaron 3 trozos de forma aleatoria por cada uno de los tratamientos a los cuales se les realizó la medición de color. Se realizaron 6 tratamientos, por triplicado, para un total de 54 determinaciones.

Textura

Se determinó la fuerza de ruptura de los *snacks* de piña MD2, se empleó un texturómetro (Shimadzu Ez Test, Modelo: SM-500N-168) y se realizó una prueba de flexión. Se empleó una carga de 500 N, la muestra se colocó en medio de 2 soportes móviles con abertura central por donde un punzón cilíndrico con base plana se movió para medir su dureza. El punzón realizó el recorrido entre los 2 soportes a una velocidad de 50 mm/min, flexionando cada muestra hasta ocasionar la fractura y el fraccionamiento. Se reportó el valor más alto de dureza (N), este fue el valor en el que la muestra se fraccionaba (Cortellino *et al.*, 2011).

Al igual que en las pruebas fisicoquímicas anteriores, la textura se midió a 3 piezas de *snacks* de piña MD2 por cada uno de los 6 tratamientos por triplicado, para un total de 54 determinaciones.

Contenido de grasa

Se realizaron 6 determinaciones por triplicado. Se tomaron 2 g de muestra seca y macerada de piña MD2 para colocarlas en las campanas soxlhet. Se usó un balón de fondo plano de 250 ml limpio, se pesó seco y se adicionó 160 ml bencina de petróleo, grado reactivo. El equipo soxlhet (balón, campana, condensador, plancha de calentamiento) se colocó en funcionamiento a temperatura moderada para un goteo lento). A partir del momento en que empezó el reflujo, el solvente recirculó 6 horas. Una vez terminó el proceso se dejó enfriar para retirar la campana y retirar el solvente remanente del balón, para lo cual los balones se sometieron a 70°C en un horno convectivo por 24 h. Luego se tomó el peso del balón para calcular la grasa extraída (peso de balón con grasa–peso balón). El procedi-

miento se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos de *snacks* de piña MD2, en el que los trozos fueron impregnados superficialmente con aceite.

Vitamina C
La vitamina C se determinó en un laboratorio especializado por medio del método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Pruebas microbiológicas
A las muestras de *snacks* de piña MD2 se le realizaron análisis microbiológicos en laboratorio especializado como:

NMP de coliformes totales según la NTC 4516.
NMP de coliformes fecales de acuerdo con la NTC 4516.
NMP de E. Coli, siguiendo la NTC 4516.
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos con la técnica descrita en la NTC 4516.
Presencia de microorganismos entéricos, cumpliendo con la técnica de la NTC 5733.
Recuento de hongos y levaduras, según la resolución 3929 de 2013.

Análisis estadístico
El análisis estadístico se realizó mediante el *software* Minitab 19. Se llevó a cabo un análisis de varianza anova para encontrar diferencias entre las muestras. Posteriormente se utilizó el método de Tukey con un nivel de confianza del 95 % para realizar las comparaciones múltiples entre los factores del diseño experimental.

Actividad específica 5. Aplicación de parámetros de calidad en productos seleccionados.

3.1.3.3 Resultados y discusión

Cinéticas de secado
En las figuras 62, 63 y 64 se puede apreciar que a medida que transcurre el tiempo de fritura con AF el contenido de humedad (% b. h.) disminuye para cada una de las temperaturas (100, 140 y 180°C).

En la figura 62 se puede observar que los trozos de piña MD2 que fueron sometidos a deshidratación por VR con humedad cercana a 45 % (b. h.) y luego sometidos al AF pierden la mayor parte de humedad a los 10 min. A partir de este tiempo el descenso se produce de forma constante hasta 0,02 g agua/g m. s. Con respecto a los trozos de piña MD2 fresca con humedad inicial alrededor de 83 % (b. h.) se observa que durante la fritura con AF, pierden humedad significativamente a los 26 minutos, a partir de este punto, la pérdida se realiza de manera constante hasta aproximadamente un contenido de humedad de 0,04 g agua/g m. s.

El aire caliente pasa a través de los trozos de piña provocando una transferencia de calor por convección forzada. Los trozos tienden a perder el agua superficial rápidamente, hasta que la pérdida de agua empieza a disminuir de forma constante (Abd Rahman *et al.*, 2017). Este tipo de comportamiento se puede observar en las figuras 62, 63 y 64.

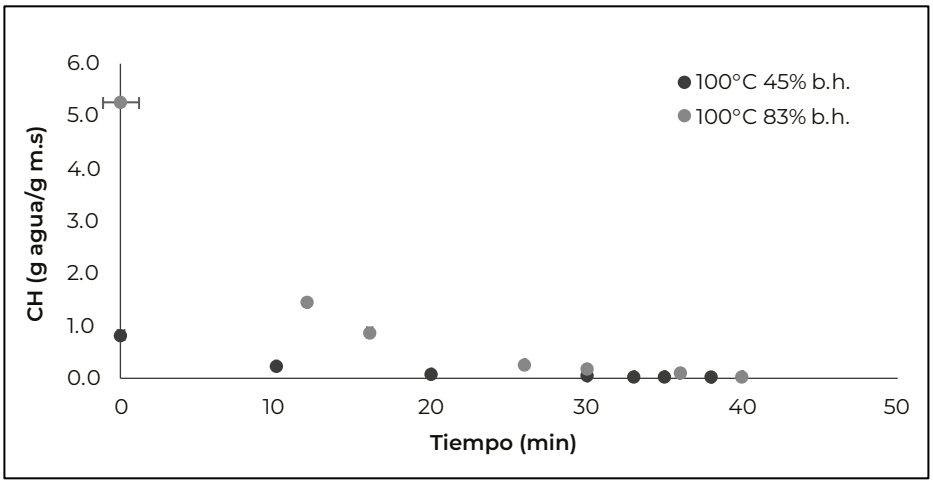


Figura 62. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 freídos en AF a 100°C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 63 se observa la cinética de secado para los trozos de piña MD2 que fueron freídos con aceite a 140 °C en AF. Los trozos con contenido de humedad de 45 % (b. h.) que fueron previamente sometidos a deshidratación por VR, disminuyeron significativamente su contenido de humedad en el AF hasta 0,03 g agua/g m. s., a los 10 minutos.

Los trozos de piña con contenido de humedad inicial cercano al 83 % (b. h.) que fueron sometidos a fritura sin aceite con AF, alcanzaron un contenido de humedad aproximado de 0,04 g agua/g m. s., a los 30 minutos.

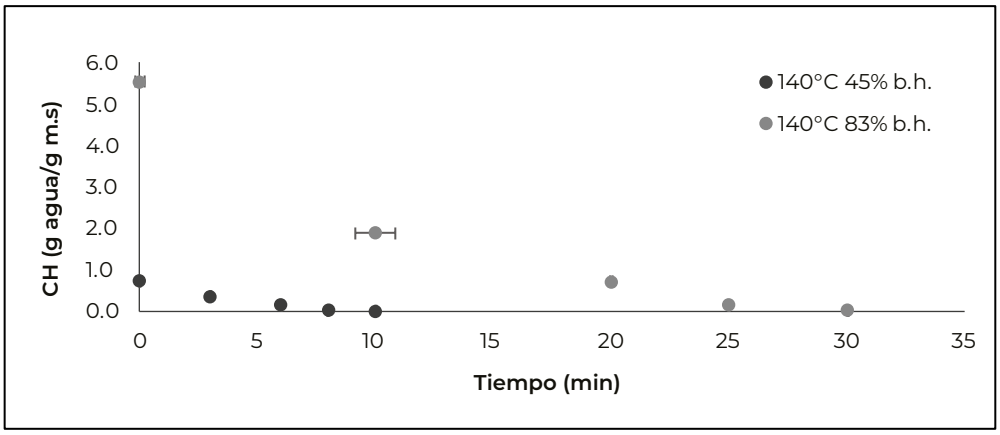


Figura 63. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 freídos en AF a 140°C

Fuente: elaboración propia.

En la figura 64 se aprecia un fenómeno similar al de las anteriores figuras, la disminución importante de agua para los trozos de piña MD2 con contenido de humedad de 45 % (b. h.) ocurre hasta los 4 minutos, para alcanzar a los 7 minutos un contenido de humedad alrededor de 0,04 g agua/g m. s., en comparación con los trozos con humedad de 83 %, para los que la pérdida significativa ocurre hasta los 15 min, hasta llegar a aproximadamente 0,08 g agua/g m. s., a los 20 minutos, se deja hasta ese contenido de humedad porque a partir de ese tiempo, la apariencia global de los *snacks* de piña comienza a degradarse debido a la elevada temperatura.

La apariencia global del producto está relacionada con aspectos como el color, el brillo, la opacidad, la forma y el tamaño. Por lo tanto, es un criterio importante de decisión de compra y selección por parte de los consumidores, esta se puede ver afectada por las altas temperaturas y la presencia de azúcares, porque favorecen la aparición de reacciones de caramelización. Este tipo de reacciones comienzan a producirse a partir de los 20 min de fritura en los *snacks* de piña MD2, evidenciándose en ellos colores amarillos muy intensos o marrones, opacidad, degradación de su forma y tamaño, y sabores amargos y quemados (Arias-Giraldo y López-Velasco, 2019).

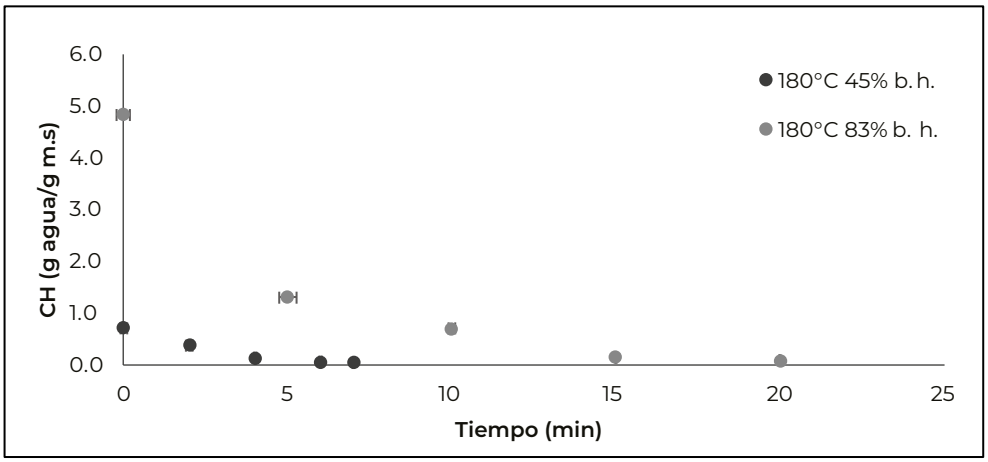


Figura 64. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 secados en AF a 140°C

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados anteriormente expuestos en las figuras, se estimaron los tiempos de fritura para cada una de las temperaturas (ver tabla 69).

Tabla 69. Tiempos de fritura en AF para cada tratamiento de *snacks*

Temperatura (°C)–CH (% b. h.)	Tiempo en AF (min)
100–45	38
–83	40
140–45	10
–83	30
180–45	7
–83	20

Fuente: elaboración propia.

Contenido de humedad

El contenido de humedad (% b. h.) de la piña MD2 fresca empleada en la experimentación fue en promedio 83,68 ± 1,51, valor similar con el descrito por Farid, Hossain, Akhtar y Anwar (2015) quienes reportaron la piña entre 81,2 % y 86,2 % de humedad.

El análisis de varianza (ver tabla 70) arrojó que hay efecto de alguno de los niveles de la temperatura del equipo en AF y de la humedad inicial de los trozos de piña MD2, sobre el contenido de humedad (base húmeda) de los *snacks*, ($p < 0,05$). Sin embargo, se encontró que no hay interacción entre los niveles de temperatura y humedad inicial que influya en el contenido de humedad ($p > 0,05$).

Tabla 70. Anova para contenido de humedad (% b. h.) de *snacks* de piña MD2

Factor	Valor p
Temperatura	0,000
Contenido de humedad inicial	0,000
Temperatura × contenido de humedad inicial	0,151

Fuente: elaboración propia.

Se aplica la prueba posanova de Tukey, para realizar las comparaciones entre las medias de contenido de humedad de los *snacks* de piña MD2 respecto a la temperatura y al contenido de humedad inicial.

En la tabla 71 se evidencia que hay diferencias significativas entre el contenido de humedad de los *snacks* fritos a temperaturas de 100 y 180°C y entre 140 y 180°C, porque empleando la temperatura de 180°C no alcanzaron un contenido de humedad tan bajo como en las otras temperaturas, además a mayor tiempo, mayor sería la probabilidad de que ocurriera reacciones en los azúcares de la piña MD2, como la caramelización, que afecta negativamente la apariencia global del producto (color, forma) y el sabor (Arias-Giraldo y López-Velasco, 2019). Por el contrario, los *snacks* obtenidos en el proceso con AF a 100 y 140°C alcanzaron contenidos de humedad similares, cercanos al 3 % (b. h.).

Tabla 71. Posanova (Tukey) efecto temperatura con el contenido de humedad (b. h.) de *snacks* de piña MD2

Temperatura (°C)	Contenido de humedad b. h. (kg agua/ kg masa total)
100	0,031[a]
140	0,034[a]
180	0,054[b]

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 72 se puede observar que hay diferencias significativas entre los *snacks* de piña que fueron freídos con AF con humedad inicial de 45 % (b. h.) y los que tenían humedad inicial de 83 % (b. h.).

Los trozos de piña MD2 que tenían un contenido de humedad de 45 % (b. h.) obtuvieron un contenido de humedad cercano al 3 % (b. h.) porque habían sido deshidratados previamente en VR. En el proceso de fritura con AF, la impregnación de aceite favorece la velocidad de la salida del agua, permitiendo obtener *snacks* de piña MD2 con contenidos de humedad bajos sin afectar su apariencia global al someterse a las diferentes temperaturas.

El contenido de humedad de los trozos de piña sometidos a pretratamiento con $CaCl_2$, resultó ser mucho menor (2,5 % b. h.) en comparación con los trozos que fueron sometidos directamente al proceso de fritura (5,4 % b. h.); este fenómeno ya se evidenció en una investigación en la que se encontró que el pretratamiento con calcio reduce el contenido de humedad alrededor de 0,06 %–0,51 % en polvo de calabaza (Keen *et al.*, 2016).

Tabla 72. Postanova (Tukey) efecto del contenido de humedad inicial en (% b. h.) de *snacks* de piña MD2

Humedad inicial (%)	Contenido de humedad (b. h.) (g agua/g muestra húmeda)
45	0,025b
83	0,054a

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se muestran los contenidos de humedad en base húmeda promedio (g agua/g muestra húmeda) de *snacks* de piña MD2, producto de la fritura con AF (ver tabla 73) Los *snacks* de piña MD2 alcanzaron a nivel general un contenido de humedad entre 2-5 % (b. h.) El contenido de humedad es uno de los atributos más importantes analizados en los alimentos, es un indicador de calidad porque si es bajo el producto es estable química y microbiológicamente, tiene un tiempo de vida útil más largo en comparación a otros productos.

Tabla 73. Datos promedio de contenido de humedad final de *snacks* de piña MD2 obtenidos a diferentes condiciones la temperatura por AF y el contenido de humedad (% b. h.)

Condiciones AF T °C–CH (% b. h.)	CH (b. h.) Promedio
100	0,0150 ± 0,0021
140–45	0,0242 ± 0,0081
180	0,0360 ± 0,0053
100	0,0479 ± 0,0010
140–83	0,0439 ± 0,0077
180	0,0716 ± 0,0057

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el contenido de humedad del tratamiento con temperatura del equipo de 180°C y humedad inicial de los trozos de piña de 83 % (b. h.) no fue tan bajo en comparación a los otros (7 % b. h.) esto debido a que después de 20 min de fritura con AF con temperatura elevada, los trozos de piña sufrieron reacciones de caramelización, provocando colores marrones, degradación y reducción de tamaño y forma, además de olores y sabores no característicos de la piña (Arias-Giraldo y López-Velasco, 2019).

Actividad de agua

La actividad de agua (*aw*) de la piña fresca fue de 0,982 ± 0,004. Este valor se encuentra alrededor del valor encontrado por Perez-Tinoco, Perez, Salgado-Cervantes, Reynes, y Vaillant (2008) en piña fresca (0,9±0,03).

Según la tabla 74, hay un efecto significativo de la humedad inicial de los *snacks* de piña sobre la *aw*, $p < 0,05$, en cambio se evidenció que no hay influencia significativa de la temperatura y la interacción entre la temperatura y la humedad inicial de los *snacks* sobre la *aw*, $p > 0,05$.

Tabla 74. Anova para actividad de agua (*aw*) de piña MD2

Factor	Valor p
Temperatura	0,108
Humedad inicial	0,009
Temperatura*Humedad inicial	0,867

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, se realiza una prueba posanova de Tukey para establecer las comparaciones entre las medias de de los *snacks* de piña MD2 respecto a la humedad inicial.

Se puede evidenciar que la de los *snacks* de piña que tenían humedad inicial de 45 % (b. h.) presentaron actividad de agua baja de 0,389. Además, las muestras a 45 % de humedad (b. h.) fueron sometidas a un pretratamiento con $CaCl_2$ lo que provocaría un menor contenido de humedad final y a su vez menor (tabla 75).

Tabla 75. Postanova (Tukey) efecto humedad inicial (%) en *aw* de *snacks* de piña MD2

Humedad inicial (%)	*aw*
45	0,389ª
83	0,467b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos de *aw* (0,3337-0,4200) para los tratamientos con condiciones de 45 % (b. h.) y temperaturas de 100 y 140°C están relacionados a los encontrados por Perez-Tinoco *et al.* (2008), en *chips* de piña con *aw* alrededor de 0,29 producto de fritura a presión reducida por periodos cortos de tiempo y bajas temperaturas, también se encuentran relacionados con la *aw* entre 0,328–0,423 de trozos de piña deshidratados osmóticamente (Haqbeen *et al.*, 2019). En estos 2 tratamientos se encontraron los valores de *aw* más bajos relacionados directamente con el contenido de humedad final que se alcanzó (tabla 73); sin embargo, por optimización de tiempo, reducción de costos y a razón de que con ambos se obtienen valores similares de contenido de humedad (base húmeda) y *aw*, es más viable el tratamiento con las condiciones de 140°C y 45 % (b. h.), ya que para fritura solo requiere 10 minutos en el equipo en comparación con las condiciones de 100°C y 45 % (b. h.) que requiere de 38 minutos.

Los tratamientos de humedad inicial de 83 % (b. h.) con temperaturas de 100, 140 y 180°C (ver tabla 76), igualmente cumplen con *aw* para *snacks* deshidratados porque generalmente se caracterizan por estar entre 0,4 y 0,5; resultados que se comparan con algunos trabajos sobre *snacks* de manzanas con *aw* de 0,5 y rebanadas de mango deshidratadas con *aw* por debajo de 0,5 (Sepúlveda *et al.*, 2011; Ochoa-Martínez *et al.*, 2012).

Tabla 76. Datos promedio de *aw* resultado del efecto de la temperatura del AF y de la humedad inicial (%) de piña MD2

Condiciones AF T °C – CH (% b. h.)	***aw* promedio**
100	0,3687 ± 0,0503
140–45	0,3780 ± 0,0676
180	0,4201 ± 0,0079
100	0,4363 ± 0,0631
140–83	0,4485 ± 0,0376
180	0,5176 ± 0,0666

Fuente: elaboración propia.

Color

El color es uno de los parámetros más importantes para los alimentos que son sometidos a deshidratación o fritura por su valor económico y sensorial (Zzaman *et al.*, 2021). En la tabla 77 se encuentran los valores promedio de los parámetros L* y b* de la piña fresca antes de ser sometida a la combinación de tratamientos VR y AF, o solo AF.

Tabla 77. Valores iniciales de parámetros L*, a* y b* piña fresca MD2

Promedio	Piña fresca	Desviación
L*	42,75	2,27
a*	4,14	0,91
b*	54,86	2,51

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 78 se observan los resultados de los parámetros L*, a* y b* para *snacks* de piña, producto de los tratamientos de fritura directa con AF y de la combinación de deshidratación en VR y fritura con AF.

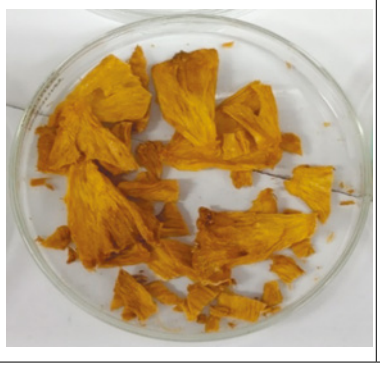
Tabla 78. Valores de L*, a* y b* para *snacks* de piña MD2

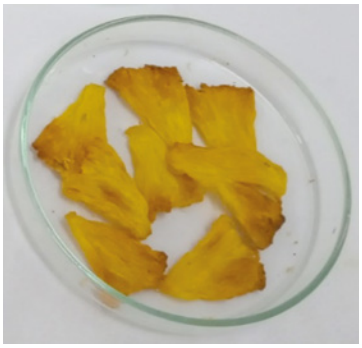
Condiciones AF T °C – CH (% b. h.)	L*			a*			b*		
100	32,99	±	2,24	9,25	±	2,18	33,63	±	1,80
140–45	31,72	±	4,65	7,82	±	1,19	36,75	±	1,46
180	31,68	±	4,27	8,16	±	0,99	34,68	±	2,74
100	38,85	±	3,67	6,15	±	1,56	38,83	±	4,34
140–83	35,44	±	6,13	7,52	±	1,43	35,81	±	4,73
180	31,28	±	3,53	8,95	±	1,06	34,60	±	5,76

Fuente: elaboración propia.

Los resultados anteriores se pueden ver reflejados en las imágenes alusivas a los tratamientos 1 al 18 (triplicados de los 6 tratamientos) (ver tabla 79).

Tabla 79. Variación de color en los *snacks* de piña MD2 obtenidos a diferentes condiciones de temperatura y humedad

T1	T2	T3
Humedad inicial 45 % b. h. – Temperatura 100°C–Tiempo fritura 38 min		
		

T4	T5	T6
Humedad inicial 45 % (b. h.) – Temperatura 140°C–Tiempo fritura 10 min		
		
T7	**T8**	**T9**
Humedad inicial 45 % (b. h.) – Temperatura 180°–Tiempo fritura 7 min		
		
T10	**T11**	**T12**
Humedad inicial 83 % (b. h.) – Temperatura 100°C–Tiempo fritura 40 min		
		
T13	**T14**	**T15**
Humedad inicial 83 % (b. h.) – Temperatura 140°C–Tiempo fritura 30 min		
		

T16	T17	T18
Humedad inicial 83 % (b. h.) – Temperatura 180°C–Tiempo fritura 20 min		
		

Fuente: elaboración propia.

*Luminosidad L**

En la figura 65 se puede observar la variación de la luminosidad de muestras de piña con humedad de 45 % (b. h.) (deshidratadas previamente por ventana de refractancia) y de muestras de piña frescas con 83 % (b. h.), sometidas a fritura con aire caliente con y sin aceite respectivamente, a las temperaturas de 100, 140 y 180 °C.

Los valores de L* para los trozos de piña MD2 con humedad inicial de 45 % (b. h.) cambian de 32,99 ± 2,24 a 31,68 ± 4,27 y para los que tenían humedad inicial de 83 % (b. h.) de 38,85 ± 3,67 a 31,28 ± 3,53. Para ambas humedades los tratamientos con condición de 180°C fueron los que perdieron mayor luminosidad, en comparación a la piña fresca que tiene un valor de L* de 42,75 ± 2,27. La luminosidad (L*) disminuye a medida que aumenta la temperatura, es decir que los trozos se vuelven más opacos, comportamiento similar se ha encontrado en aros de piña crujientes secados al aire (Cortellino *et al.*, 2011) y en deshidratación de trozos de piña con diferentes pretratamientos (Zzaman *et al.*, 2021).

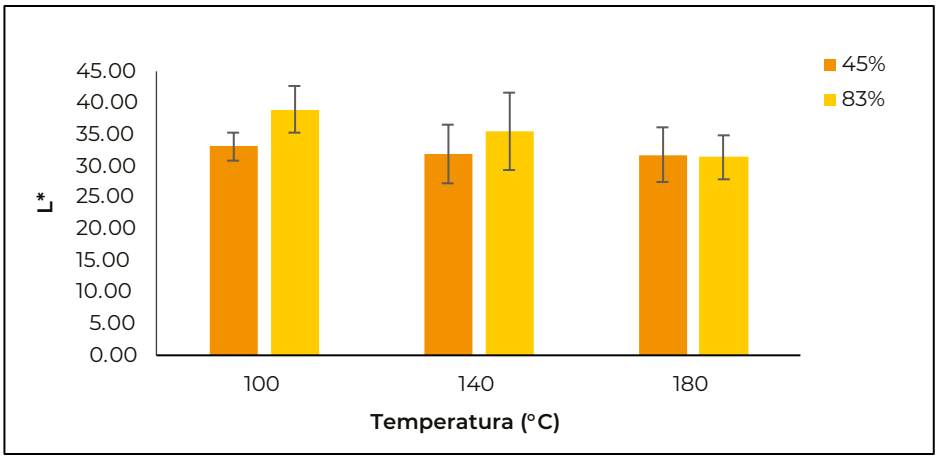


Figura 65. Valores de L* en *snacks* de piña MD2 procesados en VR y AF

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 80 se encuentra el análisis de varianza realizado para la luminosidad (L*) de las muestras de piña sometidas a diferentes tratamientos. Se evidenció que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) de la luminosidad respecto a la temperatura, a la humedad inicial y a la combinación de temperatura y humedad inicial.

Sin embargo, en la figura 65 se observa que para los valores de L* existe dispersión, el color no fue uniforme en los *snacks* que fueron sometidos a altas temperaturas y mayores tiempos de fritura, se comienzan a formar colores indeseables en los bordes de los *snacks* debido a reacciones de caramelización causadas por la presencia de sólidos solubles y altas temperaturas.

Tabla 80. Anova para Luminosidad (L*) de *snacks* de piña MD2

Fuente	Valor p
Temperatura	0,311
Humedad inicial	0,346
Temperatura*Humedad inicial	0,598

Parámetro a y b**

Fuente: elaboración propia.

La tendencia hacia el color rojo (a*) fue mayor para el tratamiento con las condiciones de temperatura del equipo de fritura a 100°C y humedad inicial de 45 % (b. h.) con un valor de 9,25 ± 2,18 y menor para el que tiene 100°C y 83 % (b. h.) con 6,15 ± 1,56 (ver figura 66).

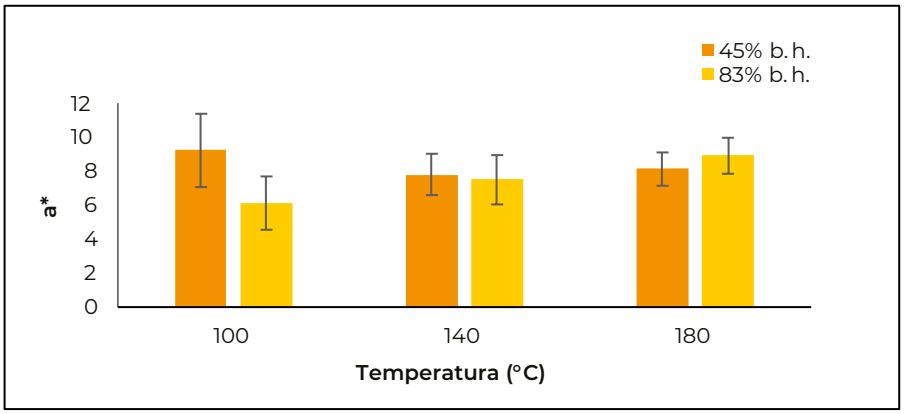


Figura 66. Variación de a* en trozos de piña MD2 sometidos a diferentes condiciones de procesamiento

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, se puede observar en la figura 67 la tendencia hacia el color amarillo b* fue mayor en el tratamiento de 100°C y 83 % (b. h.) con 38,83 ± 4,34 y menor para 100°C y 45 % (b. h.) con 33,63 ± 1,80.

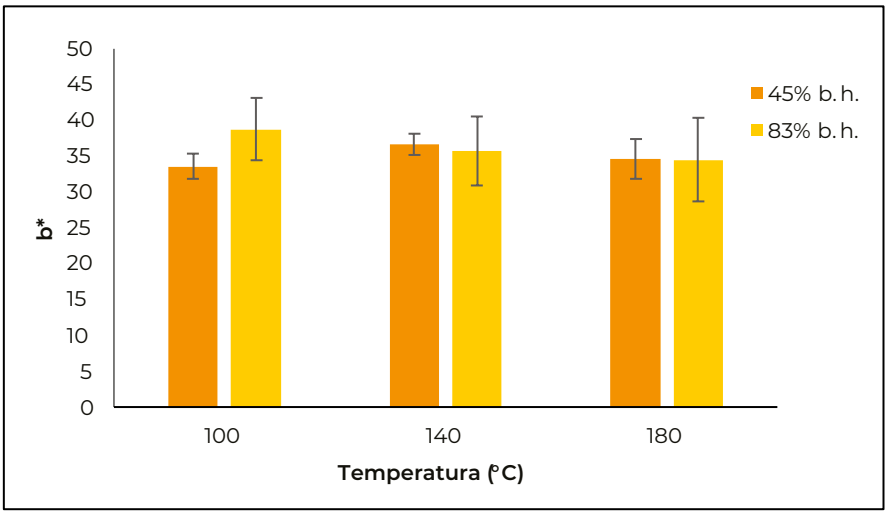


Figura 67. Variación de b* en trozos de piña MD2 sometidos a diferentes condiciones de procesamiento

Fuente: elaboración propia.

Los valores para los parámetros a* y b* en los *snacks* de piña MD2 son similares a los encontrados en piña secada por aire caliente convectivo (Ramallo y Mascheroni, 2012) y piña secada por bandejas (Zzaman *et al.*, 2021).

A pesar de que los resultados de a* y b* para los tratamientos son similares, se puede evidenciar en los trozos de piña que fueron sometidos durante tiempos prolongados de 20 y 30 min. a temperaturas de 180 y 140°C respectivamente. Los *snacks* de piña MD2 desarrollaron tonos marrones desagradables en sus extremos; a 7 min y 180°C y a 10 min y 140°C se puede observar un comportamiento similar por las altas temperaturas, que afecta la apariencia global del producto porque el color no es uniforme en todos los *snacks* (ver tabla 79). Esto se debe a reacciones químicas y físicas producto del procesamiento con calor, la piña al tener alto contenido de polifenoles es propensa a desarrollar reacciones enzimáticas, a su vez las reacciones no enzimáticas, como la caramelización que puede ocurrir por la presencia de azúcares y la exposición a altas temperaturas (Deng *et al.*, 2019). También influye el tiempo de exposición del alimento al calor, pues en tiempos cortos, menor será la producción de pigmentos oscuros (Macedo *et al.*, 2020).

El análisis de varianza (ver tabla 81) arroja que no hay efecto de alguno de los niveles de la temperatura del proceso por AF y de la humedad inicial de los trozos de piña MD2, sobre los parámetros de color a* y b* de los *snacks* ($p > 0{,}05$).

Tabla 81. Anova para parámetro a* y b*

Fuente	Valor p (a*)	Valor p (b*)
Temperatura	0,511	0,706
Humedad inicial	0,232	0,454
Temperatura*Humedad inicial	0,099	0,352

Fuente: elaboración propia.

El color es uno de los parámetros de calidad más crítico que evalúan los consumidores y que influye directamente en la venta del producto. De acuerdo con los resultados obtenidos, los valores de L*, a* y b* más cercanos a los de la piña fresca y que visualmente lucieron más aceptables fueron de los tratamientos que tenían como condiciones: 140°C–45 % (b. h.) y 100°C–83 % (b. h.). Sin embargo, es importante que los *snacks* tengan un color uniforme, sin que se formen pigmentos oscuros en sus bordes.

Textura

La dureza se correlaciona con la fuerza a la compresión máxima registrada durante la primera mordida (Mazumder *et al.*, 2007). La dureza en productos crujientes, como los productos freídos, indica la fragilidad en vez de su dureza de textura. La fuerza de ruptura fue usada en esta investigación como un indicador de crujencia de los *snacks* de piña MD2. Cuando la fuerza de ruptura o dureza toma valores bajos indica que hay una mayor crujencia (Al Faruq *et al.*, 2019).

En la figura 68 se aprecia que el tratamiento con condiciones de temperatura de freído a 100°C y contenido de humedad inicial de los *snacks* a 45 % (b. h.), presentó mayor dureza en comparación a los demás tratamientos con un largo tiempo de fritura (38 minutos), resultado que se puede comparar con el encontrado por Abd Rahman *et al.* (2017) que encuentra que la dureza de papas fritas aumenta con el tiempo de fritura.

Sin embargo, las muestras de este tratamiento no adquirieron la crujencia característica de los *snacks*, debido a la baja temperatura utilizada. Para la formación de la costra en la fritura se necesitan temperaturas más altas y tiempos cortos.

Se puede observar que en general para todos los tratamientos en que los *snacks* tenían contenido de humedad inicial de 45 % (b. h.) y habían sido sometidos a fritura con impregnación de aceite, la dureza fue mayor a causa del pretratamiento con $CaCl_2$ porque provoca que las paredes celulares de los trozos de piña sean más rígidas.

Los tratamientos que tenían como condición un contenido de humedad inicial del 83 % (b. h.) a las temperaturas de 140 y 180°C, resultaron con menor dureza, pero no porque

fueran más crujientes sino porque eran más blandos, no desarrollaron crujencia, sino una textura gomosa, también acompañadas de reacciones de caramelización.

Los valores de dureza obtenidos en los *snacks* de piña MD2 para los tratamientos de 100° y 83 % (b. h.) y 140°C y 45 % (b. h.) se encuentran en un rango entre 7 a 8N, valores comparables con los hallados en una investigación sobre la optimización de superficie de respuesta para la técnica de fritura con aire y sus efectos en la calidad de papas fritas de 7,4275 N (Abd Rahman *et al.*, 2017).

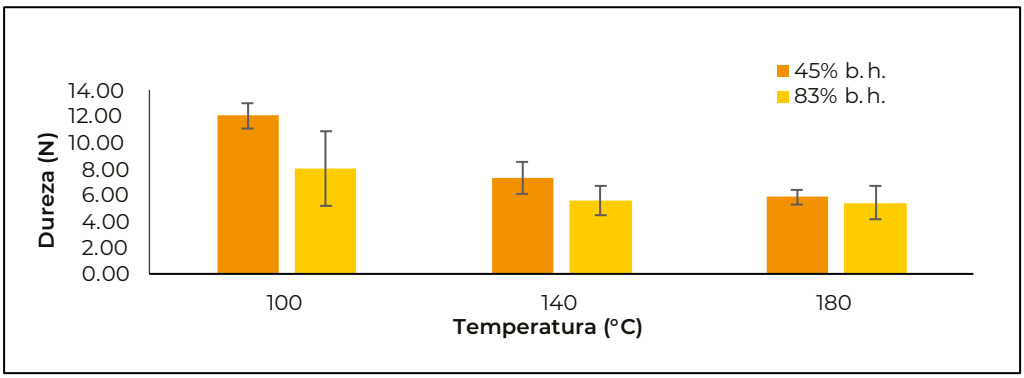


Figura 68. Valores de dureza en *snacks* de piña MD2 procesados a diferentes temperaturas

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 82 se encuentra el análisis de varianza realizado para la textura de las muestras de piña MD2 sometidas a diferentes tratamientos. Se evidenció que hay diferencias significativas ($p < 0,05$) de la textura respecto a la temperatura y a la humedad inicial.

Tabla 82. Anova para textura de *snacks* de piña MD2 (dureza)

Fuente	Valor p
Temperatura	0,001
Humedad inicial	0,022
Temperatura*Humedad inicial	0,203

Fuente: elaboración propia.

Se realizó una prueba posanova de Tukey para establecer las comparaciones entre las medias de dureza (N) de los *snacks* de piña respecto a la temperatura y a la humedad inicial, respectivamente.

En la tabla 83 se puede apreciar que a 100°C la dureza (N) de los *snacks* de piña MD2 fue mayor en comparación a las otras temperaturas, debido al mayor tiempo de fritura. Abd Rahman *et al.* (2017) publicaron que a mayor tiempo de fritura mayor es la dureza. A 180°C

algunos *snacks* empezaron a desarrollar reacciones de caramelización lo que provocó que el agua no se evaporara totalmente y así los *snacks* resultaron con textura gomosa. No se encontraron diferencias significativas entre los *snacks* obtenidos a 180°C y 140°C.

Tabla 83. Postanova (Tukey) efecto de la temperatura (°C) sobre la textura de *snacks* de piña MD2

Temperatura (°C)	Textura
100	10,063ª
140	6,4865b
180	5,6546b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 84 se observa que entre los *snacks* con humedad inicial de 45 % y los de 83 % (b. h.) hay diferencias significativas. Los *snacks* con contenido de humedad inicial de 45 % (b. h.) presentaron mayor dureza posiblemente porque fueron sometidos a un pretratamiento con $CaCl_2$, que brinda mayor firmeza a las paredes del alimento (Murzaini *et al.*, 2020).

Tabla 84. Postanova (Tukey) efecto de la humedad inicial (%) sobre la textura de los *snacks* de piña MD2

Humedad inicial (%)	Textura
45	8,437ª
83	6,366b

*Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes

Fuente: elaboración propia.

Contenido de grasa

El contenido de grasa solo fue medido a los *snacks* de piña MD2, producto de los tratamientos en los que las muestras tienen como humedad inicial 45 % (b. h.) y son freídas a 100, 140 y 180°C, tratadas con aceite mezcla de aceites vegetales en el proceso con AF.

En el proceso con AF, el alimento se encuentra cubierto ligeramente de aceite y como la fuente de calor es el aire, la deshidratación no es tan eficiente como el proceso de fritura convencional, lo que provoca que el alimento absorba a su vez menor cantidad de aceite, reacción que se puede observar en todos los tratamientos (Tian *et al.*, 2017). Sin embargo, el tratamiento que tiene como condiciones 100°C de temperatura en el equipo de fritura, fue el que obtuvo mayor contenido de grasa (%) a comparación de 140 y 180°C (ver figura 69), porque su proceso de fritura fue el más largo (38 min), favoreciendo que se produjera el intercambio de agua y aceite.

Los resultados de contenido de grasa (%) en la elaboración de *snacks* de piña en VR y AF se pueden comparar con los encontrados en fritura con aire caliente de *chips* de batata (4-5 %) y en tiras de papa (15 %) y se consideran bajos en comparación con lo que se obtiene en la fritura convencional para los alimentos, entre 34-39 % (Caetano *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2017).

Se considera que por lo general la fritura se debe producir con temperaturas altas y tiempos cortos para que ocurran distintos cambios fisicoquímicos como evaporación del agua, expansión del tejido, pardeamiento y entrada de aceite (Abd Rahman *et al.*, 2017). A 180°C de temperatura la entrada de aceite fue mayor, pero a esa temperatura en los *snacks* se formaron reacciones enzimáticas y no enzimáticas e incluso señales de producto quemado, imposibilitando continuar de manera óptima el proceso.

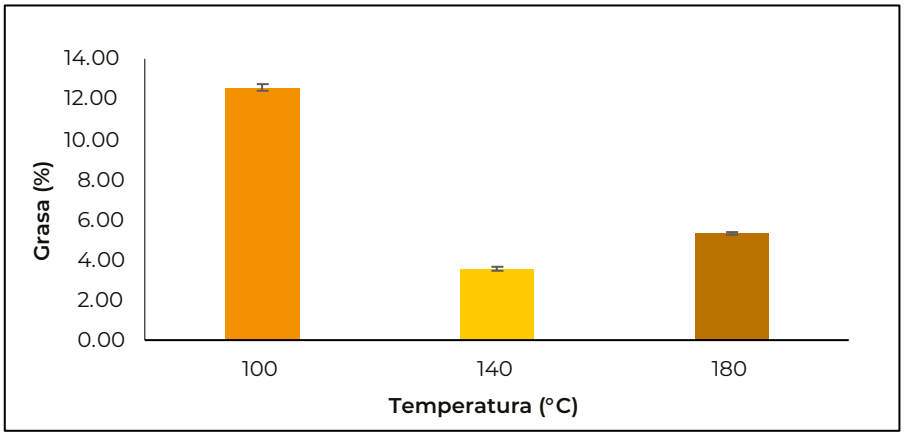


Figura 69. Contenido de grasa (%) para *snacks* de piña MD2 sometidos a diferentes tratamientos

Fuente: elaboración propia.

Vitamina C

En la tabla 85 se encuentran los valores de vitamina C hallados para *snacks* de piña obtenidos de diferentes tratamientos.

La vitamina C tiene gran importancia en el organismo porque puede ser un fuerte antioxidante que puede prevenir la peroxidación de lípidos, puede eliminar radicales libres y actuar como agente prooxidante (Sarkar *et al.*, 2020). El contenido de vitamina C, en frutas como la piña depende de factores como el clima, los tipos de fertilizantes empleados en el cultivo o la alta intensidad del sol, factores que hacen que la vitamina C no sea homogénea en todas las piñas (Silva *et al.*, 2015).

En los *snacks* obtenidos a partir de pretratamientos con cloruro de calcio y posteriormente secado en ventana de refractancia para alcanzar un contenido de humedad de 45 % (b. h.), se observa que el contenido de vitamina C a nivel general es menor en comparación a las muestras que fueron sometidas directamente a fritura con aire caliente (humedad inicial de 83 % b. h.). Lo anterior se puede deber a la pérdida de vitamina C por lixiviación en la etapa de inmersión de las muestras en solución de cloruro de calcio, para luego ser secadas en ventana de refractancia (Zzaman *et al.*, 2021).

La vitamina C también se ve degradada por altas temperaturas y exposición prolongada al calor (pérdida de humedad en el proceso de secado), lo que la hace dependiente del calor y la humedad, como se puede evidenciar en los *snacks* de piña MD2 obtenidos a partir de 180°C–83 % (b. h.) y 100°C–45 % (b. h), resultados que son similares los encontrados por Zzaman *et al.* (2021) y Sarkar *et al.* (2020) en secado de piña.

Se puede apreciar que los *snacks* de piña MD2 obtenidos a partir de las condiciones de 140°C–45 % (b. h.) retuvieron mayor cantidad de vitamina C (99,40 mg/100 g) en comparación a los que tenían la misma humedad inicial, esto podría deberse a que la temperatura aplicada fue intermedia y al tiempo de procesamiento corto de 10 min en el proceso de fritura con AF.

Tabla 85. Contenido de vitamina C para *snacks* de piña MD2

Condición del tratamiento		Vitamina C (mg/100 g)
Fresca		**244,28**
100°C	45 % (b. h.)	58,56
140°C		99,40
180°C		69,70
100°C	83 % (b. h.)	215,70
140°C		77,60
180°C		48,50

Fuente: elaboración propia.

Tratamiento alternativo (TA) de mejoramiento de las características de calidad de los *snacks* de piña MD2

Teniendo en cuenta los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los distintos tratamientos, a nivel general quien obtuvo mejores resultados es el de condiciones de muestras con humedad inicial de 45 % (b. h.) y el proceso AF a 140°C por 10 min. Sin embargo, se consideró que parámetros como humedad, color y a la textura, pueden

mejorar, por lo que se decidió disminuir el contenido de humedad inicial de las muestras presecadas por VR hasta alrededor de 25 % (b. h.) y freírlas a la misma temperatura.

La deshidratación en VR para que las muestras de piña MD2 alcancen un contenido de humedad de alrededor de 25 % (b. h.), según el ajuste de las cinéticas de secado para 90° y 25 % (b. h.) (realizadas en la primera parte de la investigación), resultó de 66 min.

Se siguió la metodología y se midieron los parámetros fisicoquímicos considerados anteriormente para los otros tratamientos. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Cinética de secado para el TA

En la figura 70 se observa la cinética de secado para los trozos de piña MD2 que fueron freídos con aceite, a 140 °C en el proceso con AF. Los trozos con contenido de humedad de 25 % (b. h.) que fueron previamente sometidos a deshidratación por VR disminuyeron significativamente su contenido de humedad con AF hasta 0,021 g agua/g m. s. a los 8 minutos.

Los trozos de piña MD2 con contenido de humedad inicial cercano al 83 % (b. h.) que fueron sometidos a fritura sin aceite con AF, alcanzaron un contenido de humedad aproximado de 0,04 g agua/g m.s., a los 30 minutos.

Un contenido de humedad inicial menor al inicio de la fritura hace más rápido el proceso de deshidratación de muestras de piña MD2 con AF. El contenido de humedad alcanzado a los 8 min, por muestras con 45 % (b. h.) de humedad inicial, fue superior con 0,032 g agua /g m.s (ver figura 63), en comparación con el hallado a la misma temperatura, pero a menor contenido de humedad inicial (25 % b. h.), que fue de 0,021 g agua/ g m.s.

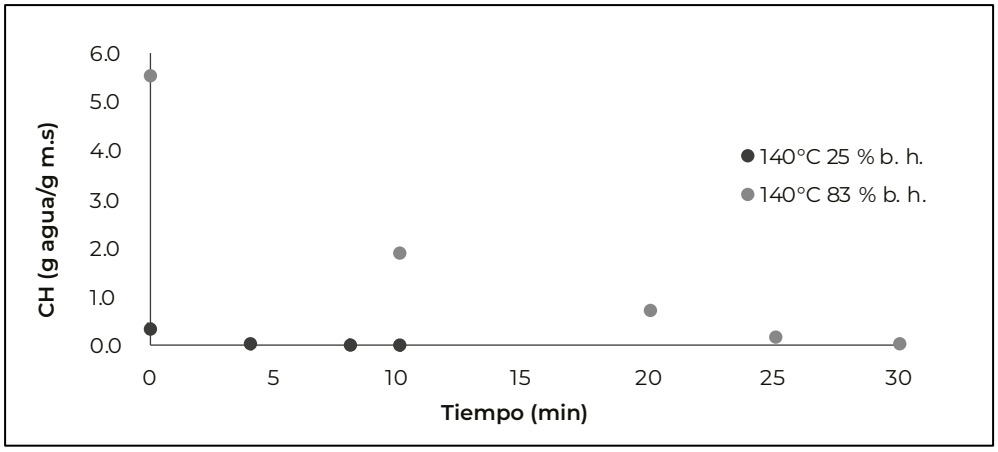


Figura 70. Cinéticas de secado de trozos de piña MD2 secados por AF a 140°C, humedad inicial de 25 % (b. h.)

Fuente: elaboración propia.

El comportamiento de la cinética de secado para muestras con contenido de humedad inicial de 25 % (b. h.) es similar a los hallados para las muestras con 45 % (b. h.) A diferencia de que los trozos pierden el agua superficial más rápidamente, hasta que la disminución se vuelve constante (Abd Rahman *et al.*, 2017). Se determinó que el tiempo óptimo para el proceso con AF sería de 7,3 ± 0,1 min.

Comparación entre tratamientos: humedad inicial 25 y 45 % (b. h.) en af a 140 °C

En la tabla 86, se observan los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados para en las muestras con CH inicial de 25 % (b. h.) por VR sometidas al proceso con AF a 140°C, comparadas con los resultados de muestras con CH inicial de 45 % (b. h.), a igual temperatura de fritura.

Tabla 86. Parámetros fisicoquímicos de piña MD2, tratamientos con CH 25 % y 45 % (b. h.), por AF a 140°C

Tratamiento (140°C AF)	Humedad (% b. h.)			Actividad de agua (*aw*)			Color								
							L*			a*			b*		
CH 45 % b. h.	2,421	±	0,816	0,378	±	0,068	31,721	±	4,647	7,823	±	1,187	36,751	±	1,464
CH 25 % b. h.	2,021	±	0,186	0,380	±	0,024	29,520	±	2,087	9,281	±	1,873	32,887	±	1,536

Textura (N)			Grasa (%)		
7,339	±	1,182	3,556	±	0,095
7,590	±	0,851	5,775	±	0,041

Fuente: elaboración propia.

Se encontró que para alcanzar el contenido de humedad de 2,021 % ± 0,186 (b. h.) en el proceso por AF. Las muestras con humedad inicial de 25 % (b. h.) tardaron 7 min, una disminución aproximada de 3 min en comparación con las que tenían contenido de humedad inicial de 45 % (b. h.). A esta temperatura es el tiempo adecuado (7 min) para alcanzar el contenido de humedad deseado y que a su vez no ocurran reacciones enzimáticas que afecten el producto en su color, tamaño y otras características organolépticas (Arias-Giraldo y López-Velasco, 2019).

La actividad de agua para las muestras obtenidas a partir de ambos tratamientos fue similar (0,38), indica que los *snacks* de piña MD2 secados por fritura con aire caliente, son estables contra el ataque de los microorganismos durante su almacenamiento porque está alejada de la a_w crítica que es 0,63 (Ochoa-Martínez *et al.*, 2012; Sethi y Kaur, 2019). Además, en comparación con todos los tratamientos evaluados se obtiene en un tiempo corto de proceso (7 min).

Con relación al color (ver tabla 87), las muestras adquirieron un tono más uniforme, no presentaron oscurecimiento en sus extremos en comparación con las muestras con contenido de humedad inicial de 45 % (b. h.). El tiempo de exposición del alimento al aire

caliente en el proceso de AF fue más corto, lo que impidió que se desarrollaran colores indeseables producto de reacciones enzimáticas (Macedo *et al*., 2020). La luminosidad L*, fue menor para el tratamiento de humedad inicial 25 % (b. h.) con 29,52 ± 2,09, esto indica que mostró más claridad, consecuencia del menor tiempo de proceso (7 min). Se ha comprobado que el tiempo de secado influye en el cambio de color, como se reportó en el secado de manzana (Rajoriya *et al*., 2020). Los valores para los parámetros a* y b* en los *snacks* de piña MD2 de ambos tratamientos resultaron similares a los encontrados en piña secada por aire caliente convectivo (Ramallo y Mascheroni, 2012) y piña secada por bandejas (Zzaman *et al*., 2021).

Tabla 87. Color de *snacks* de piña MD2 en los tratamientos con 45 % y 25 % (b. h.) / AF a 140°C

Tratamiento ch inicial 45 % (b. h.) / Fritura 140°C – 10 min		
T4	**T5**	**T6**
		
Tratamiento ch inicial 25 % (b. h.) / Fritura 140°C – 7 min		
TA1	**TA2**	**TA3**
		

Fuente: elaboración propia.

La dureza en la textura para ambos tipos de tratamientos fue mayor en comparación a los otros, gracias a la impregnación con la solución de $CaCl_2$, porque provoca que las paredes celulares de los trozos de piña sean más rígidas; la deshidratación en VR permite reducir la cantidad de agua de los trozos de piña y por la impregnación con aceite se mejora las características físicas (textura) y organolépticas (sensoriales) del alimento durante la fritura (Murzaini *et al*., 2020). La dureza del tratamiento, con CH inicial de 25 % (b. h.), fue

mayor con 7,59 N ± 0,85 y se puede comparar con la hallada en papas fritas de 7,43 (Abd Rahman *et al.*, 2017).

El contenido de grasa, para el tratamiento que manejo CH inicial de 25 % (b. h.), fue mayor 5,78 % ± 0,04, porque las muestras contenían menor humedad facilitando el intercambio de agua y aceite durante el proceso de freído con aceite. Las muestras de piña MD2 adquirieron más de la crujencia, característica de los *snacks*, debido a la alta temperatura y el corto tiempo al que fueron sometidas, provocando que en ellas ocurrieran cambios fisicoquímicos (daño físico por el corte, formación de capa rugosa por liberación de material intracelular, evaporación del agua, expansión del tejido, pardeamiento y entrada de aceite) y no se provocaran reacciones de caramelización o quemaduras en los *snacks* (Abd Rahman *et al.*, 2017).

En la tabla 88 se observa la comparación entre el tratamiento que obtuvo mejor comportamiento a nivel general en todos los parámetros de calidad analizados y el tratamiento alternativo, con respecto al contenido de vitamina C.

Se observa disminución de este parámetro para ambos tipos de tratamientos con respecto a la muestra fresca, por factores como lixiviación en la solución de cloruro de calcio y pérdida de humedad en el secado por ventana de refractancia y fritura con aire caliente (Zzaman *et al.*, 2021). Sin embargo, al ser corto el tiempo de exposición al calor (7-10 min) el contenido de vitamina C no se afectó drásticamente en los *snacks* de piña MD2, ya que se ha evidenciado que a mayor tiempo de secado, mayor es la pérdida de vitaminas en frutas (Marín *et al.*, 2006).

Tabla 88. Contenido de vitamina C, tratamientos con CH 25 % y 45 % (b. h.), por AF a 140 °C

Tratamiento		Vitamina C (mg/100 g)
Fresca		244,28
140°C	45 % (b. h.)	99,40
140°C	25 % (b. h.)	80,50

Fuente: elaboración propia.

Análisis microbiológico

Se realizó análisis microbiológico de las muestras de *snacks* de piña MD2 para cada uno de los tratamientos evaluados y se estableció que cumplen con lo reglamentado en la Resolución Número 3929 de 2013 que exige para frutas deshidratadas, que el recuento de mohos y levaduras sea menor o entre el nivel 10-100 para que el producto sea considerado de buena calidad (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). Todas las muestras cumplieron con esta reglamentación.

3.1.3.4 Conclusiones

- Se desarrollaron *snacks* de piña MD2 mediante un proceso combinado de deshidratación por ventana de refractancia (VR) acoplado a un proceso con aire caliente en movimiento, *air fryer* (AF). Se encontró que las condiciones de operación en VR y en AF, para obtener un producto tipo *snacks* con características de calidad aceptadas por los consumidores, son: VR a 90 °C de temperatura, alrededor de 66 min, hasta obtener un contenido de humedad de 25 % (b. h.). La operación con AF se debe realizar a 140 °C por 7 min. Se pudo constatar que con estas condiciones de operación las propiedades fisicoquímicas, tales como el contenido de humedad, el contenido de aceite, la actividad de agua, el color y la textura no son significativamente afectadas por estas condiciones de tiempo y temperatura de los procesos ni por la humedad de los *snacks*.
- La combinación del presecado por ventana de refractancia (VR) y *air fryer* (AF), mejoró las características de textura de los *snacks* de piña MD2, comparada con las muestras sometidas solamente a AF. Además, la impregnación con cloruro de calcio contribuyó en la dureza en las paredes celulares de la matriz alimentaria para obtener una textura más dura en los *snacks*.
- Se encontró que las altas temperaturas (180°C) provocaron reacciones enzimáticas y no enzimáticas indeseables (reacciones de Maillard) en muestras de piña, afectando la apariencia global del producto, por cambios de color importantes y por cambios de sabor debidos al proceso de termo oxidación que sufren los aceites.
- Las muestras con contenido de humedad de 83 % (b. h.), que fueron sometidas directamente a fritura con AF, necesitaron mayor tiempo para alcanzar un contenido de humedad entre alrededor del 4 % (b. h.), esto implica mayor costo energético por lo que no se recomienda este proceso. Además, estos productos no desarrollaron la textura sino una consistencia gomosa. También, la apariencia global de los *snacks* de piña MD2 de los procesos de AF a 140 y 180°C, con muestras presecadas en VR y CH de 45 % (b. h.) no presentaron mucha diferencia entre ellos, pues ambas condiciones presentaron *snacks* con defectos importantes en el color, en la apariencia global, además de otras características que no se alcanzaron, como la textura.
- La vitamina C mostró una disminución para todos los tratamientos con respecto a los contenidos en la muestra fresca. La disminución de los contenidos puede ocurrir por varios factores, como lixiviación en la solución de cloruro de calcio que ocurre en el pretratamiento y por la pérdida de humedad en el secado por ventana de refractancia y por el proceso de AF (Zzaman *et al*., 2021). Sin embargo, al ser corto el tiempo de exposición al calor (7-10 min) en el proceso de AF, el contenido de vitamina C no se afectó tan drásticamente en los *snacks* de piña MD2. Se ha eviden-

ciado que, a mayor tiempo de secado, mayor es la pérdida de vitaminas en frutas (Marín *et al*., 2006).

- El análisis sensorial con un panel de aceptación no entrenado no pudo ser implementado por la situación de pandemia mundial covid-19.

3.1.3 Ficha técnica del producto

 **Fuente:** elaboración propia.	**Ficha técnica**
Nombre	***Snacks* de piña MD2**
Descripción del producto	Trozos triangulares de piña variedad MD2, deshidratada y frita con aire caliente y poca cantidad de aceite.
Características principales	**Parámetros fisioquímicos:** • Contenido de humedad (b. h.): 2,02 ± 0,19 • Actividad de agua: 0,41 ± 0,04 • Color: Luminosidad (L*): 32,41 ± 4,06 parámetro b*: 33,72 ± 0,64 • Textura: 7,67 ± 0,54 N • Contenido de grasa (%): 5,78 ± 0,04
Características nutricionales	- Vitamina C: 80,5 mg /100g
Ingredientes	Piña variedad MD2, grado de madurez 3/4. Aceite (mezcla de oleína de palma, soya y girasol).

Descripción del proceso de elaboración	• **Selección:** se seleccionan los frutos de piña para ser procesados, cuidando que estén libres de defectos y enfermedades. La fruta debe tener color y madurez uniforme; para la producción de *snacks* de piña deshidratados y fritos, se recomienda madurez de 3/4. • **Lavado y desinfectado:** la fruta debe ser lavada y desinfectada con una solución de hipoclorito al 0,01 % por aproximadamente 10 min. Posterior a la desinfección se deben lavar nuevamente con agua potable para eliminar restos de la solución. • **Pelado y obtención de trozos (triangulares):** el pelado se realiza de forma manual, luego la piña se debe cortar con una mandolina calibrada para obtener láminas de 4,00 ± 0,5 mm de espesor. Retirar el corazón de las láminas con un sacabocados de 21,9 ± 0,05 mm de diámetro en acero inoxidable y trocear en 8 partes de forma triangular. • **Pretratamiento:** los trozos de piña se impregnan con una solución de cloruro de calcio con una concentración de 0,15 % por 20 minutos, sin agitación, con una relación másica piña/solución de 1/4. Posteriormente, se retiran las muestras de la solución y se secan superficialmente con papel absorbente. • **Deshidratación en ventana de refractancia (VR):** se realiza secado en ventana de refractancia a 90°C durante aproximadamente 66 min, para que los trozos de piña alcancen un contenido de humedad de alrededor de 25 % (b. h.). • **Fritura con AF (*air fryer*):** se impregnan superficialmente los trozos de piña deshidratados con un aceite (mezcla de aceites vegetales: oleína de palma, soya y girasol), siguiendo una relación másica de 3 g/100 g, es decir, 3 g de aceite por 100 g de trozos de piña deshidratado. En medio de 2 superficies planas de papel aluminio aceitadas superficialmente, se colocan los trozos entre las 2 láminas de aluminio y se les hace una leve presión manual usando un rodillo, para asegurar que los trozos queden impregnados superficialmente por ambas caras. Los trozos de piña se fríen a 140°C durante 7 min, para obtener *snacks* de piña MD2 deshidratados con contenido de humedad alrededor de 2 % (b. h.) y un contenido de aceite cercano al 6 %. Los *snacks* de piña MD2 se deben acondicionar a temperatura ambiente y luego ser empacados.
Condiciones de conservación recomendadas	Almacenamiento en empaque cuyo material proteja al producto de la luz y de la humedad.
Tiempo de vida útil estimado	Máximo 5 meses.

3.2. Empaque innovador desarrollado

3.2.1 Generalidades del producto por empacar

La piña (*Ananas comosus* L.) es una fruta perteneciente a la familia de las bromeliáceas, perenne, con cuerpo cilíndrico, carnoso y fibroso (Dane, 2016). Se distinguen distintas variedades de piña, entre las que se destaca la *gold* (MD2), que corresponde a un híbrido entre variedades, con al menos un 50 % de la variedad Cayena Lisa (Cerrato, 2013). Esta

hibridación se desarrolló con la finalidad de obtener una piña con mayor dulzura, consistencia y tamaño uniforme (Mercado-Ruiz *et al.*, 2019) y una mejor proporción de compuestos bioactivos. Se estima que esta variedad presenta hasta 3 veces más vitamina C que otras variedades (Lu *et al.*, 2014; Mercado-Ruiz *et al.*, 2019).

Este hecho ha permitido que la piña MD2 sea reconocida por presentar un mayor contenido de azúcares con relación a las demás variedades, buenas características organolépticas (sabor y olor), gran valor nutricional y por consiguiente, buena aceptación a nivel mundial para su consumo (Dane, 2016).

Al ser una fruta no climatérica, los tiempos de cosecha deben ser cercanos a su madurez comercial, razón por la cual se deben proponer alternativas que permitan extender su vida útil. Los procesos de deshidratación son una buena alternativa para el desarrollo de *snacks* que cada día hacen parte de las preferencias de los consumidores por proveer una saciedad momentánea, obedeciendo también a la creciente tendencia de adquirir alimentos cada vez más saludables (Rivera-Mirón *et al.*, 2020).

Características del producto por empacar

Trozos de piña deshidratada por secado con ventana de refractancia y fritos con aire caliente de alta velocidad (*air frying*).

Factores causantes de deterioro y pérdida de calidad

Los *snacks* de piña secados a alta velocidad con aire caliente están sujetos a varios aspectos que los deterioran y, por ende, disminuyen su calidad. Empezando por el proceso, los *snacks* deben tener un ancho óptimo que guarde relación entre humedad y masa, con el fin de no tener superficies llenas de fisuras y poros provenientes de la salida acelerada de vapores. Además, se debe evitar el exceso de secado y pasar de la crocancia a la dureza extrema (Farris *et al.*, 2008). En el *handbook* especializado en piña y sus productos, se recalca que un problema de los *snacks* por el método de secado a alta velocidad y aire caliente es la disminución considerable del volumen del corte de la piña (Lobo y Paull, 2017). De igual manera se debe evitar el pardeamiento por reacción de Maillard del tipo no enzimático con soluciones de sacarosa (Cortellino *et al.*, 2011).

Además, para la FAO los factores de deterioro y control incluyen el pardeamiento por acción enzimática por fenolasas que depende en gran medida del porcentaje de humedad y la actividad con el agua a_w (Enachescu, 1995), se debe tener en cuenta que, al ser un alimento procesado con contenido lipídico, el cambio en sabor se puede dar por compuestos volátiles provenientes de la descomposición de estos bajo la acción oxidativa del oxígeno, volviendo al *snack* rancio (Velasco *et al.*, 2010). En el mismo documento la FAO reconoce que con la descomposición de lípidos, alta acción enzimática por la luz, actividad del agua y oxígeno, el valor nutricional disminuye considerablemente por oxidación continua; todo esto depende del empaque, pues algunos iones metálicos generan complejos químicos que

alteran los estabilizantes de los alimentos (Enachescu, 1995). En este caso el alto contenido de ácido ascórbico que evita la acción enzimática y oxidación continua puede acomplejarse con iones del empaque, aumentando la probabilidad de degradación nutricional, haciendo evidente la necesidad de un empaque que no incorpore metales.

Un punto que recalcar es la actividad del agua y la humedad, pues se debe controlar dichos porcentajes (menor al 3 % en humedad), porque, si son altos los contenidos de agua, disminuiría la fuerza del *snack*. Además, actividades de agua a_w > 0,45 generan cohesión entre varias láminas de piña haciendo que el *snack* se comporte como un chicle.

3.2.2 Propuesta de sistema de empaque innovador para el producto

Considerando las características y factores causantes de deterioro de las frituras de piña tipo *snack* se propuso el siguiente sistema de empaque para este producto:

Sistema de empaque biodegradable estilo bolsa semitransparente de 120 × 140 mm elaborado con láminas de ácido poliláctico (PLA) compuesto con un 1 % de microcelulosa funcionalizada con ácido láurico para conferir mayor hidrofobicidad a la lámina reduciendo la permeación de humedad. El espesor de las láminas es de aproximadamente 0,060 mm y el empaque propuesto tiene una capacidad de 30 a 40 g de frituras de piña.

3.2.2.1 Desarrollo de los elementos y materiales de empaque

Para el desarrollo de las láminas de PLA compuesto con celulosa se hicieron los siguientes experimentos:

Inicialmente, se empleó ácido poliláctico (PLA) proveniente de la Empresa Corbion referencia Luminy LX175, el cual se llevó a secado por 24 horas a una temperatura promedio de 90 °C. El PLA se encontraba en pellet y para la realización de las películas se usó una solución al 3,15 % w/v en cloroformo como buen solvente para *solvent casting*. El PLA fue caracterizado por RMN y FTIR-ATR, como se muestra en los siguientes espectros.

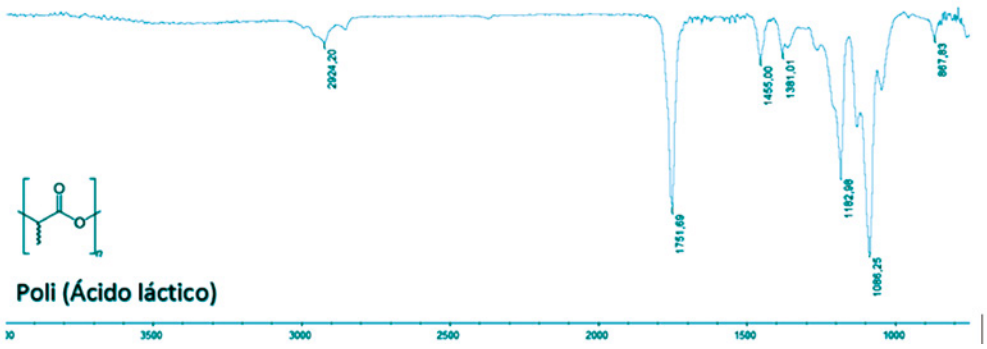


Figura 71. Espectro FTIR-ATR del ácido poliláctico (PLA) empleado experimentalmente

Fuente: elaboración propia.

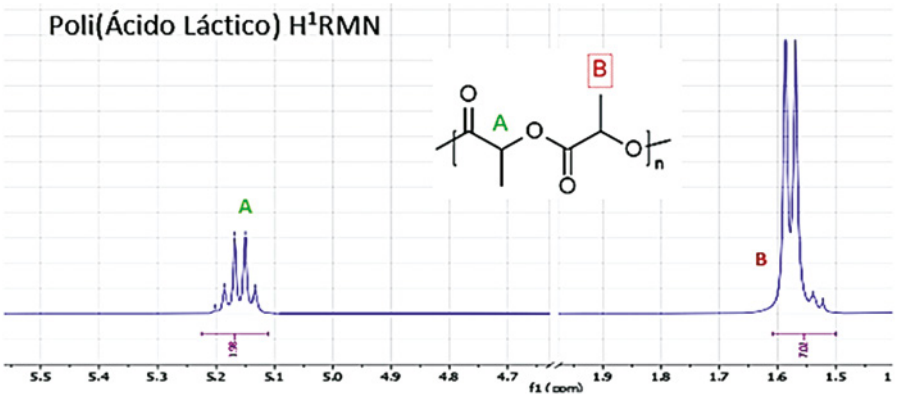


Figura 72. Espectro ^{1}H-RMN del ácido poliláctico (PLA) empleado experimentalmente

Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia en la figura 71, el espectro del PLA posee estiramientos C-H de carbonos sp^3 de la cadena principal a 2924 cm^{-1} y una banda característica del estiramiento carbonilo del éster alifático C=O a 1751 cm^{-1}. Por otra parte, se observa el *rocking* H-C-H de carbonos sp^3 a 1182 cm^{-1} y la banda de estiramiento C-O a 1086 cm^{-1}.

Como se observa en la figura 72, el espectro de ^{1}H-RMN presenta 2 cambios químicos correspondientes al H del carbón A con señal en **δ 5,16** (q, J = 7,0 Hz, 3H) que corresponde un tetraplete por el metilo vecino marcado como B, así mismo se evidencia una señal a **1,58** (d, J = 7,0 Hz, **1H**) correspondiente a la señal del metilo B y un duplete a raíz del H vecino de A. Las señales mencionadas presentan las integrales de A: y B: guardando la relación entre los protones confirmando que el producto recepcionado es PLA sin contaminación. Se puede afirmar por la ausencia de la señal en 1,60 o cercana, que el polímero tiene una tacticidad tipo sindiotáctico.

Se empleó microcelulosa (MC) funcionalizada con ácido oleico (MC-Ole) y ácido láurico (MC-Lau) como material hidrófobo. Estas fueron obtenidas en las reacciones de tipo *one-step* descritas a continuación:

Figura 73. MC-Ole y MC-Lau sintetizadas para el uso en películas de PLA

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la síntesis de MC-Ole y MC-Lau para escalar la formación de películas mediante el método modificado *One-spot* (Almasi *et al.*, 2015), modificando las cantidades empleadas y el tiempo de reacción para asegurar mayor esterificación de los ácidos grasos. Se adicionaron 0,5 g de microcelulosa (MC), 15 cm^3 de piridina, 3,5 g de cloruro de tosilo (TsCl) y 5 g de ácido láurico o ácido oléico a un balón de reacción de 100 cm^3. Se mantuvo la reacción a 50 °C y se dejó por 48 h. Se adicionó 30 cm^3 de agua destilada para detener la reacción, se filtró al vacío y se lavó con 100 cm^3 de etanol/metanol 1:1. Posteriormente, se realizó una destilación Soxhlet con 100 cm^3 de etanol/metanol/acetona 1:1:1 por 6 horas y se secó a 40 °C en horno de vacío. El material obtenido se encuentra en la figura 73.

Se determinó el espectro FTIR-ATR de la MC-Ole y MC-Lau para comprobar la formación del enlace éster entre la celulosa y el ácido graso.

Como se observa en las figuras 74 y 75, se elucidan 2 picos agudos de estiramientos C=O en las zonas de 1740 cm^{-1} y 1700 cm^{-1}, las cuales indican las distintas sustituciones en los hidroxilos disponibles de la microcelulosa para formar ésteres con los ácidos grasos. Adicionalmente, se observa la pérdida de la banda de estiramientos O-H en la zona entre 3500^{-1} y 3000 cm^{-1}. En el caso de la MC-Ole, se observa la banda asociada al estiramiento C=C en 1647 cm^{-1}.

Una vez sintetizada la MC-funcionalizada, se realizaron películas mediante *solvent casting*, ensayando en cajas de Petri de 9 cm de diámetro: a) la relación de espesor/volumen de PLA al 3 % en cloroformo, b) el efecto del solvente, c) la concentración de microcelulosa y d) la presencia de un aditivo.

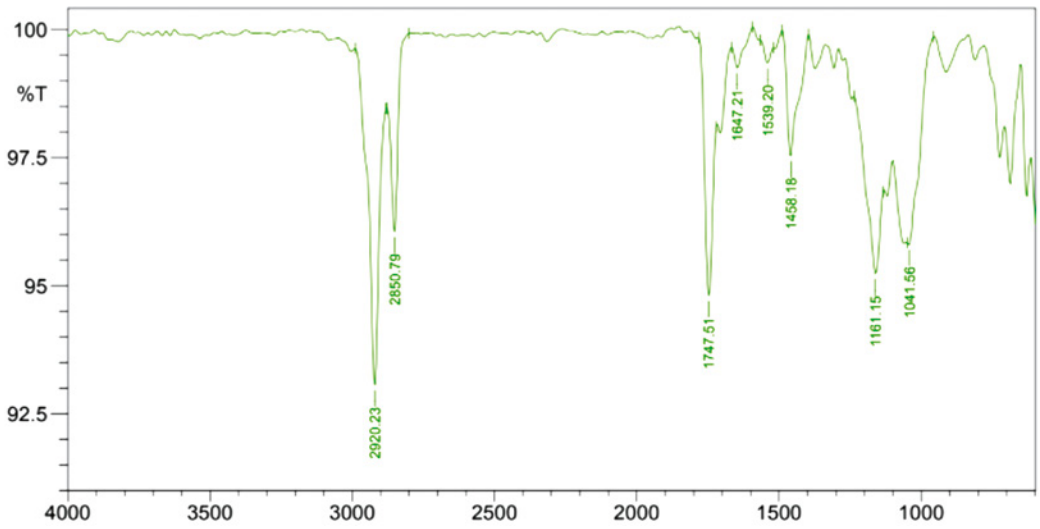


Figura 74. Espectro FTIR-ATR de la MC-Ole sintetizada

Fuente: elaboración propia.

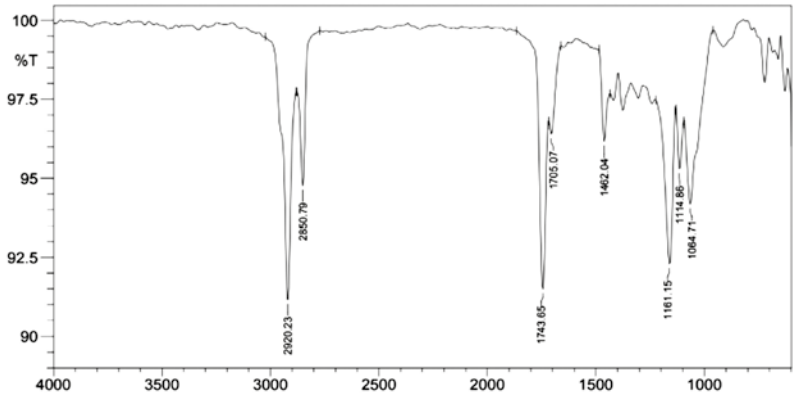


Figura 75. Espectro FTIR-ATR de la MC-Lau sintetizada

Fuente: elaboración propia.

Inicialmente, se realizaron películas de solución al 3 % de PLA en cloroformo de 10 cm^3, 15 cm^3 y 20 cm^3 para determinar sus espesores. Esta medida se realizó mediante medición con micrómetro (KEX), con sensibilidad de 0,01 mm de 5 zonas distintas de la película por quintuplicado y se promedió el valor de cada película de espesor distinto. Se llegó a la conclusión de estandarizar a 15 cm^3 de solución al 3 % de PLA en cloroformo para obtener películas de 0,05 mm–0,07 mm.

Como se observa en la figura 76, las películas hechas en el solvente tetrahidrofurano (THF) generan una gran fragilidad y fácil ruptura de estas a lo largo de su secado, caso contrario al cloroformo, el cual necesitaba únicamente de una mejor dispersión de la celulosa en el medio por las aglomeraciones que se observan.

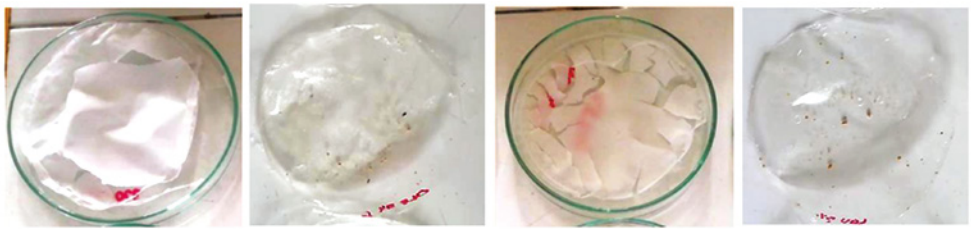


Figura 76. Películas de PLA MC-Funcionalizada en THF y $CHCl_3$. De izquierda a derecha: THF MC-Ole 1 %, $CHCl_3$ MC-Ole 1 %, THF MC-Lau 1 % y $CHCl_3$ MC-Lau 1 %

Fuente: elaboración propia.

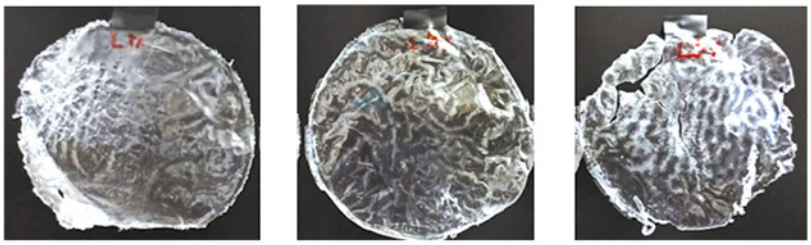


Figura 77. Películas de PLA MC-Lau al 1 % (izquierda), 3 % (medio) y 5 % (derecha)

Fuente: elaboración propia.

En la figura 77 se evidencia cómo la adición de un mayor porcentaje de celulosa a la película de PLA genera una menor dispersión de esta y una mayor fragilidad, generando la ruptura de las películas al momento de removerlas del molde. Este efecto se evidenció tanto en la MC-Lau como en la MC-Ole, por lo que se decidió tanto estandarizar el porcentaje de microcelulosa de la película en 1 % como dejar en agitación constante durante 1 día la solución de cloroformo, PLA y microcelulosa para aumentar la dispersión, evitar incrementar su fragilidad y mejorar la apariencia de esta.

Finalmente, para evitar la ruptura de las películas cuando estas son retiradas del molde se decidió adicionar el aditivo Tween 80. Este generó una gran facilidad de remoción en los moldes, así como una ligera plastificación de la película, disminuyendo su fragilidad, pero provocó una pérdida de la hidrofobicidad, la cual se ensayó mediante gotas de agua en la superficie, comparando con las películas sin Tween 80, como se observa en la figura 78.

Figura 78. Prueba de hidrofobicidad de manera artesanal mediante medición de ángulo de contacto de las películas, PLA MC-Ole 1 % y Tween (izquierda) y PLA MC-Lau 1 % y Tween (derecha) con agua

Fuente: elaboración propia.

Se decidió emplear aceite mineral como aditivo para conservar la hidrofobicidad y la facilidad de retiro del molde, pero este provocó la ruptura de las películas, por lo que se decidió lavar las producidas con Tween 80 en agua destilada, eliminando el aditivo superficial y recuperando la hidrofobicidad.

A partir de los resultados obtenidos, se realizó un ensayo de hidrofobicidad mediante medición de ángulo de contacto de las películas de PLA y MC-funcionalizado al 1 %. Como se evidencia en la figura 79, el ángulo de contacto de la película de PLA de 0,05 mm–0,07 mm de espesor es de 69,3°(izquierda) y 70,1°(derecha), mientras que la película de PLA MC-Ole 1 % generó un ángulo de contacto de 93°(izquierda) y 97°(derecha), y la película de PLA MC-Lau generó un ángulo de contacto de 92°(izquierda) y 93°(derecha). De esta manera, se observa el aumento de hidrofobicidad por la adición de la microcelulosa funcionalizada en el PLA.

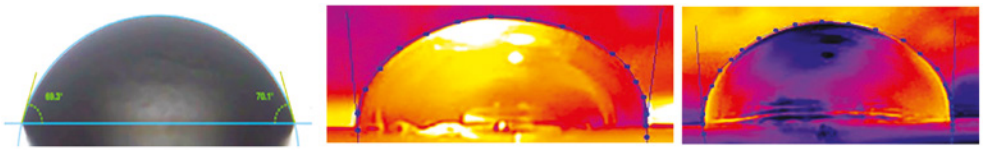


Figura 79. Prueba de hidrofobicidad mediante medición de ángulo de contacto de las películas de PLA (izquierda), PLA MC-Ole 1 % (medio) y PLA MC-Lau 1 % (derecha) con agua

Fuente: elaboración propia.

A partir de las pruebas realizadas a pequeña escala para estandarizar las condiciones a las cuales se realizaron los empaques, se empleó la MC-funcionalizada obtenida para generar películas por *solvent casting* en moldes de aluminio de 300 × 300 mm. Las condiciones de escalamiento fueron determinadas asumiendo que la relación entre el volumen y el área es lineal, conservando el mismo espesor de película. De esta manera, se realizó el siguiente cálculo:

$$Volumen\ (molde\ 30\ x\ 30cm) = \frac{15\ mL\ (volumen\ en\ película\ de\ 9\ cm\ diámetro) * 900\ cm^2\ (área\ molde\ cuadrado\ 30\ x\ 30\ cm)}{63{,}6\ cm^2\ \ (área\ caja\ de\ Petri\ 9\ cm)\ )}$$

(1)

A partir de este cálculo, y manteniendo la misma relación de una solución de PLA al 3 % p/v en cloroformo, y MC-funcionalizada al 1 % p/p del peso de PLA, se emplearon 210 mL de cloroformo para disolver 6,37 g de PLA y 0,0637 g de MC-Lau y MC-Ole. A partir de estas películas, se realizaron cortes con bisturí para obtener empaques de 140 × 120 mm, con un espacio de 0,5 cm en cada borde, con el fin de permitir el correcto termosellado entre 2 películas y generar el empaque correspondiente, obteniendo las películas de la figura 80.

Figura 80. Empaques obtenidos de PLA MC-Ole y MC-Lau al 1 %, con Tween 80 como aditivo para el almacenamiento de *snacks* de piña

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.2 Reporte de pruebas de almacenamiento

Se realizó un ensayo exploratorio de almacenamiento acelerado a una temperatura de 38 °C y 60 % de humedad relativa. Para esto se empacaron 25 gramos de muestra en las bolsas de prueba de PLA/microcelulosa y se empacaron también *snacks* de piña en bolsas laminadas de PET con una capa de aluminio para realizar comparaciones. Adicionalmente, una muestra control en empaque laminado se almacenó a temperatura ambiente (18 ± 1 °C) con el fin de evidenciar cambios entre los tratamientos. Se evaluaron entonces los cambios en el color, humedad y actividad de agua de las muestras para estimar los cambios en los *snacks* de piña a estas condiciones. El color de las muestras se determinó a partir de los parámetros de color en el espacio CIE-LAB con coordenadas L* (luminosidad), a* (rojo-verde) y b*(amarillo-azul). El color fue medido utilizando un colorímetro Chroma-Meter Minolta (Modelo CR-331, Minolta Camera Co., Osaka, Japón). La actividad de agua fue determinada por duplicado usando un medidor de la marca Rotronic (Hygrolab C1, Ro-tronic, Suiza). Para la medición de la humedad de la muestra se empleó un medidor de humedad halógeno XM 60 (Precisa Gravimetrics, Suiza). Los resultados de este seguimiento se presentan en la tabla 89.

Tabla 89. Cambio en las propiedades de *snacks* de piña empacados en bolsas de PLA y de laminados metalizados a 38 °C

Tiempo de almacenamiento	Tratamiento	Humedad (%)	aw	ΔE	L*	b*
Día 0	MC-Ole	1,30±0,18	0,500	-	73,70±8,29	37,95±16,0
	MC-Lau al 1 %	1,30±0,18	0,500	-	73,70±8,29	37,95±15,1
	Laminado 38 °C	1,29±0,18	0,500	-	73,70±8,60	37,95±15,2
	Laminado ambiente	1,30±0,18	0,500	-	73,70±8,29	37,95±15,0
Día 4	MC-Ole	1,00±0,13	0,453	14,43±5,6	69,82±2,17	50,93±2,90
	MC-Lau al 1 %	1,00±0,96	0,469	12,98±4,0	61,45±5,80	49,22±2,30
	Laminado 38 °C	1,00±0,08	0,538	10,68±4,8	66,23±2,58	51,8±2,18
	Laminado ambiente	1,29±0,18	0,500	7,05±2,5	73,70±8,29	37,95±16,0
Día 7	MC-Ole	4,02±1,31	0,561	24,81±6,0	68,41±3,60	47,04±1,92
	MC-Lau al 1 %	1,78±0,33	0,552	17,50±6,5	62,59±7,78	44,98±3,67
	Laminado 38 °C	2,34±0,28	0,550	18,98±0,22	64,85±2,38	40,72±12,5
	Laminado ambiente	3,28±1,51	0,558	11,03±2,5	67,53±4,90	47,09±0,42

Fuente: elaboración propia.

De los resultados obtenidos en esta prueba es importante resaltar las variaciones en los valores de actividad de agua para todos los tratamientos. Esta variable está asociada con la estabilidad de la matriz alimentaria y a procesos de deterioro durante el almacenamiento

que involucran reacciones enzimáticas y no enzimáticas que pueden modificar características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas. Se observó un incremento en la actividad de agua desde 0,5 en el día cero hasta valores aproximados de 0,56 en el día para los tratamientos evaluados. Los empaques con la microcelulosa funcionalizada con ácido láurico y oléico permitieron retrasar el deterioro del producto y retrasar el incremento de humedad durante el almacenamiento. En cuanto a la variación del color (ΔE) en todos los tratamientos se evidencian incrementos asociados principalmente a pardeamiento no enzimático en las condiciones de almacenamiento. La coordenada b* del espacio Cielab presenta un valor superior de las muestras empacadas en PLA y microcelulosa, esto puede estar asociado con la protección adicional a la luz que el empaque metalizado y que no poseen los materiales desarrollados en este estudio, sin embargo, se observó un cambio de color de las muestras para todos los tratamientos a medida que se desarrolló el ensayo de almacenamiento.

Se espera que con la incorporación de las nanopartículas de hierro y ácido tánico (TA) funcionalizado con octadecilamina (ODA) en la película de PLA resulte en una mayor contra la luz y de mayor protección a los *snacks* retrasando reacciones de oxidación lipídica.

3.2.2.3 Vida útil estimada

De los datos de la tabla 89 y asumiendo una tendencia lineal del comportamiento del parámetro de actividad de agua en las muestras de *snacks* de piña se puede establecer que el tiempo de vida útil para los *snacks* almacenados a 38 °C es de 16 y 8 días en los empaques MC-Lau y MC-Ole, respectivamente. Lo anterior, considerando como criterio el límite máximo de actividad de agua de 0,6, valor en el cual el producto puede llegar a presentar aceleración en las reacciones de pardeamiento enzimático, reacciones de oxidación y deterioro por acción de microorganismos como moho y levaduras. A temperatura ambiente de 15-20 °C se puede esperar una vida útil de por lo menos el doble aproximadamente.

El tiempo estimado de vida útil de los *snacks* almacenados en los empaques con PLA y microcelulosa funcionalizada con ácido láurico es superior al de las muestras almacenadas en empaque laminado a 38°C con un tiempo de vida útil estimado de 14 días. A temperatura ambiente, este tiempo puede incrementarse a más del doble también.

Se puede concluir que el empaque de PLA con MC-Lau puede mantener la vida útil del producto por un tiempo mayor a un empaque típico metalizado en condiciones de oscuridad debido a la hidrofobicidad de la película obtenida. Es recomendable, sin embargo, incorporar las nanopartículas de hierro y ácido tánico (TA) funcionalizado con octadecilamina (ODA) para obtener una película de mayor opacidad y ofrecer una mayor protección ante el deterioro causado por luz.

3.2.3 Ficha técnica del producto

Propuesta de empaque para frituras de piña MD2 tipo *snacks*

Giovanny Barón, Néstor C. Posada, Diana C. Moncayo, Adriana I. Rada, Diego A. Castellanos
Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA)

Características del producto
La piña (*Ananas comosus*) es una fruta con una vida útil relativamente corta, limitando de esta manera su comercialización (Ribeiro *et al.*, 2016), por este motivo se han desarrollado avances entorno a la presentación de este producto. Uno de ellos es el alimento tipo *snack*, el cual ha adquirido importancia en los últimos años, pues se ha convertido en parte importante de los hábitos alimenticios del consumidor de hoy, ya que produce confort y saciedad momentánea (Rivera-Mirón *et al.*, 2020).

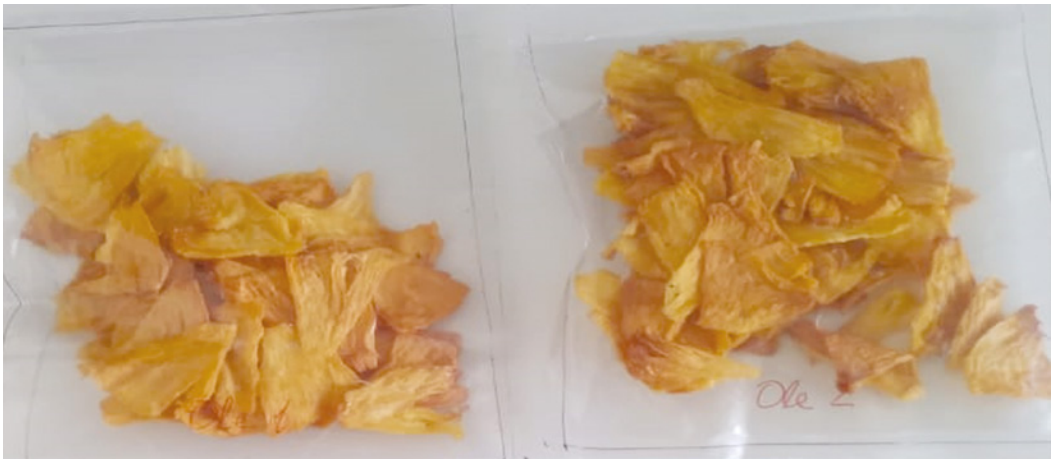



Figura 81. Piña deshidratada y frita con aire caliente tipo *snack*
Fuente: elaboración propia.
Descripción del producto empacado
Trozos triangulares de piña variedad MD2, deshidratada y frita con aire caliente y poca cantidad de aceite.
Características principales
Parámetros fisicoquímicos: • Contenido de humedad (b. h.): 2,02 ± 0,19 • Actividad de agua: 0,41 ± 0,04 • Color: – Luminosidad (L*): 32,41 ± 4,06 – Parámetro b*: 33,72 ± 0,64 • Textura: 7,67 ± 0,54 N • Contenido de grasa (%): 5,78 ± 0,04 **Fuente:** Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle (2021).
Valor nutricional
Vitamina C: 80,5 mg /100g Fuente: Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle (2021).

Descripción del proceso de elaboración
Selección: frutos de piña libres de defectos y enfermedades. La fruta debe tener color y madurez uniforme; para la producción de *snacks* de piña deshidratados y fritos, se recomienda madurez de 3/4. **Lavado y desinfectado:** la fruta debe ser lavada y desinfectada con una solución de hipoclorito al 0,01 % por aproximadamente 10 min. Posterior a la desinfección se deben lavar nuevamente con agua potable para eliminar restos de la solución. **Pelado y obtención de trozos (triangulares):** el pelado se realiza de forma manual, luego la piña se debe cortar en láminas de 4,00 ± 0,5 mm de espesor. Retirar el corazón de las láminas con un sacabocados de 21,9 ± 0,05 mm de diámetro en acero inoxidable y trocear en 8 partes de forma triangular. **Pretratamiento:** los trozos de piña se impregnan con una solución de cloruro de calcio con una concentración de 0,15 % por 20 minutos, sin agitación, con una relación másica piña/solución de 1/4. Posteriormente se retiran las muestras de la solución y se secan superficialmente con papel absorbente. **Deshidratación en ventana de refractancia (VR):** se realiza secado en ventana de refractancia a 90°C durante aproximadamente 66 minutos, para que los trozos de piña alcancen un contenido de humedad de alrededor de 25 % (b. h.). **Fritura con AF (*air fryer*):** se impregnan superficialmente los trozos de piña deshidratados con un aceite (mezcla de aceites vegetales: oleína de palma, soya y girasol), siguiendo una relación másica de 3 g de aceite /100 g de piña. Se colocan los trozos entre las 2 láminas de aluminio y se les hace una leve presión manual usando un rodillo, para asegurar que los trozos queden impregnados superficialmente por ambas caras. Los trozos de piña se fríen a 140°C durante 7 min, para obtener *snacks* con contenido de humedad alrededor de 2 % (b. h.) y de aceite cercano al 6 %. **Fuente:** Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle (2021).
Características del empaque
Empaque transparente biodegradable estilo sobre de 120 × 140 × 0,06 mm fabricada con 2 láminas de poliácido láctico (PLA) nanocompuesto con 1 % de microcelulosa funcionalizada con ácido láurico con características hidrofóbicas. Capacidad de 20-25 g de producto.

Figura 82. Empaque propuesto para frituras de piña MD2 *snack*

Fuente: elaboración propia.

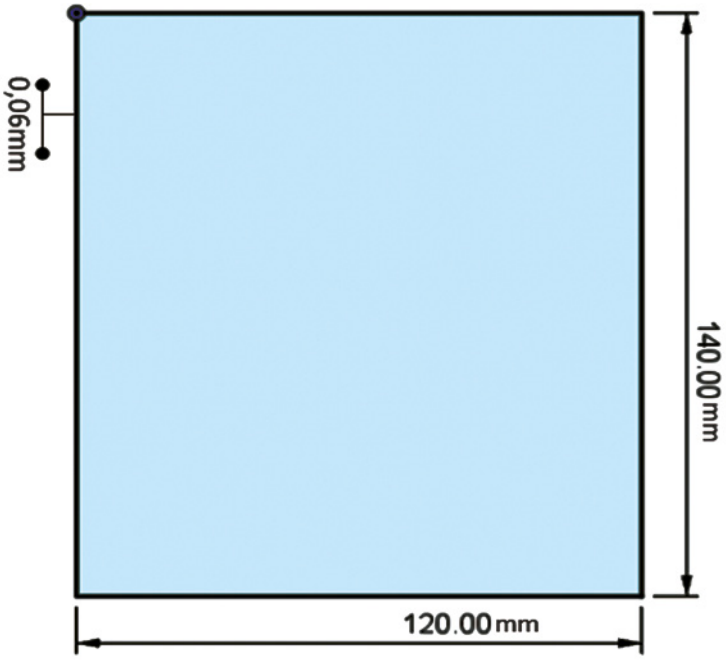


Figura 83. Diagrama del sistema de empaque propuesto para frituras de piña MD2 *snack*

Fuente: elaboración propia.

Condiciones de almacenamiento recomendadas
Se recomienda el almacenamiento a 10-20 °C en condiciones de baja luz día.
Vida útil estimada
Empleando el empaque desarrollado para este producto, se estima una vida útil de 16 días a 38 °C y por lo menos el doble de tiempo a 20 °C.
Referencias

Escuela de Ingeniería de Alimentos (EIA). (2021). Ficha técnica: "snacks" de piña MD2. Universidad del Valle.

Ribeiro, A., Souza, D., Mateus, M., Lima, D., Tribuzi, G., Augusto, B., Carcio, M., Gonçalves, I., y Souza, D. (2016). Vacuum impregnation and drying of calcium-forti fi ed pineapple snacks. *lwt Food Science and Technology*, *72*, 501-509. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016

Rivera-Mirón, M. I., Torruco-Uco, J. G., Carmona-García, R. y Rodríguez-Miranda, J. (2020). Optimization of an extrusion process for the development of a fiber-rich, ready-to-eat snack from pineapple by-products and sweet whey protein based on corn starch. *Journal of Food Process Engineering*, (Febrero). https://doi.org/10.1111/jfpe.13532

ANEXOS

Anexo 1. Anexo a la sección 2.1: seguimiento de la fase experimental

En las figuras 2-14 y 2-15 se muestran el seguimiento de la fase experimental.

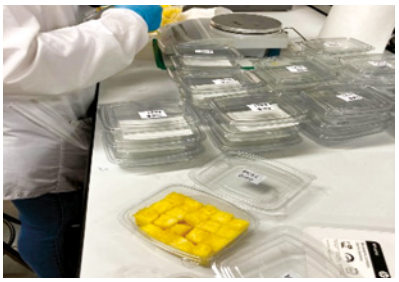
 **Empaque convencional y empaque activo**	 **Día 0 (fruta fresca)**
 **Tratamiento de preenfriamiento**	 **Muestras almacenadas (día 2)**
 **Día 6 de almacenamiento**	 **Día 8 de almacenamiento**
 **Día 12 de almacenamiento**	 **Día 14 de almacenamiento**

Figura 84. Seguimiento de la fase experimental con corte en cubos para piña MD2 mínimamente procesada

Fuente: elaboración propia.

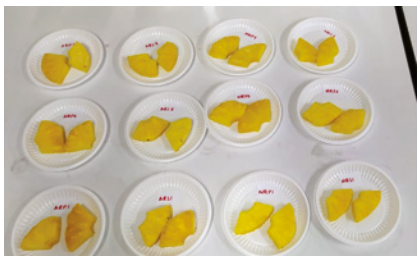
 **Día 0 de almacenamiento**	 **Día 2 de almacenamiento**
 **Día 6 de almacenamiento**	 **Día 8 de almacenamiento**
 **Día 12 de almacenamiento**	 **Día 14 de almacenamiento**

Figura 85. Seguimiento de la fase experimental con corte en cuartos de rodaja para piña MD2 mínimamente procesada

Fuente: elaboración propia.

Anexo 2. Anexo a la sección 2.1: resultados estadísticos

Tabla 90. Análisis de varianza para la pérdida de peso (%)

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	2007,69	401,538	287,88	0,000
empaque	1	11,00	11,004	7,89	0,006
corte	1	27,56	27,562	19,76	0,000
pretratamiento	1	0,70	0,702	0,50	0,480
día*empaque	5	13,93	2,786	2,00	0,086
día*corte	5	8,81	1,763	1,26	0,286
día*pretratamiento	5	17,01	3,402	2,44	0,040
empaque*corte	1	0,73	0,735	0,53	0,470
empaque*pretratamiento	1	6,65	6,655	4,77	0,031
corte*pretratamiento	1	1,05	1,048	0,75	0,388
día*empaque*corte	5	2,83	0,567	0,41	0,843
día*empaque*pretratamiento	5	3,81	0,761	0,55	0,741
día*corte*pretratamiento	5	31,21	6,242	4,48	0,001
empaque*corte*pretratamiento	1	0,01	0,012	0,01	0,927
día*empaque*corte*pretratamiento	5	2,14	0,428	0,31	0,908
Error	96	133,90	1,395		
Total	143	2269,05			

Tabla 91. Análisis de varianza para el pH

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	0,16215	0,032430	10,72	0,000
empaque	1	0,00360	0,003604	1,19	0,278
corte	1	0,00553	0,005527	1,83	0,180
pretratamiento	1	0,00726	0,007259	2,40	0,125
día*empaque	5	0,08412	0,016825	5,56	0,000
día*corte	5	0,09068	0,018136	6,00	0,000
día*pretratamiento	5	0,09832	0,019664	6,50	0,000
empaque*corte	1	0,00128	0,001277	0,42	0,517
empaque*pretratamiento	1	0,00164	0,001645	0,54	0,463
corte*pretratamiento	1	0,02772	0,027722	9,17	0,003
día*empaque*corte	5	0,12402	0,024804	8,20	0,000
día*empaque*pretratamiento	5	0,03554	0,007107	2,35	0,047
día*corte*pretratamiento	5	0,08385	0,016770	5,54	0,000
empaque*corte*pretratamiento	1	0,00134	0,001342	0,44	0,507
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,08905	0,017810	5,89	0,000
Error	96	0,29035	0,003025		
Total	143	1,10645			

Tabla 92. Análisis de varianza para la acidez

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	0,008647	0,001729	4,73	0,001
empaque	1	0,005577	0,005577	15,25	0,000
corte	1	0,000003	0,000003	0,01	0,927
pretratamiento	1	0,000234	0,000234	0,64	0,426
día*empaque	5	0,004255	0,000851	2,33	0,048
día*corte	5	0,004547	0,000909	2,49	0,037
día*pretratamiento	5	0,002830	0,000566	1,55	0,182
empaque*corte	1	0,000163	0,000163	0,45	0,506
empaque*pretratamiento	1	0,000147	0,000147	0,40	0,527
corte*pretratamiento	1	0,002639	0,002639	7,22	0,009
día*empaque*corte	5	0,011891	0,002378	6,50	0,000
día*empaque*pretratamiento	5	0,000667	0,000133	0,36	0,871
día*corte*pretratamiento	5	0,001653	0,000331	0,90	0,482
empaque*corte*pretratamiento	1	0,000396	0,000396	1,08	0,301
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,008882	0,001776	4,86	0,001
Error	96	0,035112	0,000366		
Total	143	0,087643			

Tabla 93. Análisis de varianza para el contenido de sólidos solubles

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	0,35131	0,070263	25,28	0,000
empaque	1	0,00842	0,008425	3,03	0,085
corte	1	0,01146	0,011461	4,12	0,045
pretratamiento	1	0,00180	0,001804	0,65	0,422
día*empaque	5	0,15848	0,031697	11,40	0,000
día*corte	5	0,63311	0,126622	45,55	0,000
día*pretratamiento	5	0,03381	0,006762	2,43	0,040
empaque*corte	1	0,00175	0,001754	0,63	0,429
empaque*pretratamiento	1	0,00143	0,001434	0,52	0,474
corte*pretratamiento	1	0,01073	0,010726	3,86	0,052
día*empaque*corte	5	0,03201	0,006403	2,30	0,051
día*empaque*pretratamiento	5	0,00498	0,000996	0,36	0,876
día*corte*pretratamiento	5	0,01814	0,003629	1,31	0,268
empaque*corte*pretratamiento	1	0,00173	0,001729	0,62	0,432
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,05347	0,010694	3,85	0,003
Error	96	0,26686	0,002780		
Total	143	1,58952			

Tabla 94. Análisis de varianza para el parámetro L*

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	0,011768	0,002354	0,56	0,727
empaque	1	0,005753	0,005753	1,38	0,243
corte	1	0,228379	0,228379	54,78	0,000
pretratamiento	1	0,000254	0,000254	0,06	0,806
día*empaque	5	0,015609	0,003122	0,75	0,589
día*corte	5	0,089919	0,017984	4,31	0,001
día*pretratamiento	5	0,017013	0,003403	0,82	0,541
empaque*corte	1	0,000528	0,000528	0,13	0,723
empaque*pretratamiento	1	0,003076	0,003076	0,74	0,393
corte*pretratamiento	1	0,001220	0,001220	0,29	0,590
día*empaque*corte	5	0,011866	0,002373	0,57	0,723
día*empaque*pretratamiento	5	0,024299	0,004860	1,17	0,332
día*corte*pretratamiento	5	0,037364	0,007473	1,79	0,122
empaque*corte*pretratamiento	1	0,006040	0,006040	1,45	0,232
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,010617	0,002123	0,51	0,769
Error	96	0,400216	0,004169		
Total	143	0,863919			

Tabla 95. Análisis de varianza para el parámtero a*

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	5,1562	1,03125	11,64	0,000
empaque	1	0,1831	0,18305	2,07	0,154
corte	1	0,2765	0,27655	3,12	0,080
pretratamiento	1	0,0091	0,00909	0,10	0,749
día*empaque	5	0,8742	0,17484	1,97	0,090
día*corte	5	2,0957	0,41913	4,73	0,001
día*pretratamiento	5	1,6545	0,33090	3,73	0,004
empaque*corte	1	0,0003	0,00034	0,00	0,951
empaque*pretratamiento	1	0,0085	0,00848	0,10	0,758
corte*pretratamiento	1	0,2477	0,24770	2,80	0,098
día*empaque*corte	5	0,3908	0,07815	0,88	0,496
día*empaque*pretratamiento	5	0,8274	0,16548	1,87	0,107
día*corte*pretratamiento	5	1,6613	0,33227	3,75	0,004
empaque*corte*pretratamiento	1	0,2484	0,24843	2,80	0,097
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,2556	0,05112	0,58	0,718
Error	96	8,5074	0,08862		
Total	143	22,3968			

Tabla 96. Análisis de varianza para el parámetro b*

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	0,53651	0,107303	12,47	0,000
empaque	1	0,03623	0,036231	4,21	0,043
corte	1	0,25493	0,254930	29,62	0,000
pretratamiento	1	0,00235	0,002353	0,27	0,602
día*empaque	5	0,09542	0,019083	2,22	0,059
día*corte	5	0,13445	0,026890	3,12	0,012
día*pretratamiento	5	0,00779	0,001558	0,18	0,969
empaque*corte	1	0,00633	0,006326	0,74	0,393
empaque*pretratamiento	1	0,01190	0,011897	1,38	0,243
corte*pretratamiento	1	0,01330	0,013303	1,55	0,217
día*empaque*corte	5	0,10674	0,021348	2,48	0,037
día*empaque*pretratamiento	5	0,07295	0,014590	1,70	0,143
día*corte*pretratamiento	5	0,12942	0,025884	3,01	0,014
empaque*corte*pretratamiento	1	0,00022	0,000218	0,03	0,874
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,14262	0,028524	3,31	0,008
Error	96	0,82614	0,008606		
Total	143	2,37730			

Tabla 97. Análisis de varianza para la firmeza

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	3,5810	0,7162	16,89	0,000
empaque	1	0,0126	0,0126	0,30	0,587
corte	1	17,6700	17,6700	416,72	0,000
pretratamiento	1	0,0107	0,0107	0,25	0,617
día*empaque	5	1,0783	0,2157	5,09	0,000
día*corte	5	3,9220	0,7844	18,50	0,000
día*pretratamiento	5	0,3019	0,0604	1,42	0,223
empaque*corte	1	0,0012	0,0012	0,03	0,869
empaque*pretratamiento	1	0,0950	0,0950	2,24	0,138
corte*pretratamiento	1	0,3281	0,3281	7,74	0,007
día*empaque*corte	5	0,8017	0,1603	3,78	0,004
día*empaque*pretratamiento	5	0,2328	0,0466	1,10	0,367
día*corte*pretratamiento	5	0,2845	0,0569	1,34	0,253
empaque*corte*pretratamiento	1	0,1095	0,1095	2,58	0,111
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,2973	0,0595	1,40	0,230
Error	96	4,0707	0,0424		
Total	143	32,7972			

Tabla 98. Análisis de varianza para el contenido de vitamina C

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	0,60110	0,12022	11,06	0,000
empaque	1	0,00046	0,00046	0,04	0,837
corte	1	3,67844	3,67844	338,48	0,000
pretratamiento	1	0,11981	0,11981	11,02	0,001
día*empaque	5	0,20242	0,04048	3,73	0,004
día*corte	5	1,01765	0,20353	18,73	0,000
día*pretratamiento	5	0,14094	0,02819	2,59	0,030
empaque*corte	1	0,03453	0,03453	3,18	0,078
empaque*pretratamiento	1	0,00148	0,00148	0,14	0,713
corte*pretratamiento	1	0,13569	0,13569	12,49	0,001
día*empaque*corte	5	0,25104	0,05021	4,62	0,001
día*empaque*pretratamiento	5	0,14015	0,02803	2,58	0,031
día*corte*pretratamiento	5	0,07108	0,01422	1,31	0,267
empaque*corte*pretratamiento	1	0,00011	0,00011	0,01	0,919
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,13737	0,02747	2,53	0,034
Error	96	1,04327	0,01087		
Total	143	7,57556			

Tabla 99. Prueba de Tukey interacción día*corte para el contenido de vitamina C

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95 %

día*corte	N	Media	Agrupación				
6 cuartos de rodada	12	1,15855	A				
8 cuartos de rodada	12	1,11800	A	B			
2 cuartos de rodada	12	1,04975	A	B	C		
14 cuartos de rodada	12	1,03787	A	B	C		
0 cuartos de rodada	12	1,00000		B	C		
0 cuadros	12	1,00000		B	C		
12 cuartos de rodada	12	0,93607			C		
2 cuadros	12	0,76219				D	
6 cuadros	12	0,70404				D	E
12 cuadros	12	0,66435				D	E
14 cuadros	12	0,65947				D	E
8 cuadros	12	0,59227					E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Tabla 100. Análisis de varianza para el contenido total de polifenoles

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	2,2125	0,4425	6,35	0,000
empaque	1	0,0032	0,0032	0,05	0,831
corte	1	12,9386	12,9386	185,67	0,000
pretratamiento	1	0,0762	0,0762	1,09	0,298
día*empaque	5	1,0942	0,2188	3,14	0,011
día*corte	5	2,9183	0,5837	8,38	0,000
día*pretratamiento	5	0,7971	0,1594	2,29	0,052
empaque*corte	1	0,3965	0,3965	5,69	0,019
empaque*pretratamiento	1	0,0180	0,0180	0,26	0,612
corte*pretratamiento	1	0,0999	0,0999	1,43	0,234
día*empaque*corte	5	0,3767	0,0753	1,08	0,376
día*empaque*pretratamiento	5	0,0351	0,0070	0,10	0,992
día*corte*pretratamiento	5	0,4743	0,0949	1,36	0,246
empaque*corte*pretratamiento	1	0,0406	0,0406	0,58	0,447
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,3023	0,0605	0,87	0,506
Error	96	6,6898	0,0697		
Total	143	28,4736			

Tabla 101. Análisis de varianza para la capacidad antioxidante

Análisis de varianza

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
día	5	6,6237	1,32475	57,74	0,000
empaque	1	0,1441	0,14408	6,28	0,014
corte	1	4,5227	4,52274	197,12	0,000
pretratamiento	1	0,2075	0,20746	9,04	0,003
día*empaque	5	0,1013	0,02026	0,88	0,496
día*corte	5	5,7806	1,15613	50,39	0,000
día*pretratamiento	5	0,2390	0,04780	2,08	0,074
empaque*corte	1	0,0020	0,00198	0,09	0,769
empaque*pretratamiento	1	0,0008	0,00077	0,03	0,855
corte*pretratamiento	1	0,0171	0,01712	0,75	0,390
día*empaque*corte	5	0,2749	0,05497	2,40	0,043
día*empaque*pretratamiento	5	0,2223	0,04446	1,94	0,095
día*corte*pretratamiento	5	0,1919	0,03838	1,67	0,149
empaque*corte*pretratamiento	1	0,0000	0,00002	0,00	0,976
día*empaque*corte*pretratamiento	5	0,2781	0,05562	2,42	0,041
Error	96	2,2027	0,02294		
Total	143	20,8087			

REFERENCIAS

Abd Rahman, N. A., Abdul Razak, S. Z., Lokmanalhakim, L. A., Taip, F. S., & Mustapa Kamal, S. M. (2017). Response surface optimization for hot air-frying technique and its effects on the quality of sweet potato snack. *Journal of Food Process Engineering*, *40*(4), e12507.

Abdelwahed, W., Degobert, G., Stainmesse, S., & Fessi, H. (2006). Freeze-drying of nanoparticles: formulation, process and storage considerations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, *58*(15), 1688-1713.

Abu Bakar, B. H., Ishak, A. J., Shamsuddin, R. y Wan Hassan, W. Z. (2013). Ripeness level classification for pineapple using RGB and HSI colour maps. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, *57* (3), pp. 587-593

Actualfruveg (2019). Una jornada de frutas y verduras para urbanitas de la IPM Essen. Disponible en https://actualfruveg.com/2018/12/09/una-jornada-de-frutas-y-verduras-para-urbanitas-en-la-ipm-de-essen/.

Agroeficacia SAS. (2019).El cultivo de piña en Colombia [internet]. *Agroeficacia.co*. https://agroeficacia.co/frutales/pina/cultivo-pina-colombia/

Agrosmartcoop. (2017). Procesado mínimo o IV gama de frutas y hortalizas http://www.agrosmartcoop.eu/2017/05/29/3-7-procesado-minimo-o-iv-gama-de-frutas-y-hortalizas-tipologia-1-y-2/

Ainsworth, E. A. y Gillespie, K. M. (2007). Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*, *2*(4), 875-877. https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102

Al Faruq, A., Zhang, M. y Adhikari, B. (2019). A novel vacuum frying technology of apple slices combined with ultrasound and microwave. *Ultrasonics Sonochemistry*, *52*, 522-529. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.12.033

Alcaraz, L. A. (2017). *Producción y comercialización Piña Gold*. 1–8. http://www.cultan.de/in-

Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., Dehghannya, J., Entezami, A. A., y Asl, A. K. (2015). Novel nanocomposites based on fatty acid modified cellulose nanofibers/poly(lactic acid): Morphological and physical properties. *Food Packaging and Shelf Life*, *5*, 21-31. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2015.04.003

Alsec. (2018). *Tendencias en snacks saludables*. https://alsec.com.co/402-2/#more-402.

Álvarez, R. (2012). *Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabolómica y evaluación de la calidad poscosecha* [tesis doctoral]. [Medellín] Universidad de Antioquia.

Antoniolli, L. R., Benedetti, B. C., Souza Filho, M. de S. M. de, Garruti, D. dos S. y Borges, M. de F. (2012). Shelf life of minimally processed pineapples treated with ascorbic and citric acids. *Bragantia*, *71*(3), 447-453. https://doi.org/10.1590/s0006-87052012000300019

AOAC 942,15. (2005). *Acidity (Titrable) of Fruit Products. Official method of Analysis of aoac International* (18.ª ed.). Official method of Analysis of AOAC International.

Arias-Giraldo, S. y López-Velasco, D. M. (2019). Reacciones químicas de los azúcares simples empleados en la industria alimentaria. *Lámpsakos*, *22*, 123-135.

Ayala, A. A., Serna, L. y Mosquera, E. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, *17*(2), 121-127.

Ayustaningwarno, F., Dekker, M., Fogliano, V. y Verkerk, R. (2018). Effect of vacuum frying on quality attributes of fruits. *Food Engineering Reviews*, *10*(3), 154-164.

Ballesteros, L. F., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A. y Mussatto, S. I. (2015). Characterization of polysaccharides extracted from spent coffee grounds by alkali pretreatment. *Carbohydrate Polymers*, *127*, 347-354. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.047

Bansal, V., Siddiqui, M. W. y Rahman, M. S. (2015). *Minimally processed foods: Overview*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10677-9_1

Beneo (2020). Contributing to better nutrition and health [internet]. *Beneo.com* https://www.beneo.com/ingredients/human-nutrition.

Betancur Gil, T. y Palencia Villa, A. (2018). *Estrategias Para La Competitividad de la Piña Tipo Exportación En Colombia*. Universitaria Agustiniana.

Bierhals, V. S., Chiumarelli, M., Hubinger, M.D. (2011). Effect of Cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* L. Merril cv "Pérola". *Journal of Food Science*, 76(1), pp. E62-E72.

Buitrago, M. (2017). *Conservación de piña oro miel (*Ananas comosus*) mínimamente procesada: Efecto del tipo de corte, tipo de envase y recubrimiento comestible* [tesis de maestría].[Palmira, Valle del Cauca] Universidad Nacional de Colombia.

Buitrago Dueñas, E. M., Dussán Sarria, S., Rivera Ochoa, M. C. y Ordoñez Santos, L. E. (2018). Efecto del tipo de corte y tipo de envase en la conservación de piña [*Ananas comosus* (L.) Merr.] 'Oro Miel' mínimamente procesada. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *12*(2), 308-318. https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7485

Caetano, P. K., Mariano-Nasser, F. A. de C., MendonÇa, V. Z. de, Furlaneto, K. A., Daiuto, E. R. y Vieites, R. L. (2018). Physicochemical and sensory characteristics of sweet potato chips undergoing different cooking methods. *Food Science and Technology*, *38*, 434-440. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612018000300434&nrm=iso

Cámara de Comercio de Cali. (2017). *Informes económicos*. *Cámara de Comercio de Cali* https://www.ccc.org.co/file/2017/09/Ritmo-Cluster-N13-Macrosnacks.pdf.

Cárdenas, G, Arrazola, G. y Villalba, M. (2015). Frutas Tropicales: Fuente de Compuestos Bioactivos Naturales en la Industria de Alimentos. Compuestos Bioactivos Presentes en Frutas Tropicales. *Ingenium, 17*(33), 29-40. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5327083.

Cazar Albuja, E. F. (2015). *Optimización del proceso de elaboración de snacks de piña (*Ananas comosus*) mediante la combinación de diferentes condiciones de pretratamiento y fritura al vacío* [tesis de pregrado]. [Quito, Ecuador] Escuela Politécnica Nacional.

CBI. (2014). Promising EU export markets for fresh pineapples. *cbi* https://www.cbi.eu/sites/default/files/market_information/researches/tailored-study-pineapples-west-africa-europe-promising-eu-markets-fresh-fruit-vegetables-2014.pdf.

CBI. (2018). Exporting Fresh Pineapple to Europe. *cbi.* https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/pineapple/

CBI. (2019). Which trends offers opportunities or pose threats on the European fresh fruit and vegetables markets? *cbi*. https://www.cbi.eu/market-information/fresh-fruit-vegetables/trends/

Cebrián Guaija, A. (2019). *Impacto de diferentes biopolímeros en la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos de la naranja* [tesis de pregrado]. [Valencia] Universitat Politècnica de València.

Cepeda, M. A. y Castellanos, A. (2017). *Proyecto para exportar piña deshidratada tipo snack a los Ángeles California, Estados Unidos* [trabajo de grado de especialización]. [Bogotá] Universidad Externado de Colombia. https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstream/001/389/1/ABA-spa-2017

Cerrato, I. (2013). *Parámetros de comercialización de la piña md2 en los principales mercados hondureños.* Secretaría de Agricultura y Ganadería. Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario.

Chutintrasri, B. y Noomhorm, A. (2007). Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *lwt–Food Science and Technology*, *40*(2), 300-306. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.11.003

Cortellino, G., Pani, P., y Torreggiani, D. (2011). Crispy air-dried pineapple rings: optimization of processing parameters. *Procedia Food Science*, *1*, 1324-1330.

Cowling, W. (2020). 2020 top snacking trends [internet]. *Food & Beverage Insider*. https://www.foodbeverageinsider.com/market-trends-analysis/2020-top-snacking-trends.

Da Silva, D. I., Nogueira, G. D., Duzzioni, A. G. y Barrozo, M. A. (2013). Changes of antioxidant constituents in pineapple (*Ananas comosus*) residue during drying process. *Ind. Crops Prod., 50*, 557-562.

Damely, A. y Méndez, G. (2008). Aplicación de la tecnología IV gama en frutos de melón (*Cucumis melo*) y piña (*Ananas comosus*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *9*(1), 34-43.

Dane. (2016). Principales características del cultivo de Piña. *Boletin Mensual: Insumos y Factores Asociados a La Produccion Agropecuaria, 54*, 1-99. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_dic_2016.pdf

Decreto 2811. (1974). Ministerio Del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo. *Diario Oficial N.º 34243*

Decreto 3930. (2010). Ministerio Del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo. *Diario Oficial N.º* 47873.

Decreto 4728. (2010). Ministerio Del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo. Bogotá. Colombia. *Diario Oficial N.º 47932.*

Decreto 4741. (2005). Ministerio Del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo.

Decreto 948. (1995). Ministerio Del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo. *Diario Oficial N.º 41876*.

Deloitte. (2016). *Capitalizing on the shifting consumer food value equation*. Deloitte Development LLC. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/consumer-business/us-fmi-gma-report.pdf.

Deng, L. Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X. H., Wang, J., Zheng, Z. A., Gao, Z. J. y Xiao, H. W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes–a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(9), 1408-1432. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192

Diamante, L. M., Shi, S., Hellmann, A. y Busch, J. (2015). Vacuum frying foods: products, process and optimization. *International Food Research Journal*, *22*(1).

Dolhaji, N. H., Muhamad, I. I., Ya'akub, H. y Abd Aziz, A. (2019). Evaluation of chilling injury and internal browning condition on quality attributes, phenolic content, and antioxidant capacity during sub-optimal cold storage of Malaysian cultivar pineapples. Malaysian *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, *14*(4), 456-461. https://doi.org/10.11113/mjfas.v14n4.1072.

Domínguez, L. y Parzanese, M. (2008). Tecnologías para la Industria Alimentaria Luz ultravioleta en la conservación de alimentos Ficha N.o 2. *Alimentos Argentinos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Gobierno Argentino*, 1–11.

Domínguez, P., Medina, J. J., Miranda, L., López-Aranda, J. M., Ariza, M. T., Soria, C., Santos, B. M., Torres-Quezada, E. A. y Hernández-Ochoa, I. (2016). Effect of Planting and Harvesting Dates on Strawberry Fruit Quality under High Tunnels. *International Journal of Fruit Science*, *16*(1), 228-238. https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1219291

Dueik, V., Robert, P. y Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, *119*(3), 1143-1149.

Dussán-Sarria, S., Reyes-Calvache, P. M. y Hleap-Zapata, J. I. (2014). Efecto de un recubrimiento comestible y diferentes tipos de empaque en los atributos físico-químicos y sensoriales de piña "Manzana" mínimamente procesada. *Informacion Tecnologica*, *25*(5), 41-46. https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000500007.

El País. (2018). En aumento la participación de cultivadores del Valle en las exportaciones de piña [internet]. *El País*. https://www.elpais.com.co/economia/en-aumento-la-participacion-de-cultivadores-del-valle-en-las-exportaciones-de-pina.html

Emcali. (2019). Tarifas de energía [internet]. *Emcali*. https://www.emcali.com.co/web/energia/mercado-regulado

Enachescu, M. (1995*). Fruit and vegetable processing*. FAO. http://www.fao.org/3/V5030E/V5030E08.htm#Chapter 3 Deterioration factors and their control.

FAO. (2018). Organic Agriculture [internet]. *fao*. http://www.fao.org/organicag/oa-faq/oa-faq4/es/

FAO. (2019). La FAO pronostica fuertes perspectivas de crecimiento para la producción y el comercio mundial de frutas tropicales [internet]. *fao.* http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/1193662/

Farris, S., Gobbi, S., Torreggiani, D. y Piergiovanni, L. (2008). Assessment of two different rapid compression tests for the evaluation of texture differences in osmo-air-dried apple rings. *J. Food Eng.,* 88(4), 484-491.

Fernández, D., Bautista, S., Fernández, D., Ocampo, A., Pereira, A. y Falcón, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *24*(3), 52-57.

Fernández, N. M., Echeverria, D. C., Mosquera, S. A. y Paz, S. P. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotecnoloía En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *15*(2), 134-141. https://doi.org/10.18684/bsaa(15)134-141.

Fernández, P. R., Mascheroni, R. H. y Ramallo, L. A. (2019). Ascorbic acid and calcium uptake in pineapple tissue through different sucrose concentrations of impregnation solution. *Journal of Food Engineering*, *261*(June), 150-157. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.06.012

Finnegan, E., Mahajan, P. V., O'Connell, M., Francis, G. A. y O'Beirne, D. (2013). Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, *79*, 47–53. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.12.015

Fona. (2018). Millennials in Transition: 2018 Trend Insight Report [internet]. *Fona* https://www.fona.com/millennials-in-transition/

Forrest, M. (2016). *Recycling of polyethylene terephthalate*. Smithers Rapra Technology.

Franco Castillo, B. L. (2017). *Efecto de diferentes dosis de fitohormona Cerone sobre el proceso de maduración en la variedad de Piña md2 o Golden Sweet en la zona de Quevedo* [tesis de pregrado]. [Quevedo, Ecuador] Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Franco, S., Jaques, A., Pinto, M., Fardella, M., Valencia, P., Núñez, H., Ramírez, C. y Simpson, R. (2019). Dehydration of salmon (Atlantic salmon), beef, and apple (Granny Smith) using Refractance windowTM: Effect on diffusion behavior, texture, and color changes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *52*, 8-16.

Gamboa, D., Ibáñez, D., Meléndez, M., Paredes, E. y Siche, R. (2014). Secado de lúcuma (*Pouteria obovata*) empleando la técnica de Ventana Refractante. *Scientia Agropecuaria*, *5*(2), 103–108.

Ganeden BC30. (2019). La snackificación se consolida. *Media énfasis*. http://media.enfasis.com/adjuntos/146/documentos/000/132/0000132539.pdf

García Pereira, A., Muñiz Becerá, S., Hernández Gómez, A., González, L. M. y Fernández Valdés, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas comosus*, variedad Cayena lisa). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, *22*, 62-69.

Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Compañía Editorial Continental.

Gómez, J. M., Castellanos D. A. y Herrera, A. O. (2019). Modeling respiration and transpiration rate of minimally processed pineapple (*Ananas Comosus*) depending on temperature, gas concentrations and geometric Configuration. *Chemical Engineering Transactions, 75*, 547-552.

Gómez, J. M., Mendoza, S. M., Herrera, A. O. y Castellanos, D. A. (2020). Evaluation and modeling of changes in color, firmness, and physicochemical shelf life of cut pineapple (*Ananas comosus*) slices in equilibrium-modified atmosphere packaging. *Journal of Food Science, 85*(11), 3899-3908. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15469

González-Aguilar, G. A., Ruiz-Cruz, S., Cruz-Valenzuela, R., Rodríguez-Félix, A. y Wang, C. Y. (2004). Physiological and quality changes of fresh-cut pineapple treated with antibrowning agents. *lwt–Food Science and Technology*, *37*(3), 369–376. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.007

Grand View Research (2018). US Fruit & Vegetables Market Size, Share and Trends Analys Report Type (Fresh, Dried, Frozen), and Distribution Channel Type, Competitive Landscape, And Segment Forecast 2018 – 2015. *Grand View Research*. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-fruit-vegetables-market.

GTC 78. (2002). Guía Técnica Colombiana. *Icontec*, 1–4. https://tienda.icontec.org/gp-microbiologia-de-alimentos-y-alimentos-para-animales-guia-para-la-preparacion-y-produccion-de-medios-de-cultivo-guia-general-para-el-aseguramiento-de-la-calidad-para-la-preparacion-de-los-medios-de-cultivo-en-el-laboratorio-g

Haqbeen, N., Sagar, V., Rudra, S. y Prasad, K. (2019). Effect of pre-treatments and drying methods on the quality attributes of dehydrated pineapple slices. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, *2*(2), 157–166.

Hossain, M. A. y Rahman. S. M. M. (2011). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of tropical fruit pineapple. *Food Research International*, 44 (3), 672-676. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.11.036

Interempresas. (2018). Frutas y hortalizas mínimamente procesadas o de IV gama: cambios en los compuestos activos [internet]. *Interempresas*. https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/216797-Frutas-y-hortalizas-minimamente-procesadas-o-de-IV-Gama-cambios-en-compuestos-bioactivos.html.

ImportGenius (2018). Colombia Trade Database [internet]. ImportGenius. https://www.importgenius.com/colombia/tradebase

IPM Essen. (2019). The global network of leading horticultural trade fairs [internet]. IPM Essen. https://www.ipm-essen.de/world-trade-fair/ipm-worldwide/

Ismail, N. A. M., Abdullah, N., Muhammad, N. (2018). Effect of microwave-assisted processing on quality characteristics of pineapple jam. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 42(1), 24-30.

Jaller, G. (2017). Agronegocios, futuro del sector rural colombiano caso de las empresas "Fruver". *Gestiópolis*. https://www.gestiopolis.com/agronegocios-fruver-futuro-del-sector-rural-colombiano/

Jing, Y., Huang, J. y Yu, X. (2019). Maintenance of the antioxidant capacity of fresh-cut pineapple by procyanidin-grafted chitosan. *Postharvest Biology and Technology, 154*, 79-86. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.04.022

Keen, J. L. H., Taip, F. S., Ibrahim, M. N., Aziz, N. A. y Shishir, M. R. I. (2016). Effect of Pre-Treatment on the Physical Properties of Pumpkin Powder. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, *10*(7).

Kucuk, H., Midilli, A., Kilic, A. y Dincer, I. (2014). A Review on Thin-Layer Drying-Curve Equations. In *Drying Technology* (vol. 32, Issue 7, pp. 757-773). Taylor and Francis Inc. https://doi.org/10.1080/07373937.2013.873047

Lasekan, O. y Hussein, F. K. (2018). Classification of different pineapple varieties grown in Malaysia based on volatile fingerprinting and sensory analysis. *Chemistry Central Journal*, *12*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/s13065-018-0505-3

Lee, V. (2019). Top Ten Trends for 2019. *eu agenda*. https://euagenda.eu/publications/top-ten-food-trends-for-2019.

Leiton-Ramírez, Y. M., Ayala-Aponte, A. y Ochoa-Martínez, C. I. (2020). Physicochemical Properties of Guava Snacks as Affected by Drying Technology. *Processes, 8*(1), 106.

Lima, M. M. de, Tribuzi, G., Souza, J. A. R. de, Souza, I. G. de, Laurindo, J. B. y Carciofi, B. A. M. (2016b). Vacuum impregnation and drying of calcium-fortified pineapple snacks. *lwt–Food Science and Technology*, *72*, 501-509. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.016

Lima, P. C. C., de Souza, B. S. y Fyfe, S. (2019). Influence of storage temperature and different packaging on the physicochemical quality of fresh-cut 'Perola' pineapple. *Idesia*, *37*(2), 13–19. https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000200013.

Lobo, M. G. y Yahia, E. (2016). Biology and postharvest physiology of pineapple. En: *Handbook of Pineapple Technology: Postharvest Science, Processing and Nutrition* (pp. 39–61). https://doi.org/10.1002/9781118967355.ch3

Lobo, M. y Paull, R. (eds.). (2017). *Handbook of Pineapple Technology*. Wiley-Blackwell.

López-Córdoba, A. y Aldana-Usme, A. (2019). Edible coatings based on sodium alginate and ascorbic acid for application on fresh-cut pineapple (*Ananas comosus* (L.) merr). *Agronomia Colombiana*, *37*(3), 233-238. https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v37n3.76173

Lu, X. H., Sun, D. Q., Wu, Q. S., Liu, S. H. y Sun, G. M. (2014). Physico-chemical properties, antioxidant activity and mineral contents of pineapple genotypes grown in China. *Molecules*, *19*(6), 8518–8532. https://doi.org/10.3390/molecules19068518

Macedo, L. L., Vimercati, W. C., da Silva Araújo, C., Saraiva, S. H. y Teixeira, L. J. Q. (2020). Effect of drying air temperature on drying kinetics and physicochemical characteristics of dried banana. *Journal of Food Process Engineering*, *43*(9), 1–10. https://doi.org/10.1111/jfpe.13451

Manzocco, L., Plazzotta, S., Maifeni, M., Anese, M., Nicoli, M.C. (2016). Impact of UV-C light on storage quality of fresh-cut pineapple in two different packages. LWT – *Food Science and Technology, 65*, 1130-1143.

Marín B, E., Lemus M, R., Flores M, V. y Vega G, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, *33*(3), 527–538. https://doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009

Market Research Intellect. (2018). Global Canned Pineapple Market Size and Forecast. *Market Research Intellect*. https://www.marketresearchintellect.com/product/global-canned-pineapple-market-size-and-forecast/?utm_source=WN&utm_medium=888.

Márquez Villacorta, L. y Pretell Vásquez, C. (2013). UV-C Irradiation in tropical fruits minimally processed. *Scientia Agropecuaria*, *4*, 147–161. https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2013.03.01.

Marrero, A. y Kader, A. A. (2006). Optimal temperature and modified atmosphere for keeping quality of fresh-cut pineapples. *Postharvest Biology and Technology*, *39*(2), 163-168.

Martínez, R., Torres, P., Meneses, M. A., Figueroa, J. G., Pérez-Álvarez, J. A. y Viuda-Martos, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fiber concentrate. *Food Chemistry*, 135(3), 1520-1526, https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.057

Mazumder, P., Roopa, B. S. y Bhattacharya, S. (2007). Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*, *79*(2), 511–516. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.011

Mecado Ruiz, J. N., Tortoledo Ortíz, O., García Robles, J. M., Baez Sañudo, R., García Moreno, B., Avila Prado, J., Corella Salazar, D. A., Cruz Felix, M. C., Velázquez Jiménez, D. y Zuñiga Martínez, B. S. (2019). Calidad comercial de piña MD-2 (*Ananas comosus* L.) tratada en postcosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, *20*(2), 140-154. https://www.redalyc.org/jatsRepo/813/81361553004/html/index.html

Mehrjardi, P. Y., Tarzi, B. G. y Bassiri, A. (2012). Developing vacuum fried pumpkin (*Cucurbita moschata* Dutch) snack. *World Applied Sciences Journal*, *18*(2), 214–220.

Mendoza, R. M. y Niella, G. B. (2019). Antropología de la Alimentación y Análisis Sensorial de Alimentos. *Investigaciones Jurídicas, Humanas y Sociales*, *5*(1).

Merck KGaA. (2018). *Application. Ascorbic Acid in Kiwi Fruit* (vol. 49, n.º 0). Merck KGaA

Micco, N. (2018). *13 Healthy Snacking Strategies*. Fitness. https://www.fitnessmagazine.com/recipes/snacks/healthy/13-healthy-snacking-strategies/.

Michalewicz, J. S., Henriquez, J. R. y Charamba, J. C. (2011). Secado de Cajuil (*Anacardium occidentale* l.): Estudio Experimental y Modelado de la Cinética de Secado. *Información Tecnológica*, *22*(6), 63-74. https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000600007

Millán, D., Romero, L., Brito, M. y Ramos, A. (2015). Ultraviolet Light: Microbial Inactivation on Fruits. *Saber, Universidad de Oriente*, *27*(3), 454–469. https://doi.org/ISSN 1315-0162.

Minagricultura. (2017). *Evaluaciones agropecuarias municipales*. http://www.agronet.gov.co/Documents/PIÑA2016.pdf

Minagricultura. (2018). Producción de piña llegaría a más de 950 mil toneladas en 2018, calcula Minagricultura. *Minagricultura*. https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Producción-de-piña-llegaría-a-más-950-mil-toneladas-en-2018,-calcula-MinAgricultura-.aspx.

Mincomercio. (2019). Snacks, galletas y aceites, las apuestas para aumentar producción, ventas y exportaciones de alimentos procesados. *Ministerio de Comercio, Industria y Turismo*. https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/snacks-y-aceites-apuestas-para-subir-exportaciones.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (Minambiente). (2018). Resolución 1407 de 2018, 05/12/2014 1 (2018). http://www.andi.com.co/Uploads/RES 1407 DE 2018.pdf

Ministerio de salud y protección social (Minaslud). (2013). Resolucion 3929 de 2013. http://www.invima.gov.co/documents/20143/441425/Resolucion-3929-2013.pdf/28252dd6-41eb-a575-8ec4-c876e6326a5e

Ministerio de salud y protección social (Minaslud). (2013). *Resolución Número 003929 de 2013*. https://members.wto.org/crnattachments/2014/tbt/COL/14_0923_00_s.pdf

Mintel. (2018). Tendencias mundiales en alimentos y bebidas para 2018 [internet]. *Mintel*. http://es.mintel.com/tendencias-de-alimentacion-y-bebidas/

Mintel. (2018). Mintel Market Sizes, Snack Food–Latinoamérica.

Mintel. (2019). Global food and drink trends 2019.

Mogelonsky, M. (2019). *Sweets & snacks expo 2019: 5 snack trends you need to know right now* [entrada de blog]. *Mintel blog*. https://www.mintel.com/blog/food-market-news/sweets-snacks-expo-2019-5-snack-trends-you-need-to-know-right-now

Mohd Ali, M., Hashim, N., Abd Aziz, S. y Lasekan, O. (2020). Pineapple (*Ananas comosus*): A comprehensive review of nutritional values, volatile compounds, health benefits, and potential food products. *Food Research International*, *137*, Article 109675. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109675

Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M. A., Aguiló-Aguayo, I., Soliva-Fortuny, R. y Martín-Belloso, O. (2010). Influence of modified atmosphere packaging on volatile compounds and physicochemical and antioxidant attributes of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(8), 5042–5049. https://doi.org/10.1021/jf904585h

Montero-Calderón, M., Rojas-Graü, M. A. y Martín-Belloso, O. (2008). Effect of packaging conditions on quality and shelf-life of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, *50*(2-3), 182-189. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.014

Morera, E. (2016). *La Horticultura en el siglo XXI: uno proyecto por la ética y la sostenibilidad*. Universidad Politécnica de Valencia.

Murzaini, N. M. N., Taip, F. S., Ab Aziz, N. y Abd Rahman, N. A. (2020). Effect of Pre-treatment in Producing Pumpkin Powder Using Air Fryer and Its Application in 'Bingka'Baking. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, *8*(1), 48–64.

Nadzirah, K. Z., Zainal, S., Noriham, A., Normah, I., Siti Roha, A. M., y Nadya, H. (2013). Physico-chemical properties of pineapple variety N36 harvested and stored at different maturity stages. *International Food Research Journal*, *20*(1), 225-231.

Nayik, G. A. y Muzaffar, K. (2014). Developments in packaging of fresh fruits- shelf life perspective: A review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research*. *1*(5), 34–39.

Nelson, A. (2019). All-day snacking on the upswing. *Food Business News*. https://www.foodbusinessnews.net/articles/14972-report-all-day-snacking-on-the-upswing.

Nicoleti, J. F., Telis-Romero, J. y Telis, V. R. N. (2001). Air-drying of fresh and osmotically pre-treated pineapple slices: Fixes air temperature versus fixed slice temperature drying kinetics. *Drying Technology*, *19*(9), 2175-2191. https://doi.org/10.1081/DRT-100107493

Nielsen. (2016).What´s in our food and on or mind. *Nielsen*. https://www.nielsen.com/content/dam/nielsenglobal/kr/docs/global-report/2016/global_ingredient_and_0ut_of_home_dining_trends_report.pdf

Nindo, C. I. y Tang, J. (2007). Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*, *25*(1), 37–48.

NTC 4592, (1999). https://e-collection.icontec.org/colecao.aspx

Nunes, Y. y Moreira, R. G. (2009). Effect of osmotic dehydration and vacuum-frying parameters to produce high-quality mango chips. *Journal of Food Science*, *74*(7), E355–E362.

Ochoa-Martínez, C. I., Quintero, P. T., Ayala, A. A. y Ortiz, M. J. (2012). Drying characteristics of mango slices using the Refractance WindowTM technique. *Journal of Food Engineering*, *109*(1), 69–75.

Ocoró, M. y Ayala, A. (2012). Evaluation of the Refractance Window Technique on drying of papaya (*Carica papaya* L.) purée. *Vitae*, *19*(1), S72–S74.

Olivares, F. y Lozano, G. (2019). Tendencias de consumo de la industria alimentaria. *EY Building a Better Working World*. https://www.ey.com/es_co/consumer-products-retail/tendencias-de-la-industria-de-alimentos.

Olmos, A. (2015). *Cadena regional de piña departamento de Casanare.* Gobernación de Casanare. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente.

Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R. B., Nawi, N. M. y Abdan, K. (2016). Modeling the Thin-Layer Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *15*(3), 599–618. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12196

Ormaza, A. M. Z., Ayala-Aponte, A. A. y Ortega, K. J. K. (2016). Cambios físicos durante el secado de banano bocadillo (*Musa acuminata* colla) mediante la técnica de ventana de refractancia. *Vitae*, *23*, S84.

Ortegón Cortázar, L., Royo Vela, M. y Robayo Pinzón, Ó. J. (2015). Comportamiento del consumidor infantil: recordación y preferencia de atributos sensoriales de marcas y productos para la lonchera en niños de Bogotá. *Poliantea*, *11*(20), 39. https://doi.org/10.15765/plnt.v11i20.651

Ortiz-Jerez, M. J., Gulati, T., Datta, A. K., & Ochoa-Martínez, C. I. (2015). Quantitative understanding of Refractance WindowTM drying. *Food and Bioproducts Processing*, *95*, 237-253. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.05.010.

Ozturk, B., Parkinson, C. y González-Miquel, M. (2018). Extraction of polyphenolic antioxidants from orange peel waste using deep eutectic solvents. *Separation and Purification Technology*, *206*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.05.052

Padrón-Mederos, M., Rodríguez-Galdón, B., Díaz-Romero, C., Lobo-Rodrigo, M. G. y Rodríguez-Rodríguez, E. M. (2020). Quality evaluation of minimally fresh-cut processed pineapples. *lwt*, *129*(May), 109607. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109607

Palop, F. y Vicente, J. M. (1999). Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. Su potencial para la empresa española. Cotec. https://www.researchgate.net/publication/277772834_Vigilancia_Tecnologica_e_Inteligencia_Competitiva

Pan, Y., Zhu, J. y Shouying, L. (2015). Effects of pure oxygen and reduced oxygen modified atmosphere packaging on the quality and microbial characteristics of fresh cut pineapple. *Fruits, 70*(2), 101-108.

Patil, K. C., Aruna, S. T. y Mimani, T. (2002). Combustion synthesis: an update. *Current opinion in solid state and materials science*, *6*(6), 507-512

Perez-Tinoco, M. R., Pérez, A., Salgado-Cervantes, M., Reynes, M. y Vaillant, F. (2008). Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(6), 945–953. https://doi.org/10.1002/jsfa.3171

Pizato, S., Chevalier, R. C., Dos Santos, M. F., Da Costa, T. S., Arévalo Pinedo, R. y Cortez Vega, W. R. (2019). Evaluation of the shelf-life extension of fresh-cut pineapple (Smooth cayenne) by application of different edible coatings. *British Food Journal*, *121*(7), 1592–1604. https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2018-0780

Portafolio (2018). Industria Industria de alimentos y bebidas tendría un crecimiento anual del 7%. *Portafolio.* https://www.portafolio.co/economia/la-industria-de-alimentos-y-bebidas-tendra-un-crecimiento-anual-del-7-516878.

Portela, S. I. y Cantwell, M. I. (2001). Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, *66*(9), 1265–1270. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15199.x

Poveda Nuñez, M. (2014). *Determinación de la influencia de las zonas de producción sobre el contenido de componentes bioactivos y la capacidad antioxidante de cinco frutas andinas* [tesis de pregrado]. [Ambato, Ecuador] Universidad Técnica de Ambato.

Prakash, A., Baskaran, R., y Vadivel, V. (2020). Citral nanoemulsion incorporated edible coating to extend the shelf life of fresh cut pineapples. *lwt*, *118*(November 2019), 108851. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108851

Procolombia. (2019). Alimentos procesados. *Procolombia* https://www.colombiatrade.com.co/oportunidades/sectores/agroindustria/alimentos-procesados.

Procolombia (2020). Alimentos Procesados. *Procolombia*. https://procolombia.co/node/1253.

Produce Guide Market (PMG). (2018). Commodity Pineapple. *Produce Guide Market* https://www.producemarketguide.com/produce/pineapple.

Rabobank. (2018). The World Vegetable Map. *Rabobank*. https://www.rabobank.com/en/raboworld/articles/the-world-vegetable-map.html

Raghavi, L. M., Moses, J. A. y Anandharamakrishnan, C. (2018). Refractance window drying of foods: A review. *Journal of Food Engineering*, *222*, 267–275. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.11.032

Rajoriya, D., Shewale, S. R., Bhavya, M. L. y Hebbar, H. U. (2020). Far infrared assisted refractance window drying of apple slices: Comparative study on flavour, nutrient retention and drying characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *66*(October), 102530. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102530

Ramallo, L. A. y Mascheroni, R. H. (2012). Quality evaluation of pineapple fruit during drying process. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(2), 275–283. https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.06.001

Ramirez Navas, J. S., Murcia, C. L. y Castro, V. (2014). Análisis de aceptación y preferencia del manjar blanco del Valle. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *12*(1), 20–27.

Ramírez-Navas, J. S. (2006). Liofilización de alimentos. *Revista ReCiTeIA*.

Rattanathanalerk, M., Chiewchan, N. y Srichumpoung, W. (2005). Effect of thermal processing on the quality loss of pineapple juice. *Journal of Food Engineering*, *66*(2), 259-265. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.016

Reinhardt, D. H. R. C., Bartholomew, D. P., Souza, F. V. D., de Carvalho, A. C. P. P., de Pádua, T. R. P., Junghans, D. T., y de Matos, A. P. (2018). Advances in pineapple plant propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura, 40*(6), 1-22, https://doi.org/10.1590/0100-29452018302

Resolución 058. (2002). Resolución número 058. Ministerio Del Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo. *Diario oficial N.º 44691*

Resolución 0627. (2006). Resolución número 0627. Ministerio del medio ambiente vivienda y desarrollo. *Diario oficial N.º 46239*.

Resolución 2254. (2017). Resolución número 2254. Ministerio del medio ambiente vivienda y desarrollo. *Diario oficial N.º 50415*.

Resolución 610. (2010). Resolución número 610. Ministerio del medio ambiente vivienda y desarrollo. *Diario oficial N.º* 47672.

Revista Dinero. (2016). El Valle ve nacer un nuevo y poderoso negocio agrícola. *Revista Dinero*. https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/bengala-una-iniciativa-de-produccion-de-pina-en-el-cauca/220996.

Revista Dinero. (2018). ¿Cómo está cambiando el negocio de los snacks en Colombia? *Revista Dinero*. https://www.dinero.com/edicion-impresa/negocios/articulo/como-esta-cambiando-el-negocio-de-los-snacks/263954.

Revista Dinero. (2019). Colombia, aún cruda en exportación de alimentos y bebidas. *Revista Dinero*.

Ríos, J. A. (2018). Frutas deshidratadas, otra apuesta de exportación. *Diario La Opinión*. https://www.laopinion.com.co/economia/frutas-deshidratadas-otra-apuesta-de-exportacion-151304#

Ríos, E.V., Giraldo G. A., y Duque, L. (2007). Predicción de la Actividad de Agua en Frutas Tropicales. *Revista de Investigaciones, 17*, 27–32.

Rivera-Mirón, M. I., Torruco-Uco, J. G., Carmona-García, R. y Rodríguez-Miranda, J. (2020). Optimization of an extrusion process for the development of a fiber-rich, ready-to-eat snack from pineapple by-products and sweet whey protein based on corn starch. *Journal of Food Process Engineering*, February. https://doi.org/10.1111/jfpe.13532

Rodríguez, R y Rivera, D. (2017). *Efecto de la aplicación poscosecha de un recubrimiento natural y aceites esenciales en el sistema antioxidante y metabolismo secundario de aguacate (*Persea americana *mill., cv. 'Hass') orgánico* [tesis de maestría]. [Santiago de Queretaro, México] Universidad Autónoma de Querétaro.

Romero, I., Díaz, V. y Aguirre, M. (2016). *Fortalecimiento de la cadena de valor de los snacks nutritivos con base en fruta deshidratada en El Salvador*. Cepal.

Rosero Chamorro, I. M. (2018). *Comparación de técnicas de secado de ventana refractiva y convección forzada en frutas tropicales*. Escuela de Ingenierías.

Sánchez, J., Medina, J. y León, A. (2007). Publicación internacional de patentes por organizaciones inventores de origen colombiano. *Cuaderno de economía, 26*(47). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-47722007000200010

Salvador, A., Varela, P., Sanz, T., & Fiszman, S. M. (2009). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *lwt–Food Science and Technology*, *42*(3), 763–767. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.016

Sarkar, T., Salauddin, M., Hazra, S. K. y Chakraborty, R. (2020). The impact of raw and differently dried pineapple (*Ananas comosus*) fortification on the vitamins, organic acid and carotene profile of dairy rasgulla (sweetened cheese ball). *Heliyon*, *6*(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05233

Satish, A., Naveena, M. S., Girish T, K., Leela Bai, S., Vijayalakshmi, N. S. y Baldev, R. (2012). Suitability of PET Bottles for Food Contact Applacations. *Indian Food Packer*, *66*(6), 97–103.

Seitz, N. S. (2008). *Factibilidad del enfriamiento rápido continuo para fruta fresca* [trabajo de grado]. [Chile] Universidad de Chile.

Sepúlveda, M., Quitral, V., Schwartz, M., Vio, F., Zacarías, I. y Werther, K. (2011). Propiedades saludables y calidad sensorial de snack de manzanas destinadas a alimentacion escolar. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *61*(4), 423.

Sethi, K. y Kaur, M. (2019). Effect of osmotic dehydration on physicochemical properties of pineapple using honey, sucrose and honey-sucrose solutions. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, *9*(1), 6257–6262. https://doi.org/10.35940/ijeat.A2026.109119

Shaker, M. A. (2015). *Comparison between traditional deep-fat frying and air-frying for production of healthy fried potato strips*. *International Food Research Journal, 22*(4):1557-1563

Shende, D. y Datta, A. K. (2019). Refractance window drying of fruits and vegetables: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(4), 1449-1456. https://doi.org/10.1002/jsfa.9356

Shyu, S., Hau, L. y Hwang, L. S. (2005). Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *85*(11), 1903-1908.

Silva, K. S., García, C. C., Amado, L. R. y Mauro, M. A. (2015). Effects of Edible Coatings on Convective Drying and Characteristics of the Dried Pineapple. *Food and Bioprocess Technology*, *8*(7), 1465–1475. https://doi.org/10.1007/s11947-015-1495-y

Simmonds, M. y Preedy, V. R. (2015). *Nutritional composition of fruit cultivars*. Academic Press.

Singh (2017). What´s next in E – Commerce: Understanding the omnichannel consumer. *Nielsen*. https://www.nielsen.com/wp-content/uploads/sites/3/2019/04/whats-next-in-ecommerce-3.pdf.

Singh, S. P., Chonhenchob, V., Chantarasomboon, Y. y Singh, J. (2007). Testing and evaluation of quality changes of treated fresh-cut tropical fruits packaged in thermoformed plastic containers. *Journal of Testing and Evaluation*, *35*(5), 522–528. https://doi.org/10.1520/jte100166

Soto, M., Dhuique-Mayer, C., Servent, A., Jiménez, N., Vaillant, F. y Achir, N. (2020). A kinetic study of carotenoid degradation during storage of papaya chips obtained by vacuum frying with saturated and unsaturated oils. *Food Research International, 128*, 108737.

Syazwani, S., Nurliya, I. y Ding, P. (2013). Storage quality of "MD-2" pineapple (Ananas comosus L.) fruits. *Acta Horticulturae*, *1012*, 897–902. https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.1012.121

Tarazaga, M. L. N. (2007). *Comestibles a Base de Hidroxipropilmetilcelulosa y Cera de Abeja en la Calidad de Ciruelas*.

Then, L. (2015). Relazanmiento del sector piñero para la exportación. Asociación de Productores de Piña de Cevicos, INC. http://www.competitividad.org.do/wp-content/uploads/2016/05/Estudio-del-Mercado-Local-y-de-Exportacion-de-la-Pi%C3%B1a.pdf

Tian, J., Chen, S., Shi, J., Chen, J., Liu, D., Cai, Y., Ogawa, Y. y Ye, X. (2017). Microstructure and digestibility of potato strips produced by conventional frying and air-frying: An in vitro study. *Food structure, 14*, 30-35. https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.06.001

Trade Map. (2019). *Inicio*. https://www.trademap.org/Index.aspx

Treviño-Garza, M. Z., García, S., Heredia, N., Alanís-Guzmán, M. G. y Arévalo-Niño, K. (2017). Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*).

Postharvest Biology and Technology, *128*, 63–75. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.007.

Treviño-Garza, M. Z., García, S., Heredia, N., Alanís-Guzmán, M. G. y Arévalo-Niño, K. (2017). Layer-by-layer edible coatings based on mucilages, pullulan and chitosan and its effect on quality and preservation of fresh-cut pineapple (*Ananas comosus*). *Postharvest Biology and Technology*, *128*, 63–75. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.01.007

Udomkun, P., y Innawong, B. (2018). Effect of pre-treatment processes on physicochemical aspects of vacuum-fried banana chips. *Journal of food processing and preservation, 42*(8), e13687.

Usda. (2019). *Food Composition Databases Show Foods List*.

Valderrama Ocoró, M. F., Chavarro Guzmán, L. E., Osorio Gómez, J. C., y Peña Montoya, C. C. (2018). Estudio dinámico del reciclado de envases PET en el Valle del Cauca. *Revista Lasallista de Investigacion*, *15*(1), 159–165. https://doi.org/10.22507/rli.v15n1a6

Velasco, J., Dobarganes, C. y Márquez-Ruiz, G. (2010). Oxidative rancidity in foods and food quality. Woodhead Publishing Limited.

Veritradecorp. (2018). Exportaciones 080430: pineapples, frescas o secas. *Veritradecorp*. https://www.veritradecorp.com/en/Colombia/imports-and-exports/pineapples-fresh-or-dried/080430

Wilson, C. (2017). *Influences of Modified Atmosphere Packaging and Drip Absorbents on the Quality, Safety, and Acceptability of Fresh-Cut Cantaloupe* [Michigan State University]. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

XTC World Innovation. (2012). Observatorio de la innovación alimenticia mundial 2012, El Modelo Empresarial de Gestión Agroindustrial de la Cámara de Comercio de Bogotá contrata a XTC para la realización del estudio. *Cámara de Comercio de Bogotá*. https://bibliotecadigital.ccb.org.co/handle/11520/1943.

Yeoh, W. K. y Ali, A. (2017). Ultrasound treatment on phenolic metabolism and antioxidant capacity of fresh-cut pineapple during cold storage. *Food Chemistry*, *216*, 247–253. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.074

Yousuf, B. y Srivastava, A. K. (2019). Impact of honey treatments and soy protein isolate-based coating on fresh-cut pineapple during storage at 4 °C. *Food Packaging and Shelf Life*, *21*(July), 100361. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100361

Yunga, M. (2011). *Empaques y técnicas de la conservación de todo tipo de alimentos* (Issue Cuenca, Ecuador).

Zaghi, A. N., Barbalho, S. M., Guiguer, E. L. y Otoboni, A. M. (2019). Frying Process: From Conventional to Air Frying Technology. *Food Reviews International, 35*(8), 763-777.

Zhang, B. Y., Samapundo, S., Puthakos, N., Noseda, B., Devlieghere, F. (2013). Effect of atmospheres combining high oxygen and carbon dioxide levels on microbial spoilage and sensory quality of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology, 86,* 73-84.

Zhang, M., Chen, H., Mujumdar, A. S., Tang, J., Miao, S., & Wang, Y. (2017). Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *57*(6), 1239–1255.

Zou, Y., Yu, Y., Cheng, L., Li, L., Zou, B., Wu, J., Zhou, W., Li, J. y Xu, Y. (2021). Effects of curcumin-based photodynamic treatment on quality attributes of fresh-cut pineapple. LWT, 141, Article 110902. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.11090

Zzaman, W., Biswas, R., & Hossain, M. A. (2021). Application of immersion pre-treatments and drying temperatures to improve the comprehensive quality of pineapple (*Ananas comosus*) slices. *Heliyon*, *7*(1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05882

PROCESOS AGROINDUSTRIALES DE PIÑA MD2

Hace parte del proyecto "Incremento de la competitividad sostenible en la agricultura de ladera en todo el departamento, Valle del Cauca, Occidente".

Se editó en la Editorial Universidad Nacional de Colombia.

En su composición se utilizaron caracteres Chaparral Pro.

Formato de 21,5 × 28 centímetros.

Se terminó de imprimir en DGP Editores S. A. S., 300 ejemplares en propalmate de 90 gr.

Se publicó en junio de 2022. Bogotá, D. C., Colombia.

Este proyecto es financiado por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías del Departamento Nacional de Planeación y tiene como objetivo beneficiar a los productores de las zonas de ladera del Valle del Cauca. Está orientado a incrementar la competitividad sostenible en la agricultura de ladera del Valle del Cauca, mediante procesos de investigación y desarrollo en los diferentes eslabones de la cadena productiva, que va desde la etapa inicial del cultivo hasta la etapa agroindustrial de los tres frutales seleccionados: piña MD2, aguacate Hass y mora de Castilla.

ISBN 978-958-794-757-1