



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Desarrollo y caracterización físicoquímica de una lámina comestible a base de pulpa de mango (*Mangifera indica*) y piña (*Ananas comosus*)

Jeinson Estiven Bravo Buitrago

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Área Curricular de Agroingeniería y Alimentos
Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos
Medellín, Colombia

2022

Desarrollo y caracterización fisicoquímica de una lámina comestible a base de pulpa de mango (*Mangifera indica*) y piña (*Ananas comosus*)

**Jeinson Estiven Bravo Buitrago
Ingeniero Agroindustrial**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos (Línea de Investigación)

Director (a):

Ph.D., Héctor José Ciro Velásquez

Codirector (a):

Ph.D., Carlos Julio Márquez Cardozo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias, Área Curricular de Agroingeniería y Alimentos,
Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos
Medellín, Colombia

2022

Dedicatoria

A Dios, por haberme dado salud para llegar a este importante punto de mi vida.

A mis padres y hermanos, quienes siempre confiaron en mí y me brindaron su apoyo incondicional.

“El estudio de tus errores no revelará el secreto del éxito, pero el estudio de la abnegación y el esfuerzo sí lo hará”.

Bernard Holdane

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a los laboratorios de Frutas y Hortalizas, Procesos Agrícolas y Control de Calidad de Alimentos.

A los docentes Héctor José Ciro Velásquez y Carlos Julio Márquez Cardozo, por sus acompañamientos y asesorías a lo largo de la maestría.

A mi familia por su apoyo incondicional

A todos mis amigos, amistades y personal de la universidad que hicieron posible el desarrollo de la presente investigación.

Resumen

Desarrollo y caracterización fisicoquímica de una lámina comestible a base de pulpa de mango (*Mangifera indica*) y piña (*Ananas comosus*)

El mercado actual de alimentos, ofrece un sin número de productos procesados que permiten acceder a la oportunidad de un consumo diverso que, comprende las diferentes culturas y hábitos de alimentación. El campo actual de la industrialización de las frutas es ampliamente diverso y se encuentra comprendido en su gran mayoría por la transformación en productos mínimamente procesados. Muchas de las frutas son consumidas en fresco o procesadas con el fin de obtener la pulpa necesaria para la elaboración de jugos y/o bebidas a base de fruta. Con base a lo anterior, y pretendiendo apoyar el grado de industrialización de frutas y obtención de productos alimentarios nuevos e innovadores en el mercado, se realizó un estudio que contempló el desarrollo y estudio de estabilidad fisicoquímica de una lámina comestible de humedad intermedia elaborada a base de pulpa de mango (*Mangifera indica*) variedad Tommy Atkins y piña (*Ananas comosus*) variedad oro miel, obtenida por deshidratación por convección forzada. La investigación se llevó a cabo utilizando pulpa de mango variedad Tommy Atkins en estado 3 de maduración de acuerdo a la NTC 5210 y, piña variedad oro miel con un estado 5 de maduración, según NTC 729-1. Para el desarrollo y obtención final de la lámina comestible, se evaluó la adición de los hidrocoloides carboximetilcelulosa (CMC), gelatina sin sabor y pectina en concentraciones del 1% respecto al peso de las pulpas de frutas, sobre la flexibilidad de las láminas obtenidas por secado a 70°C. Los resultados preliminares mostraron que la adición de CMC fue el único hidrocoloide que logró una textura flexible, buen color, retención de aroma y sabor, por lo tanto, la formulación base fue establecida con 0,1% de ácido cítrico, 0,1% de ácido ascórbico, 1% de CMC y 4,5% de azúcar blanca. La obtención de la lámina comestible a partir de la formulación base, se llevó a cabo mediante un secado por convección forzada en una estufa Memmert INB 500, a temperaturas de 60°C y 70°C en condiciones constantes de velocidad de circulación de

aire de 2,5m/s. La estabilidad fisicoquímica del producto de humedad intermedia fue evaluada por un periodo de 4 semanas en una cámara climática a 25°C y 35°C en condiciones constantes de humedad relativa del aire de 80%, exposición a la luz blanca y velocidad de circulación de 0,5m/s. Los resultados indicaron que las láminas alcanzaron durante el proceso de secado, valores de humedades de 20 al 21% en base húmeda, sin embargo, ésta característica aumentó durante el almacenamiento. El incremento de la humedad del producto fue menor en aquellas obtenidas a 70°C, debido a la formación de una capa superficial seca que actuó como barrera impidiendo la transferencia de masa. Este resultado se correlaciona con la actividad de agua y características de resistencia mecánicas. La pérdida de agua durante el secado de las láminas, ocasionó la disminución de la actividad de agua, sin embargo, el almacenamiento provocó un aumento, que a su vez, fue mayor en las láminas secadas a 60°C y almacenadas a 35°C, alcanzando el valor máximo a las 4 semanas de 0,672±0,008. Por otro lado, las propiedades de resistencia mecánica tales como la fuerza de falla al corte y la fuerza de falla en tensión, disminuyeron con el tiempo de estabilidad, logrando los menores valores de resistencia mecánica a 60°C y almacenadas a 35°C. En estas condiciones, durante las 4 semanas de almacenamiento, la resistencia mecánica en tensión y de fuerza de corte, disminuyeron de 3,47kgf hasta 3kgf y de 8,5kgf hasta 6,11kgf, respectivamente. El módulo de elasticidad se encontró entre 1,317MPa y 2,22MPa, siendo significativamente mayor en las láminas sometidas a secado a 70°C y almacenadas a 25°C. Durante el estudio de estabilidad, las láminas sometidas a almacenamiento a 35°C presentaron valores medios de 57,76 para L^* , 14,55 para a^* y b^* de 38,61, donde L^* y b^* mostraron en el tiempo una tendencia al color negro y azul, respectivamente, lo cual puede ser causado por la foto-degradación, el calor y la oxidación de los enlaces dobles de los carotenoides culpables de la coloración amarilla, dando lugar a un pardeamiento pronunciado a partir de la primera semana de almacenamiento bajo estas condiciones de estabilidad. Por otro lado, a mayor temperatura de secado y de almacenamiento de las láminas comestibles, se observó una mayor pérdida de vitamina C. Mientras que el mayor contenido de vitamina C fue de 3,371±0,050mg/g de materia seca, alcanzado en condiciones de secado a 60°C y almacenamiento a 35°C, el valor mínimo observado fue de 0,692±0,036mg/g materia seca, presente en las láminas almacenadas por 4 semanas previamente secadas y almacenadas a 70°C y 35°C.

Finalmente, el desarrollo y caracterización de láminas elaboradas con pulpa de mango Tommy Atkins y piña oro miel, permiten la obtención de un producto con potencial comercial, nutritivo, con tendencia al nuevo mercado de consumo saludable en la industria de producción de láminas comestibles de textura flexible a base de fruta.

Palabras clave: Frutas, almacenamiento, característica fisicoquímica, estabilidad fisicoquímica, humedad intermedia.

Abstract

Development and physicochemical characterization of an edible leather made from mango (*Mangifera indica*) and pineapple (*Ananas comosus*) pulp.

The current food market offers several processed products that allows for the opportunity for consumers to try diverse foods and understand different cultures and eating habits. The current fruit industry specifically is extremely diverse, and it is easy to understand why there is a growing need for minimally processed products. Many fruits are consumed fresh or processed into pulp for juices or other fruit-based drinks. Based on the previous ideas, and pretending support the degree of industrialization in the fruit industry in order to generate new and innovative food products within the market, a research project was carried out that looked at the development and study of physicochemical stability of an edible leather intermediate moisture made from mango pulp (*Mangifera indica*) Tommy Atkins variety and pineapple (*Ananas comosus*) honey gold variety, obtained by dehydration by forced convection. The investigation was carried out using mango pulp from the Tommy Atkins variety in a state of 3 maturation according to NTC 5210, in addition to use pineapple of the honey gold variety with a state of maturation 5, according to NTC 729-1. For development and final result of the edible leather, the addition of carboxymethyl cellulose hydrocolloid (CMC) was evaluated, the addition of unflavored gelatin and pectin in concentrations of 1% with respect to the weight of the fruit pulp, on the flexibility of the leather obtained by drying at 70 °C. Preliminary results showed that the addition of CMC was the only hydrocolloid that achieved a flexible texture and good smell and flavor retention, therefore, the base formulation was established with 0.1% citric acid, 0.1% ascorbic acid, 1% CMC and 4.5% white sugar. Obtaining the edible leather from the base formulation was carried out by forced convection drying in a Memmert INB 500 stove, at

temperatures of 60°C and 70°C under constant conditions of air circulation with a speed of 2.5m/s. The physicochemical stability of the intermediate product was evaluated for a period of 4 weeks in a climatic chamber at 25 °C and 35 °C under constant conditions of relative humidity of 80%, exposure to white light and circulation speed of 0.5m/s.

The results indicated that the leathers reached during the drying process, moisture values of 20 to 21% w.b, however, this characteristic increased during storage. The increase in moisture content was lower in those obtained at 70°C, due to the formation of a dry surface layer that acted as a barrier preventing mass transfer. This value correlates with the results obtained by determining the water activity and mechanical characteristics. The loss of water during leather drying, caused a diminution of water activity, however, the storage caused an increase, which in turn, was greater in the leather dried at 60 °C and stored at 35°C, reaching the maximum value, 0.672 ± 0.008 at 4 weeks. On the other hand, the properties of mechanical resistance such as the cutting failure force and the tension failure force, diminished when the leather was stored for longer periods of time, with the lowest values of mechanical resistance in the leather obtained at 60°C and stored at 35°C. Under these conditions, during the 4 weeks of storage, the mechanical tensile strength and cutting force decreased from 3.47kgf to 3kgf and from 8.5kgf to 6.11kgf, respectively. The elasticity modulus was found between 1.317MPa and 2.22MPa, which were significantly higher in the leather subjected to drying at 70°C and in the leather stored at 25°C. During the stability study, the leather subjected to storage at 35° C presented average values of 57.76 for L^* , 14.55 for a^* and b^* of 38.61, where L^* and b^* showed in time a tendency to turn a black and blue color, respectively, which may be the cause of pronounced browning from the first week of storage under these storage conditions. Also, a greater loss of vitamin C was observed. While the highest vitamin C content was 3.371 ± 0.050 mg/g of dry mass, reached in leather dried at 60°C that would then be stored at 35 °C, the minimum value observed was 0.692 ± 0.036 mg/g of dry mass, present in the leather stored for 4 weeks previously dried and stored at 70°C and 35°C. Finally, the development and characterization of leather formulated with Tommy Atkins mango pulp and honey gold pineapple, allow the development of a product with a commercial and nutritive potential. This product could become part of the new market for healthy consumption in the edible fruit-based-flexible-leather production industry.

Key words: fruits, storage, physicochemical characteristic, physicochemical stability, intermediate moisture.

Contenido

	Pág.
Lista de figuras.....	XIV
1. Capítulo 1	21
1.1 Objetivo General	21
1.2 Objetivos específicos.....	21
2. Capítulo 2. Marco teórico	23
2.1 Generalidades del mango y de la piña	23
2.1.1 Composición nutricional del mango	24
2.1.2 Composición nutricional de la piña	25
2.2 Hidrocoloides	26
2.2.1 Generalidades	26
2.2.2 Hidrocoloides en alimentos	28
2.2.3 Carboximetil-celulosa	29
2.2.4 Pectina	30
2.2.5 Gelatina	32
2.3 Tecnología de secado convectivo	33
2.3.1 Generalidades del secado convectivo	33
2.3.2 Ventajas y desventajas del secado por convección forzada	34
2.4 Estabilidad de un alimento.....	34
2.5 Estado del arte	35
2.5.1 Láminas de mango deshidratadas osmóticamente.....	35
2.5.2 Láminas de puré de frutas.....	36
2.5.3 Láminas de puré de mango.....	37
2.5.4 Láminas de puré de piña.....	38
3. Capítulo 3. Estudio de la estabilidad fisicoquímica y mecánica de una lámina comestible de pulpa de mango (<i>mangifera indica</i>) y piña (<i>ananas comosus</i>).....	39
3.1 Resumen	39
3.2 Introducción	40
3.3 Materiales y Métodos	41
3.3.1 Materias primas	41
3.3.2 Desarrollo de la formulación.....	42
3.3.3 Caracterización de la suspensión de fruta a secar	42
3.3.4 Secado de la Suspensión.....	43
3.3.5 Estudio de estabilidad de las láminas	43

3.3.6	Caracterización de las láminas de frutas	43
3.3.7	Propiedades mecánicas y de Textura	43
3.4	Análisis estadístico	44
3.5	Resultados y discusión.....	44
3.5.1	Mezclas formuladas y láminas obtenidas por secado	45
3.5.2	Estabilidad durante el almacenamiento.	48
3.5.3	Fuerza de Fallo al Corte (FFC), Fuerza de Fallo en Tensión (FFT) y Módulo de elasticidad (MY)	53
4.	Conclusiones y recomendaciones	62
4.1	Conclusiones	62
4.2	Recomendaciones	63
5.	ANEXO I: Formato prueba sensorial de preferencia de las formulaciones preliminares	64
6.	ANEXO II: Oscurecimiento de las láminas durante almacenamiento a 35°C.	67
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-2-1. Estructura de la pectina	31
Figura 2-2-2. Estructura de la pectina de alto metoxilo	31
Figura 2-2-3. Estructura de la pectina de bajo metoxilo	32
Figura 3-1. Contenido de humedad de las láminas durante almacenamiento a 25°C (A) y almacenamiento a 35°C (B).....	48
Figura 3-2. Comportamiento de aw durante almacenamiento: (A) almacenamiento a 25°C; (B) almacenamiento a 35°C	50
Figura 3-3. Comportamiento de SST durante almacenamiento: (A) almacenamiento a 25°C; (B) almacenamiento a 35°C	51
Figura 3-4. pH (A,B) y acidez (C,D) de las láminas durante estudio de almacenamiento: (A, C) almacenamiento a 25°C; (B, D) almacenamiento a 35°C.....	52
Figura 3-5. Esfuerzo de falla al corte durante almacenamiento: (A) almacenamiento a 25°C; (B) almacenamiento a 35°C.	54
Figura 3-6. Comportamiento del esfuerzo a la falla en tensión (A,B) y Módulo de Young (C,D) de las láminas comestibles durante almacenamiento a 25°C (A,C) y almacenamiento a 35°C (B,D)	54
Figura 3-7. Parámetros CIE-L*a*b* de las láminas comestibles durante almacenamiento: A, C, E) y (B, D, F) corresponden a temperaturas de almacenamiento de 25 y 35°C, respectivamente.....	57
Figura 3-8. Comportamiento del contenido de vitamina C durante almacenamiento: (A) y (B) corresponden a temperatura de almacenamiento de 25 y 35°C, respectivamente.	60

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1. Composición nutricional promedio de la pulpa de mango por cada 100g.	24
Tabla 2-2. Composición nutricional promedio de la pulpa de piña por cada 100g	25
Tabla 2-3. Naturalidad de los hidrocoloides	27
Tabla 2-4. Aplicaciones de la CMC	29
Tabla 3-1. Caracterización de la mezcla formulada y de las láminas obtenidas por secado.	44

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término
a_w	Actividad de agua
a^*	Coordenada de color verde-rojo
b^*	Coordenada de color amarillo-azul
L^*	Índice de luminosidad
pH	Potencial de Hidrógeno

Superíndice	Término
--------------------	----------------

°Bx	Grados Brix
-----	-------------

Abreviaturas

Abreviatura	Término
t	Tiempo
TS	Temperatura de secado
TAE	Temperatura de almacenamiento en Estabilidad
FFT	Fuerza de Fallo en Tensión
FFC	Fuerza de Fallo en Compresión
MY	Módulo de Young
CMC	Carboximetilcelulosa
PAM	Pectina de alto metoxilo
PBM	Pectina de bajo metoxilo
HPLC	Cromatografía líquida de alto rendimiento
b.h	base húmeda

Introducción

La cadena de aprovechamiento de las frutas en Colombia, se reduce en gran parte a su consumo en fresco, lo que limita la exploración y obtención de productos nuevos e innovadores a los que puedan tener acceso los consumidores y los mercados saludables emergentes. Tal es el caso de frutas como el mango y la piña, las cuales, han presentado un incremento en la producción en los últimos años (Faostat, 2019), situándose dentro del grupo de las 7 frutas más consumidas a nivel Nacional (Rodríguez y Sánchez, 2017).

En Colombia, un gran porcentaje del área de cultivo ocupada por el mango, corresponde a la variedad Hilacha, seguida de las variedades Tommy Atkins, Keitt y mango de azúcar. Estas variedades de mango al igual que muchas de las frutas producidas en Colombia, no cuentan con un aprovechamiento industrial considerable, por lo cual, realizar un procesamiento de esta fruta, significaría incrementar el nivel productivo y de industrialización de alimentos procesados a base de este fruto (Buelvas et al., 2017). Por otro lado, según el Ministerio de Agricultura colombiano, la mayor producción de piña se encuentra en los departamentos de Valle del Cauca, Quindío, Santander y Cauca, siendo predominantes en producción las variedades Manzana, Perolera y Cayena Lisa.

En términos de diversidad de productos, la industrialización del mango y la piña es aún muy escasa. Estas frutas son principalmente aprovechadas para el consumo en fresco, mínimamente procesadas (pulpas) y, para la elaboración de jugos, aunque, también podrían ser utilizadas en la elaboración de alimentos deshidratados, conservas, salsas y mermeladas, de tal manera que, además de obtener nuevos productos mediante su procesamientos, se pueda alargar su vida útil (Ramírez, 2005; Sosa et al., 2011). En este marco, se evidencia que la innovación en cuanto al desarrollo y producción de productos a base de mango y piña, aún se encuentra en una situación inexplorada en gran medida. Esto restringe el consumo de estas frutas a un campo muy limitado de productos que, en otras palabras, han sido el común denominador del procesamiento de las frutas en general.

El mango (*Mangifera indica*) y la piña (*Ananas comosus*) son dos frutas tropicales que poseen un alto valor comercial gracias a su alta preferencia y disponibilidad, además, de poseer componentes bioactivos con actividad antioxidante tales como vitamina C, polifenoles y carotenoides que son esenciales para el funcionamiento de una buena salud

(Robles-Sánchez et al., 2007) y propiedades sensoriales debidas a su composición propia de azúcares, vitaminas, ácidos, aromas y pigmentos que lo hacen atractivo para todo tipo de consumidor (Masibo y He, 2008). Las pulpas de estas frutas, poseen cantidades considerables de vitamina C, niacina y, otros nutrientes como riboflavina, hierro y fósforo que, aunque se encuentran en menor cantidad, son importantes en el desarrollo fisiológico humano (Mejía et al., 2007; Menchú y Méndez, 2007).

Una opción de transformación de frutas es la producción de láminas comestibles, las cuales son reconocidas por ser una buena fuente de vitaminas, minerales y fibra (Offia-Olua y Ekwunife, 2015), asimismo, suelen tener una forma flexible (Valenzuela y Aguilera, 2015), actividad de agua intermedia y pH bajo (Torres et al., 2015). Estos productos usualmente son de buen sabor y agradables al masticar, convirtiéndolo en una atractiva forma de incorporar fruta a la dieta (Quintero et al., 2012). Su elaboración consta de someter láminas delgadas de puré de frutas a un proceso de secado hasta alcanzar una consistencia de “cuero” (Vatthanakul et al., 2010). Las características fisicoquímicas de las láminas de frutas pueden variar dependiendo de las condiciones de almacenamiento o del medio que las rodea (Kosegarten y Jiménez-Munguía, 2012). El estudio de estabilidad fisicoquímica de los alimentos, permite evidenciar los posibles cambios físicos, químicos o microbiológicos que en este puedan ocurrir, gracias a las condiciones de temperatura de almacenamiento, humedad y exposición a la luz, las cuales, pueden llevar al deterioro del producto (Llanes et al., 2018). Los cambios fisicoquímicos de un alimento, tales como pH, acidez, actividad de agua y color, suelen estudiarse mediante estabilidad (Valencia et al., 2008), e indican los cambios que sufre el alimento como respuesta a la degradación de sus componentes (Nuñez, 2015).

Actualmente, es limitada la información antecedente de transformación de frutas en alimentos tipo lámina comestible de humedad intermedia (20-30% b.h). Son mayoría los antecedentes de elaboración de láminas comestibles de baja humedad (menores al 15% b.h), que traen como resultado la obtención de productos poco flexibles, diferentes a lo que se buscó en la presente investigación. Entre estos, autores como Da Silva et al., (2019), estudiaron las características físicas y de calidad sensorial de láminas deshidratadas de puré de mango. Sharma et al., (2016), estudiaron las propiedades fitoquímicas de láminas deshidratadas de puré de piña obtenidos mediante cocción por extrusión. Asimismo, Offia-Olua y Ekwunife (2015), trabajaron sobre la producción y evaluación de las propiedades

fisicoquímicas y sensoriales de láminas comestibles a base de la mezcla de pulpas de piña, banano y manzana, obteniendo contenidos de humedad entre 2,83 y 4,14%. Otros autores han estudiado láminas de bajo contenido de humedad (menor al 12%) elaboradas a partir de manzana, tales como Torres et al., (2015) y Valenzuela y Aguilera (2015)

De acuerdo a la alta producción y consumos de mango y piña, a la creciente demanda de los consumidores por la adquisición de alimentos de etiquetado limpio (Mollet y Rowland, 2002) se identifica la posibilidad de llevar el procesamiento del mango y de la piña a un escalón más alto, desarrollando un alimento que obedece en gran medida al etiquetado libre de aditivos como conservantes y colorantes artificiales.

Con base en lo anterior, se identifica la oportunidad de implementar una alternativa de desarrollo industrial de un producto, para lo cual se planteó una investigación proyectada al desarrollo y estudio de estabilidad fisicoquímica de una lámina comestible de humedad intermedia (20-22% b.h) a base de pulpa de mango (*Mangifera indica*) variedad Tommy Atkins y piña (*Ananas comosus*) variedad oro miel, bajo condiciones controladas de temperatura de almacenamiento, humedad relativa, exposición a la luz y velocidad de circulación de aire.

1. Capítulo 1

1.1 Objetivo General

Desarrollar una lámina comestible a partir de pulpa de mango variedad Tommy Atkins y piña variedad oro miel.

1.2 Objetivos específicos

- Formular y caracterizar fisicoquímicamente una lámina comestible de humedad intermedia a base de pulpa de mango y piña.

- Estudiar las características fisicoquímicas de la lámina comestible durante estabilidad bajo condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y velocidad de circulación de aire.

2. Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Generalidades del mango y de la piña

El mango (*Mangifera indica*), es un fruta originaria del noroeste de la India, la cual llegó al occidente por medio de los portugueses y, a América por intervención de los españoles. Es conocida en el hemisferio norte como “manzana de los trópicos” y mundialmente, es considerada una de las frutas más finas; entre sus variedades se destacan las variedades de color rojo (Tommy Atkins, Kent, Haden), verde (Keitt) y amarilla (Ataulfo, Manila súper) (Sumaya-Martinez et al., 2012).

Este fruto es de una sola semilla (monospermo), posee características físicas variadas dependiendo de la variedad. Su peso puede variar entre 1 y 2kg, su forma es ovoide oblonga ligeramente aplanada o redondeada. Su color puede estar entre tonalidad amarilla, verde, rojo y violeta. Su carnosidad o pulpa en estado maduro es de color amarillo-anaranjado, su cáscara o mesocarpio puede constituir entre el 12-18% del peso total del fruto y, junto con la semilla puede llegar a alcanzar un porcentaje del total del fruto de 40-45% (Sumaya-Martinez et al., 2012; Mazariegos et al., 2017). El mango es reconocido en Colombia como un fruto con excelentes propiedades sensoriales, gracias a su contenido de azúcares, ácidos, aromas y pigmentos que lo hacen atractivo para todo tipo de consumidor (Mejía et al., 2007).

Por otro lado, la piña (*Ananas comosus*), es una fruta originaria de América del Sur y, aunque no se conoce muy bien su país de procedencia, se cree que fue domesticada en áreas entre Brasil y Uruguay. La piña es un fruto de tipo herbáceo de forma cilíndrica o piramidal, de peso diferenciado según la variedad, vigor y desarrollo de la planta; se encuentra formado por lo que se conoce como una “agrupación de frutos” o técnicamente conocido como infrutescencia. El fruto en estado maduro, posee una pulpa jugosa, carnosita, aromática y de sabor dulce de color blanco o amarilla (García y Serrano, 2005).

De acuerdo a Quintero et al., (2013), según las necesidades del mercado y del consumidor final, la fruta puede comercializarse, transportarse y consumirse en estado maduro, “pintoso” o verde, es por esto que, es de vital importancia que el productor conozca el comportamiento del fruto con el objetivo de identificar su estado fisicoquímico durante el periodo de poscosecha.

De acuerdo a lo anterior y para fines de distribución de los frutos, el mango y la piña se cosechan en estado maduro desde el punto de vista fisiológico, lo que se traduce en un estado inmaduro desde el punto de vista sensorial, lo cual a su vez, no significa que el fruto no se encuentre desarrollado, puesto que su nivel de desarrollo en este punto, es el suficiente para lograr las características fisicoquímicas convencionales que son alcanzadas durante el posterior proceso de maduración, generado por la presencia del etileno, que promueve los cambios de coloración, ablandamiento y producción de aromas (Genard y Gouble, 2005).

2.1.1 Composición nutricional del mango

El valor nutritivo del mango depende de su estado de madurez, puesto que, el contenido de algunos nutrientes como la vitamina C disminuye a medida que se desarrolla la fruta, mientras que, el contenido de carbohidratos y carotenoides aumentan con la maduración (Ospina et al., 2012). Desde el punto de vista del valor nutritivo en la pulpa, se destaca la participación significativa de ácido ascórbico, vitamina A y fibra (Tabla 2-1).

Tabla 2-1. Composición nutricional promedio de la pulpa de mango por cada 100g.

Adaptado de: Sumaya-Martinez et al., (2012); Wall-Medrano et al., (2015).

Nutriente	Cantidad
Macronutrientes (g)	
Agua	83
Proteína	0,5-0,8
Grasa	0.4
Carbohidratos	15

Fibra	0,8-1,6
Vitaminas	
Vitamina C (mg)	37-186
Tiamina (mg)	0,05
Riboflavina (mg)	0,04
Niacina (mg)	0,7
Vitamina B6 (mg)	0,12
Vitamina A (UI)	670
Folatos (µg)	43
Minerales (mg)	
Ca	11
Fe	0,4
Mg	14
P	14
K	170
Zn	0,11

Además del importante contenido de vitamina A, C y fibra en la pulpa de mango, también se evidencian minerales como el magnesio y el potasio. La parte comestible de este fruto posee propiedades funcionales significativas, gracias a su contenido de polifenoles y carotenoides (Kuskoski et al., 2005; Corrales-Bernal et l., 2014).

Aunque, en general, el mango en cualquiera de sus variedades, posee un alto contenido de ácido ascórbico y carotenoides, existe una amplia variabilidad nutrimental que depende de factores como el clima, métodos de siembra, cosecha, estado de madurez, variedad e incluso, la posición del fruto en el árbol (Mudau et al., 2013).

2.1.2 Composición nutricional de la piña

El aspecto nutricional de la piña (Tabla 2-2), como cualquier otro fruto, depende de su estado de madurez, por lo cual, su composición nutricional se establece cuando el fruto se encuentra en un estado maduro. Dentro de sus vitaminas destacadas, se encuentran la vitamina A y C.

Tabla 2-2. Composición nutricional promedio de la pulpa de piña por cada 100g

Tomado de: (Menchú y Méndez (2007)).

Nutriente	Cantidad
Macronutrientes (g)	
Agua	85
Proteína	0,5
Grasa	0,1
Carbohidratos	13
Fibra	1,4
Vitaminas	
Vitamina C (mg)	55
Tiamina (mg)	0,08
Riboflavina (mg)	0,03
Niacina (mg)	0,4
Vitamina B6 (mg)	0,11
Vitamina A (UI)	16,65
Folatos (µg)	13
Minerales (mg)	
Ca	15
Fe	0,3
Mg	14
P	8
K	110
Zn	0,4

La pulpa de piña, además de poseer nutrientes en cantidades representativas para la dieta, también cuenta con la presencia de bromelina, una enzima a la que se le han adjudicado propiedades adelgazantes y saludables gracias a que ayuda en el metabolismo de los alimentos, especialmente de la carne (Clavijo et al., 2012).

2.2 Hidrocoloides

2.2.1 Generalidades

En principio, este tipo de productos se conocieron como gomas, aunque, después de la segunda guerra mundial, algunos científicos se unieron en el estudio de este tipo de polímeros y los clasificaron en dos grupos de acuerdo a su solubilidad en agua: gomas solubles y gomas insolubles. Las primeras son aún conocidas como gomas pero, este nombre, se ha ido reemplazando por uno más técnico, siendo este “hidrocoloides hidrofílicos” o simplemente hidrocoloides. Los segundos actualmente son conocidos como

resinas, y se refieren al chicle, rosina, látex de caucho, entre otros (Pasquel, 2001; Rodríguez et al., 2003).

De gran importancia es también, resaltar que, durante los últimos años, los consumidores están pidiendo al mercado, productos naturales o más cercanos a lo natural, productos seguros y lo menos procesados posibles, de tal manera que, esto se ha convertido en un desafío para la industria de procesamiento de alimentos ya que, lograr obtener alimentos con buenas características sensoriales sin la adición de aditivos sintéticos en su mayoría, es verdaderamente un reto. Con esto, los hidrocoloides han sido una alternativa para la obtención de productos con óptimas características texturales, de estabilidad y consistencia.

La Tabla 2-3, muestra la agrupación de los hidrocoloides respecto a su proveniencia.

Tomado de: Penna (2002); Rodríguez et al., (2003).

Tabla 2-3. Naturalidad de los hidrocoloides

Clasificación	Compuestos
Hidrocoloides naturales	<i>Exudados de plantas:</i> Arábigo, Ghatti, Karaya
	<i>Semillas de plantas:</i> Garrofín, Guar
	<i>Extractos de algas marinas:</i> Carragenina, Agar, Alginato
	<i>Animal:</i> Albúmina, Gelatina
Hidrocoloides semisintéticos	Subproducto vegetal: Pectina, Arabinogalactano
	<i>Derivados de la celulosa:</i> Carboximetilcelulosa (CMC), Metilcelulosa
	<i>Gomas de fermentación microbiana:</i> Xantan, Gelano

	<i>Almidones modificados:</i> Carboximetil e hidroxipropil almidón
	<i>Modificados químicamente:</i> Pectina metoxilada
Hidrocoloides sintéticos	<i>Polímeros vinílicos:</i> Polivinilalcohol (PVA)
	<i>Polímeros de óxido de etileno:</i> Polyox

2.2.2 Hidrocoloides en alimentos

Los hidrocoloides son polímeros de diversificado uso que tienen la característica de poseer un alto peso molecular y, actuar en los sistemas alimenticios como espesantes, gelificantes y/o estabilizantes. En alimentos, generalmente, los hidrocoloides son utilizados para cambiar la reología del alimento, sirviéndole al sistema como modificador de viscosidad o del comportamiento de flujo y, reformador de textura o de características sólidas; sin embargo, aunque todos los hidrocoloides cambian la viscosidad del sistema alimenticio, no todos permiten la formación de geles mediante tratamiento térmico, dicho de otra manera, no todos los hidrocoloides permiten el mismo cambio de textura final en el producto después de que ha sido sometido a ciertos tratamientos (Anastasiades et al., 2002). Estos polímeros también son ampliamente utilizados en sistemas termodinámicamente menos estables como las emulsiones, puesto que en estos medios, actúan como estabilizantes. En otros sistemas, actúan en el control de la cristalización, evitando la sinéresis y formación de películas (Pasquel, 2001).

En alimentos a base de frutas y/o hortalizas, las propiedades que más importancia tienen son la viscosidad (espesante) y/o gelificación. El cambio de la viscosidad en los sistemas alimentarios, se debe al entrelazamiento entre las cadenas de los polímeros (polisacáridos en la mayoría de los casos). La viscosidad final del alimento depende del tipo de hidrocoloide utilizado, de su concentración y del sistema propio en que se utiliza. Las propiedades gelificantes se logran gracias a la formación de estructuras macroscópicas

que poseen cierta capacidad de flujo y que, atrapan agua dando como resultado final, una textura sólida suave que, generalmente se puede apreciar en sistemas que son ricos en contenido de humedad (Angioloni, 2013). Ejemplo típico de un hidrocoloide es la gelatina, proteína de procedencia animal, catalogada como un hidrocoloide natural (Rodríguez et al., 2003).

2.2.3 Carboximetil-celulosa

Este hidrocoloide, también conocido por su abreviatura CMC, es un éter derivado de la celulosa, polisacárido de alto peso molecular abundante en los vegetales. Su nombre químico original, es sal de sodio del éter carboximetílico de celulosa, aunque comercialmente, se conoce con otras denominaciones como CMC y goma sódica. La principal diferencia entre la celulosa y el CMC, es referida a que, la primera es insoluble en agua, mientras que la segunda es altamente soluble en la misma, además puede ser fermentada en el organismo. Sin embargo, la ingesta de concentraciones elevadas de este polisacárido, puede ocasionar problemas estomacales, diarrea, hinchazón y estreñimiento (Terán y Escalera, 2007). La Tabla 2-4, presenta los campos de aplicación de este hidrocoloide en diferentes industrias.

Tabla 2-4. Aplicaciones de la CMC

Tomado de: Terán y Escalera (2007).

Industria o rubro	Producto	Uso y descripción
Industria papelera	Papel	Incrementa la resistencia a la sequedad. Mejora propiedades mecánicas
Agricultura	Pesticidas y sprays a base de agua	Agente suspensor
Plásticos	Plásticos (látex)	Incrementa la viscosidad

Industria farmacéutica	Tabletas, cápsulas	Soluble en el ambiente básico del intestino. Estabilizador, agente espesante suspensor, bioadhesivo
Alimentos	Gelatina, flan, pudín, helados, cremas, jugos de fruta	Estabilizador, espesante, agente suspensor. Evita la cristalización (helados)

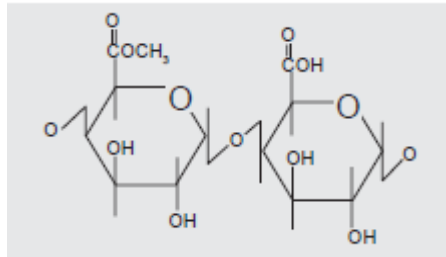
De acuerdo a Cando (2010), además de su amplio uso en la industria alimentaria, el CMC posee mayor solubilidad en caliente que en frío y su principal función es ser espesante. Entre otras características físicas de la carboximetilcelulosa, se encuentran su color blanco, se comercializa como polvo fino, es inoloro, insípido, y de pH alcalino (Terán Escalera, 2007).

En cuanto a su impacto ambiental, esta no posee poder contaminante considerable ni altera la capacidad del ecosistema, ya que, procede de productos vegetales que son renovables naturalmente en periodos de tiempo cortos e igualmente, es biodegradable, lo que indica que su descomposición se puede llevar a cabo al aire libre, llegando a la conversión de humus con el tiempo (Terán y Escalera, 2007)

2.2.4 Pectina

La pectina (Figura 2-2-1) es un compuesto de alto peso molecular que se forma principalmente en las paredes primarias de las estructuras vegetales. Este polímero, está constituido principalmente por ácido galacturónico que contienen grupos éster metilo (Chasquibol, 2008). La pectina es un compuesto soluble ampliamente utilizado en la industria de alimentos debido a su capacidad de absorción de agua, además de poseer beneficios a la salud al actuar como desintoxicante y antidiarreico (Pérez et al., 2007). El termino pectina se refiere a los ácidos pectínicos que son solubles en agua caliente y su principal función en alimentos es la gelificación (Cabarcas et al., 2012).

Figura 2-2-1. Estructura de la pectina

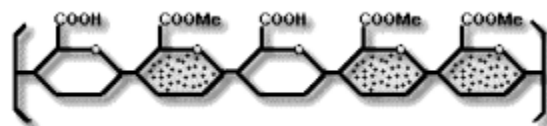


Tomado de: Rodríguez et al., (2003).

Las pectinas, de acuerdo a su grado de metilación, se clasifican en pectinas de alto metoxilo (PAM) y pectina de bajo metoxilo (PBM):

- PAM: Son pectinas que tienen un porcentaje mayor o igual al 50% de esterificación y, forman geles en presencia de azúcar y ácido. La Figura 2-2-2, muestra la estructura de la PAM.

Figura 2-2-2. Estructura de la pectina de alto metoxilo



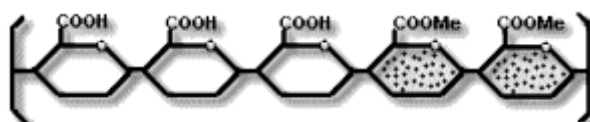
Tomado de: Cabarcas et al., (2012).

Estas pectinas, están en la capacidad de formar geles en condiciones de pH entre 2,8-3,5 y, un contenido de azúcar entre 60-70%. Algunas de sus aplicaciones son en jaleas, salsas, confitería y productos de panadería.

- PBM: son aquellas pectinas que se encuentran con menos del 50% de los grupos hidroxilos esterificados con metanol, es decir, su esterificación es más baja que la misma de las PAM (Figura 2-2-3). Generalmente, para lograr la formación de geles, necesitan de la presencia de iones divalentes, por lo cual, el calcio es comúnmente acompañado con el uso de este tipo de pectinas. Las condiciones para la formación

del gel, son significativamente diferentes a las necesarias para las PAM, puesto que, el gel se forma a pH entre 1-7 y, el nivel de azúcar puede variar entre el 0-80%. Este tipo de pectinas se utilizan en la elaboración de mermeladas y conservas de fruta ácida (Cabarcas et al., 2012; Willats et al., 2006).

Figura 2-2-3. Estructura de la pectina de bajo metoxilo



Tomado de: Cabarcas et al., (2012).

Habitualmente, el grado de esterificación de las pectinas, influye en sus propiedades en los alimentos, por lo tanto, el tipo de pectina a utilizar en un sistema alimentario, depende en gran medida de lo que se quiere obtener y del alimento con que se quiere trabajar. Generalmente, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación (Cabarcas et al., 2012).

2.2.5 Gelatina

Es un hidrocólido de origen animal, específicamente una proteína que se obtiene de subproductos de origen animal tales como piel, tejido conectivo y huesos. Su función principal es actuar como gelificantes en la industria alimentaria. La gelatina es ligeramente insoluble en agua fría, pero soluble en agua tibia. La dureza y composición del gel varía dependiendo del tipo de producto utilizado para la producción de la gelatina y del método de extracción, ya que estas condiciones pueden modificar la distribución de los aminoácidos. Algunas características de la gelatina son: su presentación puede ser en láminas translúcidas, gránulos, escamas o polvo fino de color amarillo o ligeramente ámbar. Este último es ampliamente utilizado en la industria de alimentos. Su pH varía entre 3,8 y 7,6 (Martinez et al., 2011)

Dentro de las características benéficas que ofrece el uso de gelatina en alimentos, se encuentra: Sirve como fuente de proteína, no presenta potencial alérgico, su contenido de grasa, azúcar y colesterol es insignificante, su metabolismo es completo y, no tiene presencia de aditivos. Por lo tanto, con este hidrocoloide, se pueden preparar alimentos ricos en proteína y bajos en grasa. Por otro lado, la gelatina posee ciertos efectos saludables al ser consumida, tal es el caso del efecto positivo frente al dolor en las articulaciones (Gonzalez, 2007).

2.3 Tecnología de secado convectivo

2.3.1 Generalidades del secado convectivo

La deshidratación de alimentos es una actividad que se lleva a cabo gracias a la eliminación parcial o total del agua presente en una matriz; cierta eliminación de agua es contemplada por tres parámetros: temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. El control adecuado y planeado de estas tres medidas, permiten un proceso de secado controlado y eficaz.

La temperatura juega un papel importante en el proceso de secado de un alimento, pero a su vez, las altas temperaturas que son necesarias para lograr en corto tiempo la deshidratación del producto, pueden ocasionar oscurecimiento no enzimático en alimentos ricos en proteínas y azúcares, procesos de oxidación y degradación de componentes lábiles al calor, disminuyendo la capacidad nutricional del alimento y generando propiedades sensoriales no deseadas (Maupoey et al., 2001).

Los equipos de secado que utilizan aire caliente forzado, son ampliamente utilizados en la industria para la deshidratación de un gran número de alimentos, ya que tanto el manejo de los equipos como la actuación del mecanismo de secado, no son muy complejos (Chaikham et al., 2013), esto, comparados con otras técnicas de secado como el secado al vacío, el cual implica el manejo de diferentes presiones de vacío con el fin de disminuir la temperatura de deshidratación del producto, ocasionada por evaporación del agua (Jiang et al., 2014).

2.3.2 Ventajas y desventajas del secado por convección forzada

Desde el punto de vista tecnológico, la técnica ofrece ventajas importantes como: 1) Gran capacidad de deshidratación. Esto, al tratarse de un equipo de alta capacidad ubicado en una industria de producción elevada y, 2) La deshidratación puede acelerarse, ya que se permite un control de parámetros como temperatura y velocidad de secado a lo largo del proceso. En términos económicos, se puede destacar que los equipos son económicos tanto en adquisición como en funcionamiento. Este tipo de secadores pueden ser continuos o intermitentes, siendo los primeros más económicos en cuanto al funcionamiento y, utilizándose los segundos para el tratamiento de bajas cantidades de producto, una funcionalidad aprovechada para realizar trabajos de investigación o estudios de desarrollo de un nuevo producto. Por otro lado, la tecnología ofrece una desventaja debido al mismo empleo de temperaturas altas, las cuales pueden permitir la degradación de componentes termolábiles que podrían ser de interés en un determinado proceso o producto (Maupoey, 2001).

2.4 Estabilidad de un alimento

Los alimentos pueden ser descritos como un universo complejo, en el cual pueden suceder ciertos cambios que afectan su calidad. Estos cambios pueden ser causados por diversos factores, bien sean internos o externos al producto (Kosegarten y Jiménez-Munguía, 2012), desde el proceso de producción hasta su distribución y almacenamiento. Las condiciones ambientales a las que pueden estar expuestos los alimentos dentro de su cadena agroalimentaria de producción, pueden originar efectos perjudiciales, permitiendo el deterioro y posterior rechazo del mismo. Condiciones de almacenamiento como la temperatura, humedad y luz pueden ocasionar una serie de reacciones en los alimentos que conllevan a su degradación. Las causas de deterioro de los alimentos pueden ser de origen químico, físico o microbiológico (Llanes et al., 2018).

La estabilidad de un producto o de sus principios activos, es una característica importante que debe ser evaluada tras los procesos de conservación en distintas condiciones. Los cambios fisicoquímicos de un alimento pueden ser medidos como indicadores de estabilidad. Dentro de los parámetros fisicoquímicos que suelen estudiarse en la estabilidad de un alimento se encuentran el pH, acidez, actividad de agua y color (Valencia et al., 2008) . Estos pueden ser estudiados mediante observación o cuantificación a través del tiempo bajo ciertas condiciones de almacenamiento. Tradicionalmente, los estudios de estabilidad de alimentos, se realizan mediante la medición de la degradación de sus componentes en el tiempo cuando estos son expuestos en condiciones controladas de almacenamiento (Nuñez, 2015).

La estabilidad y disponibilidad de los compuestos activos en los alimentos, son de gran interés para la ciencia de los alimentos, es por esto que, al protegerlos del medio ambiente, se puede prolongar su vida útil y controlar su degradación (Maldonado et al., 2011). Los estudios de estabilidad son una parte fundamental de todo el proceso de investigación y desarrollo de un alimento (Fernández, 2017). Aunque los alimentos procesados posean una buena estabilidad fisicoquímica o microbiológica, si estos se someten a condiciones inadecuadas de almacenamiento, es muy probable que su vida útil disminuya, a tal punto que no será apetecido por el consumidor, aun cuando este se encuentre dentro de la fecha de consumo. Entre los componentes del alimento que se ven afectados cuando un alimento se deteriora son: humedad, proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales; a partir de estos, pueden cambiar las propiedades físicas tales como dureza y color (Carrillo y Reyes, 2013)

2.5 Estado del arte

2.5.1 Láminas de mango deshidratadas osmóticamente

Algunos autores han trabajado sobre la deshidratación osmótica de láminas de mango de la variedad Tommy Atkins, tal es el caso de Zapata y Montoya (2010), quienes trabajaron con mango de la variedad en mención, realizando cortes en forma de lámina, los cuales fueron sumergidas en soluciones de sacarosa, obteniendo las mejores características

fisicoquímicas y sensoriales en las láminas sometidas a una temperatura de 45°C, logrando una pérdida de actividad acuosa del 4,7% y una pérdida de humedad de 48,6%. Este estudio es similar al realizado por Gómez et al., (2013), quienes realizaron la evaluación de la inclusión de cloruro de calcio en láminas de mango variedad Keitt, obtenidas directamente del corte de la pulpa y deshidratadas osmóticamente (soluciones de 65 °Bx) con pulsos de vacío, obteniendo como resultado que, a mayor adición de CaCl₂, las láminas presentan menor actividad de agua (a_w). En relación al mismo estudio, Gómez (2013), evaluó las características sensoriales de éstas láminas, encontrando la mayor aceptación para las láminas sin adición de CaCl₂, seguido de aquellas que fueron adicionadas con 0,5 y 1,5% de CaCl₂.

2.5.2 Láminas de puré de frutas

Las láminas de puré de frutas son purés de frutas o mezclas de jugos de frutas concentrados que han sido sometidos a un proceso de deshidratación y que suelen ser consumidos como snacks (Offia-Olua y Ekwunife, 2015) o como cereales de desayuno. Son muy populares en todo el mundo, principalmente en los Estados Unidos (Ashaye et al., 2005). Las láminas de frutas, son una alternativa que permite aumentar la vida útil de las frutas así como conservar mejor las características nutricionales (Kaya y Kahyaoglu, 2005; Tontul y Topuz, 2017). son de característica ácida y actividad de agua intermedia y su textura mecánica se ve afectada por cambios en su contenido de agua mediada por ambientes de humedad relativa extremas (Da Silva et al., 2019).

En un estudio de elaboración de láminas de puré de granada, realizado por Mehmet et al., (2017), se evaluó el efecto del secado con aire caliente y secado al vacío, sobre el contenido de fenoles totales, antocianinas totales y ácido ascórbico, encontrando que en términos de conservación de las sustancias fitoquímicas, fue más eficiente el secado al vacío.

Otro tipo de frutas y dentro de estas, la más estudiada frente al marco de producción de láminas comestibles, está la manzana, en términos de investigaciones científicas, lidera el

campo de elaboración de este tipo de alimentos deshidratados. Varios autores han estudiado la adición de conservantes, espesantes y las características fisicoquímicas de láminas de manzana obtenidos por deshidratación del puré de ésta fruta. Torres et al., (2015), obtuvieron en láminas de puré de manzana deshidratados después de secado durante 20 horas a 60°C, una baja humedad de 15,9%, 70,7°Bx, pH de 4,05, y a_w intermedia de 0,56, y una estabilidad a microorganismos durante 35 días de almacenamiento a 35°C. Valenzuela y Aguilera (2015), estudiaron el efecto de la adición de maltodextrina a diferentes concentraciones sobre algunas características de textura de láminas de puré de manzana y, García-García et al., (2019), evaluaron los cambios de textura y propiedades sensoriales de láminas de puré de manzana mediante la adición de agavinas e inulina. Otros autores como Quintero et al., (2012), evaluaron la calidad de láminas de puré de manzana con y sin adición de metasulfito de potasio obtenidos por secado con aire caliente hasta a_w de 0,7, durante el almacenamiento a 20°C por 7 meses, encontrando que la actividad antioxidante disminuyó al final del estudio en un 47% y, que la adición de metasulfito de potasio mantuvo la estabilidad microbiológica de los láminas.

De acuerdo a lo anterior, se puede concluir que el campo de la elaboración de láminas de frutas bien sea por transformación individual o por la mezcla de las mismas, con el objetivo de ser de consumo directo, se encuentra mínimamente explorado, ya que los pocos estudios realizados se han centrado en la obtención de láminas a partir de tajadas de pulpa de mango fresco y deshidratadas por ósmosis y, en investigaciones para la elaboración de láminas de baja humedad a partir de la manzana como fruta exclusiva mayoritariamente. En este punto, se puede observar la oportunidad de ingresar en el campo investigativo del desarrollo, producción y estudio de láminas destinadas al consumo directo, de humedad intermedia y consecuente característica flexible, obtenidas a partir de la mezcla de pulpas de frutas de alta producción mundial como el mango y la piña.

2.5.3 Láminas de puré de mango

Otros autores han elaborado láminas de mango a partir del puré de la pulpa. Vanegas y Parra (2012), trabajaron sobre la producción de láminas de mango a partir del puré de la pulpa, mediante un secado dinámico en un secador de túnel de flujo combinado en

temperaturas de 50, 60 y 70°C, donde se obtuvo un producto de buena presentación y apariencia, con actividad de agua de 0,603 y una humedad de 17,04%. Un estudio similar fue llevado a cabo por Da Silva et al., (2019), quienes estudiaron las características físicas y de calidad sensorial de láminas de puré de mango con y sin adición de almidón de yuca, obtenidos por secado convectivo de tambor rotativo a temperaturas de hasta 90°C, con humedades finales de 5,4% hasta 6,4% y a_w de 0,419 hasta 0,463.

2.5.4 Láminas de puré de piña

Sharma et al., (2016), estudiaron las propiedades fitoquímicas de láminas de puré de piña obtenidos mediante cocción por extrusión, los cuales presentaron cantidades considerables de componentes fenólicos, vitamina C, flavonoides totales y actividad antioxidante. Asimismo, Offia-Olua y Ekwunife (2015), trabajaron sobre la producción y evaluación de las cualidades fisicoquímicas y sensoriales de láminas comestibles a base la mezcla de pulpas de piña, banano y manzana, obteniendo contenidos de humedad entre 2,83 y 4,14% b.h, vitamina C entre 17,53 y 22,33 mg/100g, pH entre 5,93 y 6,11 y, aceptabilidad sensorial importante en todas las formulaciones.

3. Capítulo 3. Estudio de la estabilidad fisicoquímica y mecánica de una lámina comestible de pulpa de mango (*mangifera indica*) y piña (*ananas comosus*)

3.1 Resumen

La importancia de la producción de mango (*Mangifera indica*) y piña (*Ananas comosus*) se debe a sus usos a nivel industrial, características sensoriales y a sus importantes aportes nutricionales y funcionales para los consumidores. En este trabajo, se llevó a cabo el desarrollo de láminas comestibles de humedad intermedia obtenidas mediante secado convectivo de pulpa de mango y piña evaluando su caracterización fisicoquímica, tecno funcional y estabilidad bajo condiciones controladas de almacenamiento. Los resultados mostraron un aumento significativo de la actividad de agua durante el almacenamiento, siendo mayor en las láminas secadas a 60°C y almacenadas a 35°C. Las láminas almacenadas a 35°C presentaron mayor pardeamiento debido al efecto de la temperatura de almacenamiento. Con relación a las propiedades mecánicas la mayor resistencia al corte y a la tensión fue observada en las láminas secadas a 70°C y almacenadas a 25°C donde el módulo elástico a tensión varió entre 1,317 MPa y 2,22 MPa. La mayor degradación de vitamina C equivalente al 57%, se encontró en las láminas secadas a 70°C y almacenadas a 35°C. Se pudo concluir que las láminas desarrolladas presentaron características físico químicas y tecno funcionales que la hacen apta para el consumo luego de las cuatro semanas de almacenamiento.

Palabras clave: mango, piña, almacenamiento, caracterización fisicoquímica, lámina comestible.

Abstract:

The importance of the production of mango (*Mangifera indica*) and pineapple (*Ananas comosus*) is due to industrial processing, sensory characteristics and their important nutritional and functional contributions for consumers around the world. In this work, the development of edible leathers of intermediate moisture was obtained by convective drying

from mango and pineapple pulp evaluating the physicochemical and techno-functional characteristics under storage. The results show a significant increase in water activity during storage being higher in leathers dried at 60 ° C and stored at 35 ° C. The edible leather stored at 35 °C presented the highest browning condition. Regarding the mechanical properties, the highest resistance to shear and tension was observed to product dried at 70 ° C and stored at 25 ° C. The modulus of elasticity in tension ranged from 1.317 MPa to 2.22 MPa. The highest degradation of vitamin C (57%) was found to the leather dried at 70 ° C and stored at 35 ° C. It was possible to conclude that fruit leathers presented a good physical-chemical and techno-functional characteristic that make them suitable for consumption after four weeks of storage.

Keywords: mango, pineapple, storage, physicochemical characterization, edible leather.

3.2 Introducción

El mango (*Mangifera indica*) y la piña (*Ananas comosus*) son dos frutas altamente producidas a nivel mundial, con cantidades de 55.9 y 28.2 millones de toneladas respectivamente. En Colombia muestra una participación de 1% en producción de mango y 3,6% en producción de piña (Faostat, 2019). Estas frutas tropicales poseen un alta producción, preferencia y disponibilidad comercial, y alta disponibilidad de componentes nutraceuticos (Robles-Sánchez et al., 2007; Masibo y He, 2008; Menchú y Méndez, 2007). El mango es un fruto con excelentes propiedades sensoriales, gracias a su contenido de azúcares, ácidos, aromas y pigmentos que lo hacen atractivo para todo tipo de consumidor (Mejía et al., 2007). La piña, además de poseer importantes nutrientes como la vitamina C, también tiene bromelina, una enzima a la que se le confiere propiedades adelgazantes y saludables gracias a su acción proteolítica en el metabolismo de alimentos como las carnes (Clavijo et al., 2012).

Una alternativa innovadora de procesamiento para consumo de algunas frutas y vegetales, es la producción de láminas comestibles de humedad intermedia y consistencia flexible, ya que podrían ser considerados listos para el consumo. Estos alimentos emergentes son resultado de un proceso de disminución de la actividad de agua y se caracterizan por tener suficiente humedad sin permitir el deterioro por efecto microbiano (Offia-Olua y Ekwunife, 2015; Valenzuela y Aguilera, 2015). Adicionalmente, la presentación en láminas

comestibles permite aumentar la vida útil de las frutas y obtener una mejor conservación de sus características nutricionales con un alto potencial de comercialización ya que son considerados alimentos listos para el consumo (Kaya y Kahyaoglu, 2005; Tontul y Topuz, 2017).

El desarrollo de láminas comestibles a base de frutas ha sido objeto de estudio de diversos autores tales como Sharma et al., (2016) en piña, Offia-Olua y Ekwunife, (2015) en manzana banano y piña, Vanegas y Parra (2012), Da Silva et al., (2019) en mango y Torres et al., (2015) en manzana y membrillo,

Existen antecedentes del desarrollo de láminas comestibles a base frutas, siendo la mayoría de estudios centrados principalmente en la producción de láminas de baja humedad ($<5\%$), sin embargo son escasos los estudios en el desarrollo y producción agroindustrial de láminas comestibles de humedad intermedia ($0.6 < a_w < 0.85$) y textura flexible a base de la mezcla de pulpa de mango y piña, dos frutas con alta disponibilidad, consumo masivo, importante contenido nutricional y alto potencial de comercialización. Por lo tanto, el objetivo estudio fue desarrollar y analizar la estabilidad fisicoquímica y tecnofuncional de láminas comestibles de humedad intermedia elaboradas a partir de la mezcla de pulpas de mango y piña bajo condiciones controladas de almacenamiento.

3.3 Materiales y Métodos

3.3.1 Materias primas

El mango (*Mangifera indica*) variedad Tommy Atkins en estado 3 de maduración según NTC 5210, piña (*Ananas comosus*) variedad oro miel en estado 5 de maduración de acuerdo a la NTC 729-1 y sacarosa (azúcar blanca), fueron obtenidos de un proveedor local de la ciudad de Medellín, Colombia. La carboximetilcelulosa (CMC), pectina cítrica rápida, gelatina sin sabor, ácido ascórbico y ácido cítrico fueron adquiridos en Tecnas S.A. (Medellín-Colombia).

3.3.2 Desarrollo de la formulación

Las frutas fueron lavadas y sumergidas en agua clorada a 100 ppm, posteriormente se pelaron, trocearon y homogenizaron en una licuadora industrial (Javar-LC15 1F 15LT). Mediante ensayos preliminares de formulación de láminas comestibles y sus evaluaciones de aceptación sensorial sobre las características de flexibilidad, color, olor y sabor, realizada a 15 jueces no entrenados, se estableció la formulación final. Los ensayos preliminares para las formulaciones fueron mezcla de pulpa de mango y piña en cantidades iguales, la adición de 1% de CMC, 1% de pectina, 1% de gelatina sin sabor, 0.1% de ácido ascórbico, 0.1% de ácido cítrico y 4.5% de azúcar blanca. En total, se formularon 3 láminas, cada una con hidrocoloide diferente. Las láminas formuladas con 1% de CMC, 0.1% de ácido ascórbico, 0.1% de ácido cítrico y 4.5% de azúcar, adicionadas en relación a la base de la mezcla de pulpas, presentó la mejor aceptación sensorial y de flexibilidad, por lo tanto fue seleccionada como la mejor formulación.

3.3.3 Caracterización de la suspensión de fruta a secar

Color: A través de un espectrofotómetro de esfera modelo SP60, X-Rite, con iluminante D65, un observador de 10° como referencia y con escala CIE-L*a*b*, donde el índice de pardeamiento (BI) y la diferencia de color (ΔE^*) fue calculada según los valores L*, a* y b* (Garzon-García et al., 2018); Sólidos solubles totales: por medio del método refractométrico (AOAC 932.12/90) utilizando un refractómetro digital HANNA HI-96801; Actividad de agua (a_w): mediante un higrómetro de punto de rocío (Aqualab serie 3TE, Decagon Devices, Pullman, WA, USA) a 25°C; Humedad: acuerdo con el método oficial 930.15/90 de la AOAC llevando 1 gramo de muestra a desecación por estufa a 105°C hasta peso constante por 16 horas; pH: Utilizando un potenciómetro HANNA HI2211 (Método AOAC 981.12/90) mediante inmersión del electrodo en la muestra preparada constituida por 1 gramo de muestra y 30 mL de agua destilada; Acidez titulable: Según método AOAC 942.15 (2005) por titulación con solución de NaOH 0,1N utilizando fenolftaleína como indicador hasta viraje a color rosa, expresando su valor como porcentaje de ácido cítrico; Vitamina C. Mediante cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), según la metodología propuesta por Klimczak y Gliszczynska-Swiglo (2015) y Abe-Matsumoto et al., (2020).

3.3.4 Secado de la Suspensión

La suspensión formulada se vertió en una bandeja metálica previamente forrada con papel de aluminio impregnado con glicerina sin sabor grado alimenticio hasta alcanzar un espesor de la mezcla en la bandeja entre 7-8 mm. El secado se realizó de forma convectiva en una estufa Universal Memmert INB 500 a temperaturas de 60°C y 70°C y velocidad constante de circulación de aire de 2 ms⁻¹. El proceso fue finalizado cuando se alcanzó una humedad en base húmeda entre el 20 % b.h al 22% b.h.

3.3.5 Estudio de estabilidad de las láminas

Las láminas obtenidas fueron cortadas en dimensiones de 12.5 cm x 4 cm y empacadas al vacío en bolsas de polietileno de baja densidad de espesor de 70 micras adquiridas en Alico S.A (Medellín/Colombia). Las láminas fueron sometidas a condiciones controladas de temperatura (25°C y 35°C), humedad relativa de 80%, exposición a la luz blanca y velocidad de circulación de aire de 0.1 ms⁻¹ en una cámara climática Memmert ICH260. Las determinaciones fisicoquímicas y de resistencia mecánica se realizaron cada semana por triplicado durante 4 semanas de almacenamiento.

3.3.6 Caracterización de las láminas de frutas

Propiedades fisicoquímicas. El color (método CIELAB), sólidos solubles totales, actividad de agua, humedad, pH, acidez titulable y contenido de vitamina C fueron obtenidos de acuerdo a los métodos descritos anteriormente para la suspensión.

3.3.7 Propiedades mecánicas y de Textura

Cortes de láminas (12.5 cm x 4.0 cm) fueron sometidas a un esfuerzo de tensión utilizando un analizador universal de textura TA-XT2i (Stable Micro Systems, London, U.K.), siguiendo el protocolo ASTM E8 con las modificaciones propuestas en alimentos de acuerdo a la metodología dada por Honikel (1998): velocidad de ensayo de 1mms⁻¹, velocidad de pre y post prueba de 2mms⁻¹ y deformación máxima de 50 mm. El módulo de Young o Elasticidad (MY) fue obtenido de la curva de flujo del material (Raheem, 2019).

Con relación a la textura, se utilizó la cuchilla cortante de Warner-Bratzler (Stable Micro Systems®), con las mismas condiciones de operación utilizadas en la prueba de tensión. Los resultados fueron analizados usando el programa Texture Analysis Software (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK).

3.4 Análisis estadístico

Se realizó un diseño factorial 2x2: temperatura de secado (TS) (60 y 70°C) y temperatura de almacenamiento (TAE) (25°C y 35°C). Los datos fueron analizados mediante ANOVA multifactorial ($\alpha=5\%$) utilizando el programa STATGRAPHICS Centurion XVI.I.

3.5 Resultados y discusión

La caracterización fisicoquímica de la mezcla formulada y de las láminas obtenidas durante el secado convectivo se observan en la Tabla 1.

Tabla 3-1. Caracterización de la mezcla formulada y de las láminas obtenidas por secado.

Parámetro	Mezcla para secado	Láminas secadas a 60°C	Láminas secadas a 70°C
Humedad (% b.h)	82,240 ± 0,203 ^A	20,99 ± 0,303 ^B	20,565 ± 0,343 ^B
Actividad de agua (a_w)	0,987 ± 0,002 ^A	0,586 ± 0,012 ^B	0,570 ± 0,021 ^B
°Brix	18,533 ± 0,197 ^A	83,300 ± 1,218 ^B	83,417 ± 0,768 ^B
pH	4,120 ± 0,041 ^A	3,973 ± 0,036 ^A	3,962 ± 0,039 ^A
Acidez (%ácido cítrico)	0,650 ± 0,018 ^A	2,663 ± 0,038 ^B	2,634 ± 0,103 ^B

Vitamina C (mg ácido ascórbico/g materia seca)	3,108 ± 0,088 ^A	2,995 ± 0,381 ^A	2,047 ± 0,503 ^B
Pérdida de vitamina C (%)		3,643 ± 1,497 ^A	34,131 ± 1,776 ^B
<i>L</i> *	52,763 ± 0,932 ^A	58,727 ± 3,220 ^B	61,833 ± 2,502 ^B
ΔL		5,964 ± 2,076	9,070 ± 1,298
<i>a</i> *	2,687 ± 0,416 ^A	13,515 ± 1,412 ^B	13,088 ± 1,358 ^B
Δa *		10,828 ± 0,914	10,401 ± 0,887
<i>b</i> *	29,713 ± 0,785 ^A	38,992 ± 0,448 ^B	37,953 ± 1,156 ^B
Δb *		9,279 ± 0,616	8,240 ± 0,970
ΔE *		15,457	16,073
<i>BI</i>	82,431	118,111	105,470
FFC (kgf)	-	8,503 ± 1,427 ^A	9,556 ± 2,594 ^A
FFT (kgf)	-	3,475 ± 0,410 ^A	3,818 ± 0,350 ^A
MY (MPa)	-	1,547 ± 0,316 ^A	1,990 ± 0,324 ^A

3.5.1 Mezclas formuladas y láminas obtenidas por secado

Braga et al., (2019) reportó un valor de contenido de humedad de la pulpa de mango de 84.2 % p/p., mientras que la pulpa de la piña alcanza una humedad hasta del 87.3% p/p (Hemalatha y Anbuselvi, 2013). Estos resultados son ligeramente mayores a los encontrados en este estudio ($82.24 \pm 0,203$ % p/p) para la mezcla destinada a secado convectivo. Esta diferencia puede ser explicada por la adición de materiales en polvo de baja humedad (CMC y sacarosa) y a diferencias fisiológicas propias del producto vegetal. El valor de la actividad de agua (a_w) de la mezcla fue significativamente diferente ($p < 0.05$) a los valores de las láminas secadas a 60 y 70°C. Lo anterior es debido a la evaporación

del agua presente en la mezcla durante el proceso de secado, alcanzando valores de producto de humedad intermedia entre $0.586 \pm 0,012$ (60°C) y $0.570 \pm 0,02$ (70°C). Esta característica permite incrementar la estabilidad a las láminas de fruta frente a cualquier tipo de deterioro de forma microbiológica (Mabel et al., 2014). Esta característica permite incrementar la estabilidad a las láminas de fruta frente a cualquier tipo de deterioro de forma microbiológica (Mabel et al., 2014).

Los sólidos solubles de la mezcla para secado ($18.533 \pm 0.197^\circ\text{Bx}$) son ligeramente mayores a los valores de mango (15.4°Bx) y piña (12°Bx), mencionados por Moreno et al., (2010) y Cubas et al., (2016), respectivamente. Este resultado es presentado por la adición de azúcar en la mezcla. Los sólidos solubles totales de las láminas secas a 60°C y 70°C son significativamente mayores a los determinados en la mezcla formulada ($p < 0.05$). Estos resultados son debido a la concentración de los componentes como consecuencia a la deshidratación de la mezcla, aspecto que mejora la calidad sensorial y estabilidad de las láminas de fruta (Franco et al., 2016).

Para el valor de pH no se presentó diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) entre la mezcla de pulpas y las láminas secas a 60°C y 70°C. La acidez de la suspensión ($0.650 \pm 0.018\%$ ácido cítrico) fue significativamente menor ($p < 0.05$) que la acidez de las láminas secadas a 60°C ($2.663 \pm 0.038\%$ ácido cítrico) y 70°C ($2.634 \pm 0.103\%$ ácido cítrico) lo cual pudo deberse a la concentración de ácidos como producto de la deshidratación.

El contenido de vitamina C para la suspensión (3.108 ± 0.088 mg ácido ascórbico/g MS) fue similar al contenido de vitamina C de la pulpa de mango y pulpa de piña mencionados por Chakraborty et al., (2015) y Maldonado-Astudillo et al., (2016). En cuanto a la retención de vitamina C se observa que ésta fue mayor a 60°C, presentando una retención con relación a la suspensión del 96.3% mientras que a temperatura de 70°C, la retención fue de 65.9% de vitamina C. El contenido de vitamina C de la mezcla como el de las láminas secadas a 60°C fue significativamente mayor ($p < 0.05$) con relación de las láminas obtenidas a 70°C. Este resultado, así como la no existencia de diferencia estadísticamente significativa en el contenido de vitamina C entre la mezcla y las láminas secadas a 60°C,

podría explicarse por la alta sensibilidad térmica de este micronutriente frente a las temperaturas de secado superiores a 60°C (Dabbagh y Azami, 2014).

Las coordenadas de color (CIEL*a*b*) de la suspensión se encuentran dentro del rango de las coordenadas normales para mango y piña: Moreno et al.,(2010) encontró para pulpa de mango valores de L* (58.7), a*(5.6) y b*(39.8) y Chakraborty et al., (2014) para pulpa de piña valores de L* (54.06), a* (-2.21) y b* (20,15). Los valores L*, a* y b* de la mezcla de para secado fueron significativamente menores ($p < 0.05$) con relación a lo valores para las láminas obtenidas a 60°C y 70°C. Estos resultados muestran que las láminas secadas presentaron tendencia a un color visual anaranjado tenue, el cual es originado a la mayor presencia de las tonalidades amarillo (+b) y rojo (+a). Según Omelas-Paz et al., (2007) y Badjona et al., (2019), de estas tonalidades son responsables los pigmentos carotenoides como el β -caroteno que se encuentra presente en la pulpa de mango y piña. Otros investigadores plantean que estos cambios de color pueden ocurrir como consecuencia de la deshidratación del alimento (Marín et al., 2006).

El valor de ΔE^* (>6) para las láminas obtenidas a 60 y 70°C indican que diferencia de color es fácilmente apreciable de forma visual. El alto valor de BI obtenido en las láminas secadas a 60 y 70°C indican que el grado de oscurecimiento de las láminas respecto a la suspensión fue mayor. Estos resultado puede atribuirse a la concentración de pigmentos debido al efecto de evaporación del agua mediante el secado y la degradación de los mismos por la acción del calor. En un estudio similar realizado por Shende et al., (2020), la mayor diferencia de color entre láminas de mango sometidas a secado en bandeja a 60°C y puré de la fruta fue de 35.75. Garzón-García et al., (2018) reportó valores de ΔE^* (<17.02) en rodajas de yacón sometidas a 30°C de almacenamiento. Quintero et al., (2013) encontró valores ΔE^* ($=23$) en pulpa de mango sometido a almacenamiento por 10 días.

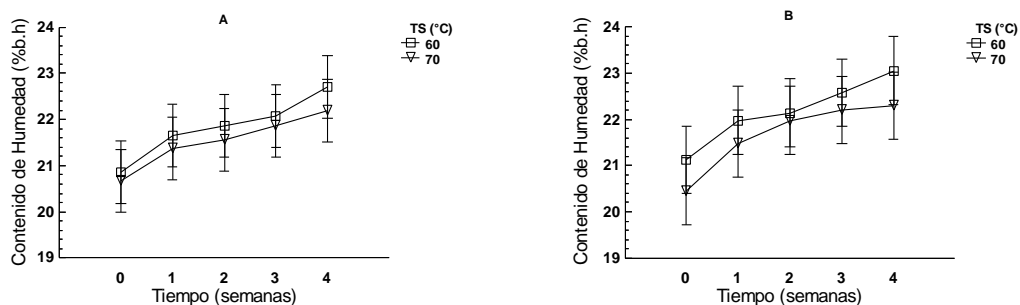
De acuerdo a la Tabla 1, las láminas a 60°C y 70°C no presentaron una diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$) en la fuerza de falla a tensión (FFT), fuerza de falla al corte (FFC), y módulo de elasticidad (MY) comportamiento que podría ser explicado por el contenido de humedad similar. Da Silva et al., (2019) en láminas de puré de mango (6.37% p/p) encontró valores más altos de fuerza de falla al corte (FFC) y módulo de Young (MY). McHugh et al., (2011) argumenta que las propiedades mecánicas y de textura

de los alimentos se ven alteradas por factores físicos, cambios a nivel de estructura debido al técnicas de procesamiento, sumado a las condiciones de formulación y de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, tipo de empaque y luminosidad).

3.5.2 Estabilidad durante el almacenamiento.

Las láminas obtenidas por secado a 60°C y 70°C presentaron un espesor de 1.94 + 0.08 mm. La Figura 3-1 (A y B), muestra la humedad alcanzada durante el periodo de almacenamiento para condiciones de secado de 60°C y 70°C, donde los menores tiempos de secado se lograron a 70°C, debido a la mayor capacidad evaporativa del proceso. Sharma et al., (2016) reportaron una humedad del 20 % p/p en láminas de piña secadas a 60°C mediante tratamiento solar directo. Vanegas y Parra, (2012) encontraron tiempo de secado similares de 9 horas para pulpa de mango en secado convectivo a 70°C, alcanzando una humedad final en la lámina de 17.04% p/p. Azeredo et al., (2006) en láminas de mango logró una humedad de 17.2% p/p después de secar a 80°C. Da Silva et al., (2019) y Offia-Olua y Ekwunife (2015) alcanzaron contenidos de humedad (<5% p/p) para láminas elaboradas a partir de pulpas de mango y piña mediante secado cast-tape drying (80°C) y solar (80°C), respectivamente.

Figura 3-1. Contenido de humedad de las láminas durante almacenamiento a 25°C (A) y almacenamiento a 35°C (B)



El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre la interacción de los factores temperatura de secado (TS) y temperatura de almacenamiento (TAE). Las variaciones de humedad son menores al 2%p/p, no obstante,

el producto muestra cierto grado de higroscopicidad. Esta baja ganancia de humedad, podría ser explicada por la presencia de CMC que pudo haber creado una barrera superficial entre partículas higroscópicas, de igual manera, el empaque al vacío en las bolsas de polietileno de baja densidad también puede haberse convertido en barrera para el de vapor de agua del medio ambiente. Valenzuela y Aguilera, (2015) encontró un aumento de humedad en láminas de puré de manzana durante el almacenamiento por 5 días en condiciones de humedades relativas superiores al 33%, siendo las adicionadas con maltodextrina, las que menor ganancia de agua presentaron. Ghanbarzadeh et al.,(2010) atribuyen estos resultados a la adición de polímeros como maltodextrina y carboximetilcelulosa, los cuales actúan como barreras superficiales entre las partículas impidiendo mayores ganancias de agua en ambientes de alta humedad relativa

La Figura 3-2 muestra que durante el almacenamiento la variación de la actividad de agua fue $0.552 < a_w < 0.672$. Vanegas y Parra (2012) alcanzó un valor de a_w de 0,603 en una lámina de mango. Offia-Olua y Ekwunife (2015) reportan un valor de a_w de 0,8 en láminas elaboradas a base de puré de piña. Torres et al., (2015) alcanzaron valores de a_w entre 0.56 y 0.69 en láminas de puré de manzana y membrillo. García-García et al., (2019) reportaron valores de $0.66 < a_w < 0.68$ en láminas de manzana añadidas con polímeros de fructosa. Da Silva et al., (2019) reporta en láminas de mango valores de actividad de agua entre 0,419 y 0,463.

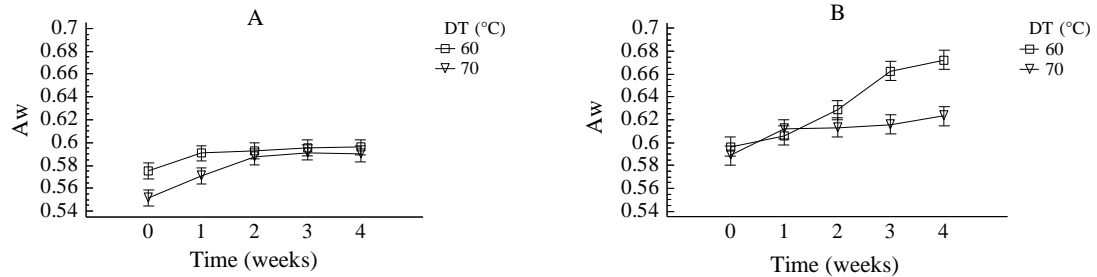
De acuerdo al análisis de varianza (ANOVA), la temperatura de secado y la temperatura de almacenamiento tienen un efecto individual estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en la actividad de agua. En la Figura 3-2 (B), se observa que las láminas secadas a 60°C y mantenidas a 35°C de almacenamiento incrementaron su actividad de agua (a_w) durante el tiempo de almacenamiento, de una forma más pronunciada en comparación con las láminas secadas a 70°C y almacenadas a 25°C (Figura 3-2 (A)). La actividad de agua de las láminas secadas a 60°C siempre fue mayor que las encontradas para las muestras sometidas a 70°C, esta tendencia fue más marcada en las muestras almacenadas a 35°C (Figura 2B). Estas variaciones podrían ser consecuencia tanto de la permeabilidad de las bolsas de polietileno frente a la alta humedad relativa (80%), como a la aceleración del fenómeno de transferencia de masa hacia el interior del empaque ocasionado por la mayor temperatura de almacenamiento de 35°C. Jin et al., (2019), quienes encontraron que la

actividad de agua de polvos de productos alimenticios, se incrementa cuando aumenta el contenido de humedad y la temperatura de almacenamiento. Lazouk et al., (2015) y Reid (2007) afirman que el incremento de la actividad de agua de un producto durante su almacenamiento, se debe a la tendencia del sistema hacia el equilibrio con la humedad relativa del medio ambiente que lo rodea.

El fenómeno de obtener una mayor a_w en las láminas deshidratadas, pudo deberse a la aparición de una capa de material muy seco en la superficie externa de las láminas sometidas al proceso de secado. Merino (2006) argumenta que los alimentos sometidos a altas temperaturas de secado, son propensos a sufrir un desplazamiento de solutos hacia la superficie promoviendo la formación de una capa o corteza superficial dura con propiedades impermeables conocida como acortezamiento. Sin embargo, Azeredo et al., (2006) en un estudio similar, alcanzaron en láminas de puré de mango previamente sometidas a secado a 80°C valores de a_w de 0,621 y durante el almacenamiento a 25°C y empacado en bolsas de polipropileno por 6 meses, obtuvieron a_w de 0,671, atribuyendo el leve incremento a la permeabilidad del material de empaque.

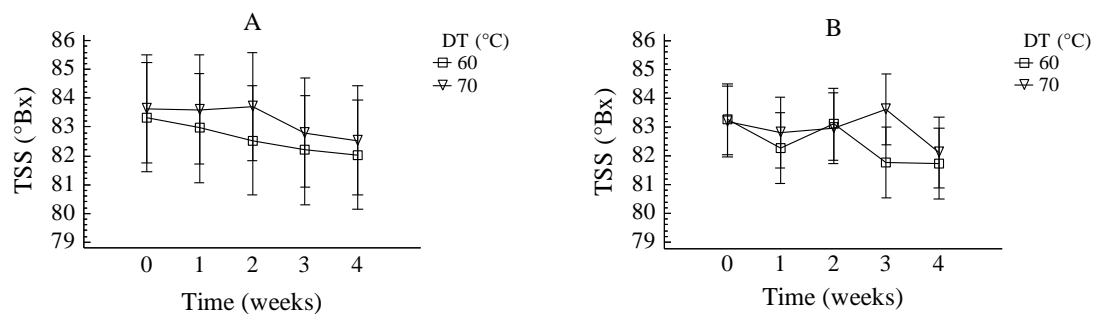
La mayor a_w observada en las muestras almacenadas a 35°C es porque en esta condición hay una mayor presión de vapor durante el almacenamiento, lo que incrementa la actividad de agua en comparación a las muestras almacenadas a 25°C. Según Toledo (2007) y Krapf y Gantenbein-Demarchi (2010) una mayor actividad de agua trae consigo el aumento de la inestabilidad del alimento, llevando a reacciones de oscurecimiento, rancidez, así como mayor susceptibilidad al probable ataque de microorganismos.

Figura 3-2. Comportamiento de a_w durante almacenamiento: (A) almacenamiento a 25°C; (B) almacenamiento a 35°C



La interacción entre los factores temperatura de secado (TS) y temperatura de almacenamiento (TAE) no presentó efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$) sobre los valores de SST, pH y acidez. Galvis et al., (2002) expresan que la no variabilidad de estas características químicas pueden deberse a la ausencia de enzimas capaces de sintetizar la sacarosa y de degradar los ácidos. El alto contenido de sólidos solubles totales para las láminas (82-84°Bx) es debido a la concentración como resultado del proceso de secado (Figura 3-3). El valor encontrado en este estudio fue mayor al reportado por Torres et al.,(2015) para láminas de puré de manzana (70.7°Bx), y puré de membrillo (76.2°Bx), con humedades de 15.9% p/p y 17.2% p/p, respectivamente. Esta diferencia puede obedecer a la desigualdad de humedad en las láminas, a la adición de sacarosa realizada en el presente estudio y a las características propias de las frutas estudiadas.

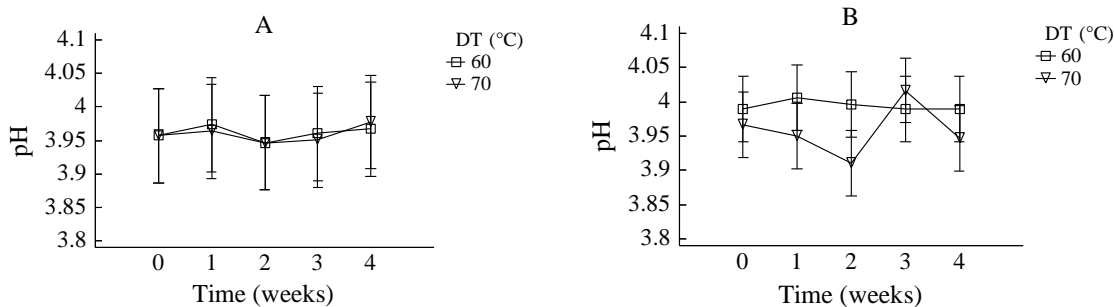
Figura 3-3. Comportamiento de SST durante almacenamiento: (A) almacenamiento a 25°C; (B) almacenamiento a 35°C

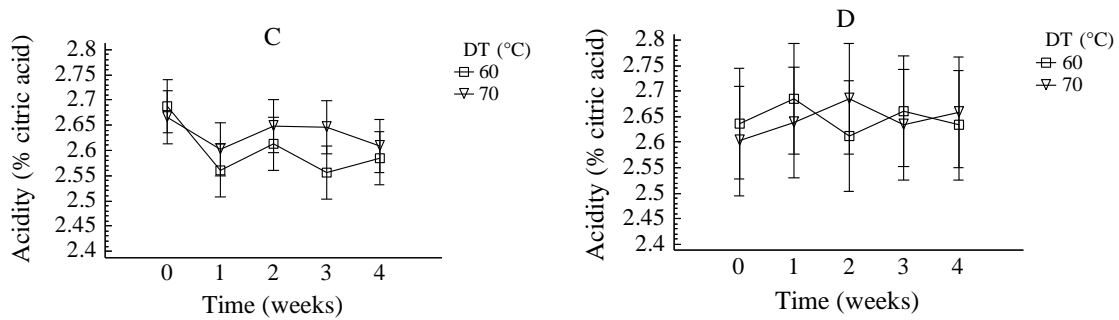


Los valores de pH (Figura 3-4) son similares a los reportados por Siller-Cepeda et al., (2009) para la pulpa de mango ($3.6 < \text{pH} < 4.3$) y por Chutintrasri y Noomhorm (2015) para la pulpa de piña (3.72). Azeredo et al., (2006) y Torres et al., (2015) reportan valores de pH similares en láminas de mango (3.8) y manzana (4,05). Offia-Olua y Ekwunife (2015) reportan un valor de pH mayor de 6.03 en láminas de mezcla de puré de manzana, piña y banano. Estas diferencias son originadas por adición de ácidos en la formulación y a las características físico químicas propias de los productos utilizados.

En la semana tres de almacenamiento, las láminas almacenadas a 35°C presentaron un ligero aumento en el pH y en los SST, aspecto que puede deberse, a una dilución o reacción de los ácidos orgánicos presentes en las muestras, sin embargo no se encontró diferencia estadísticamente significativa ($p > 0,05$) respecto a los otros tiempos de estudio. Azeredo et al., (2006) lograron encontrar resultados similares, al obtener leves aumentos en el pH de láminas de pulpa de mango durante el almacenamiento sin diferencias estadísticamente significativas.

Figura 3-4. pH (A,B) y acidez (C,D) de las láminas durante estudio de almacenamiento: (A, C) almacenamiento a 25°C; (B, D) almacenamiento a 35°C.





3.5.3 Fuerza de Fallo al Corte (FFC), Fuerza de Fallo en Tensión (FFT) y Módulo de elasticidad (MY)

Según la Figura 3-5, la fuerza de fallo al corte de la lámina (FFC) varió entre 3.9 kgf y 11.9 kgf, mientras que la fuerza de fallo a tensión (FFT) varió entre 2.58 kgf y 4.1 kgf (Figura 6). La mayor fuerza de falla al corte de 11,914 kgf y a la tensión de 4,045 kgf, se encontró en las láminas secadas a 70°C y almacenadas a 25°C. Cada una de estas características que, a su vez, son atributos que constituyen la calidad sensorial de los alimentos (Hleap y Velasco 2010), permiten observar la resistencia del alimento a sufrir deformación por rompimiento y su relación con las características de masticación cuando son consumidos (Szczesniak, 1975; Renzetti y Jurgens, 2016). Por lo tanto, bajo estas condiciones existe un mayor requerimiento de esfuerzo durante proceso de masticación respecto a las láminas secadas a 60°C y sometidas a almacenamiento a 35°C.

El ANOVA mostró efecto estadístico en la interacción TS y TAE sobre FFT ($p < 0.05$). La fuerza necesaria para llegar al punto de falla en la prueba de tensión fue estadísticamente significativamente menor ($p < 0.05$) en las láminas secadas a 60°C y almacenadas a 35°C (Figura 3-5 y 3-6 (A y B)). Este resultado puede atribuirse al posible acortamiento presente en las láminas secadas a 70°C incrementado la rigidez y al aumento de la humedad y a_w en el tiempo durante almacenamiento a 35°C. En cuanto a la fuerza de fallo en la prueba de corte (FFC), fue significativamente mayor ($p < 0,05$) cuanto menor fue la temperatura de almacenamiento (25°C). Este resultado podría ser explicado debido al

aumento de la actividad de agua y del contenido de humedad de las láminas durante el tiempo las 4 semanas de estudio.

En la prueba de FFC, Adicionalmente, durante el tiempo de almacenamiento hay una tendencia a la disminución de la fuerza de corte (FFC). Pittia y Sacchetti (2008) y Lewicki (2004) argumentan que, el aumento de la humedad en un alimento durante el almacenamiento, conlleva a la disminución de su resistencia mecánica, dado que el agua adquiere propiedades de solvente y promueve la movilidad de las cadenas de polímeros, ejerciendo así, un efecto plastificante que facilita la deformación y disminuye la resistencia mecánica trayendo como consecuencia el ablandamiento del producto.

Figura 3-5. Esfuerzo de falla al corte durante almacenamiento: (A) almacenamiento a 25°C; (B) almacenamiento a 35°C.

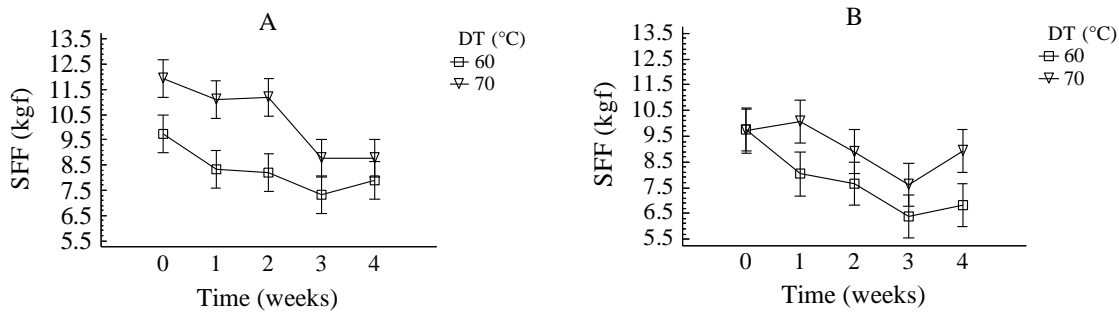
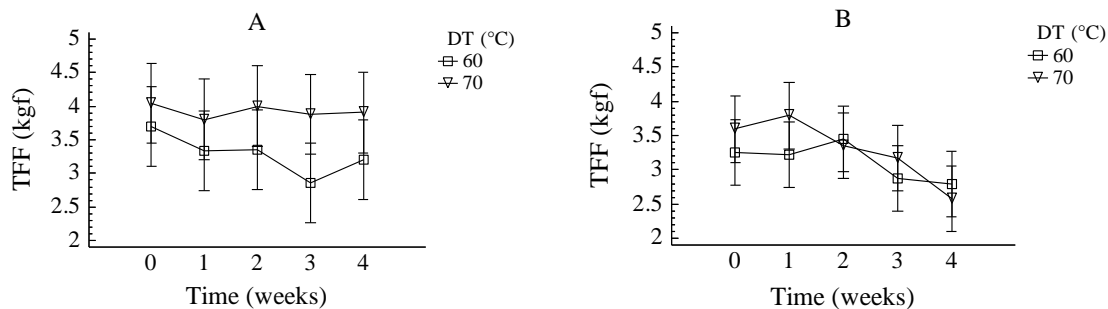
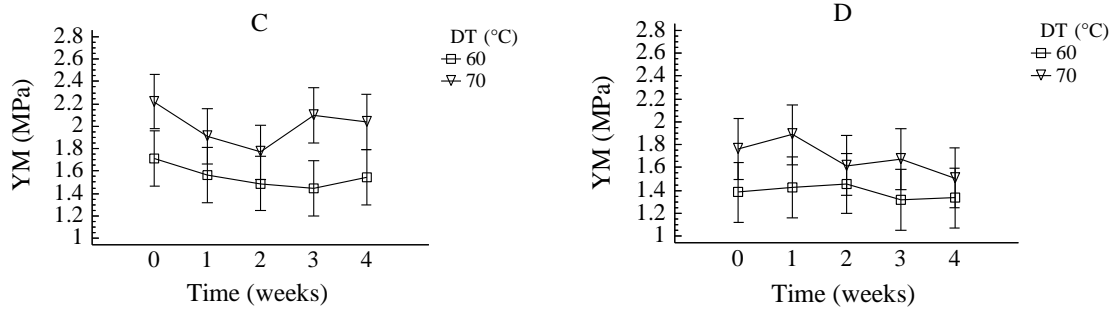


Figura 3-6. Comportamiento del esfuerzo a la falla en tensión (A,B) y Módulo de Young (C,D) de las láminas comestibles durante almacenamiento a 25°C (A,C) y almacenamiento a 35°C (B,D)





De acuerdo a la Figura 3-6 (C, D), el módulo de elasticidad (MY) varió entre 1.31 MPa y 2.22 MPa. Los valores de MY encontrados en este estudio hacen referencia a un producto de baja rigidez o de textura blanda. Da Silva et al., (2019) encontraron un módulo de elasticidad (MY) de 9.8 ± 1.7 MPa en láminas de puré de mango, el cual se presentó debido al bajo contenido de humedad (5.4%-6.4% p/p), aspecto que pudo conferirle mayor rigidez y menor porcentaje de deformación a la lámina. Williams et al., (2005) obtuvieron valores de MY en láminas de albaricoque de 0.99 MPa y de manzana 3.41 MPa. Desde el punto de vista sensorial, el bajo MY obtenido en las láminas del presente estudio puede ser beneficioso, ya que podría indicar que este producto de característica blanda o de baja rigidez, podría ser apto para consumidores infantiles y personas de la tercera edad.

Según el ANOVA, la interacción de los factores TS y TAE no tuvo un efecto sobre el valor de MY ($p < 0.05$). En la Figura 6 (C, D) se observa que la rigidez fue más alta en las láminas secadas a 70°C. Lo anterior puede ser originado a que a temperaturas altas de secado se logra una menor deformación a punto de falla del material. Estos resultados podrían explicarse por la deformación de las láminas durante el análisis de la curva de flujo en tensión, la cual fue mayor en aquellas secadas a 60°C, con medias de deformación de $0,0349 \pm 0,0015$ m y $0,0341 \pm 0,0021$ m en las láminas almacenadas a 25°C y 35°C, respectivamente. De igual manera, el aumento del contenido de humedad de las láminas durante el almacenamiento, concuerda con lo obtenido en la prueba de esfuerzo en tensión.

Coiner-Collier et al., (2016) manifiesta que el módulo de elasticidad (MY) está estrechamente relacionado con la fuerza de falla del alimento y la fuerza de falla varía de

acuerdo a la humedad del mismo. Roos (1995) afirma que, el incremento de la temperatura y el contenido de agua (principal plastificante), pueden afectar significativamente las propiedades mecánicas (decrecimiento del módulo de elasticidad) durante el procesamiento o almacenamiento. Esto permite el cambio en las propiedades viscoelásticas del producto por encima de la transición vítrea, debido a la pérdida del estado vítreo (rigidez) y consecuente tendencia al estado líquido: el aumento de la temperatura de almacenamiento da lugar a la expansión molecular sugiriendo bajas viscosidades (mayor fluidez), es decir, pérdida de rigidez. Esta afirmación concuerda con lo obtenido en la presente investigación dado que el módulo de elasticidad (MY) disminuyó a medida que aumentó la temperatura de almacenamiento y el contenido de agua.

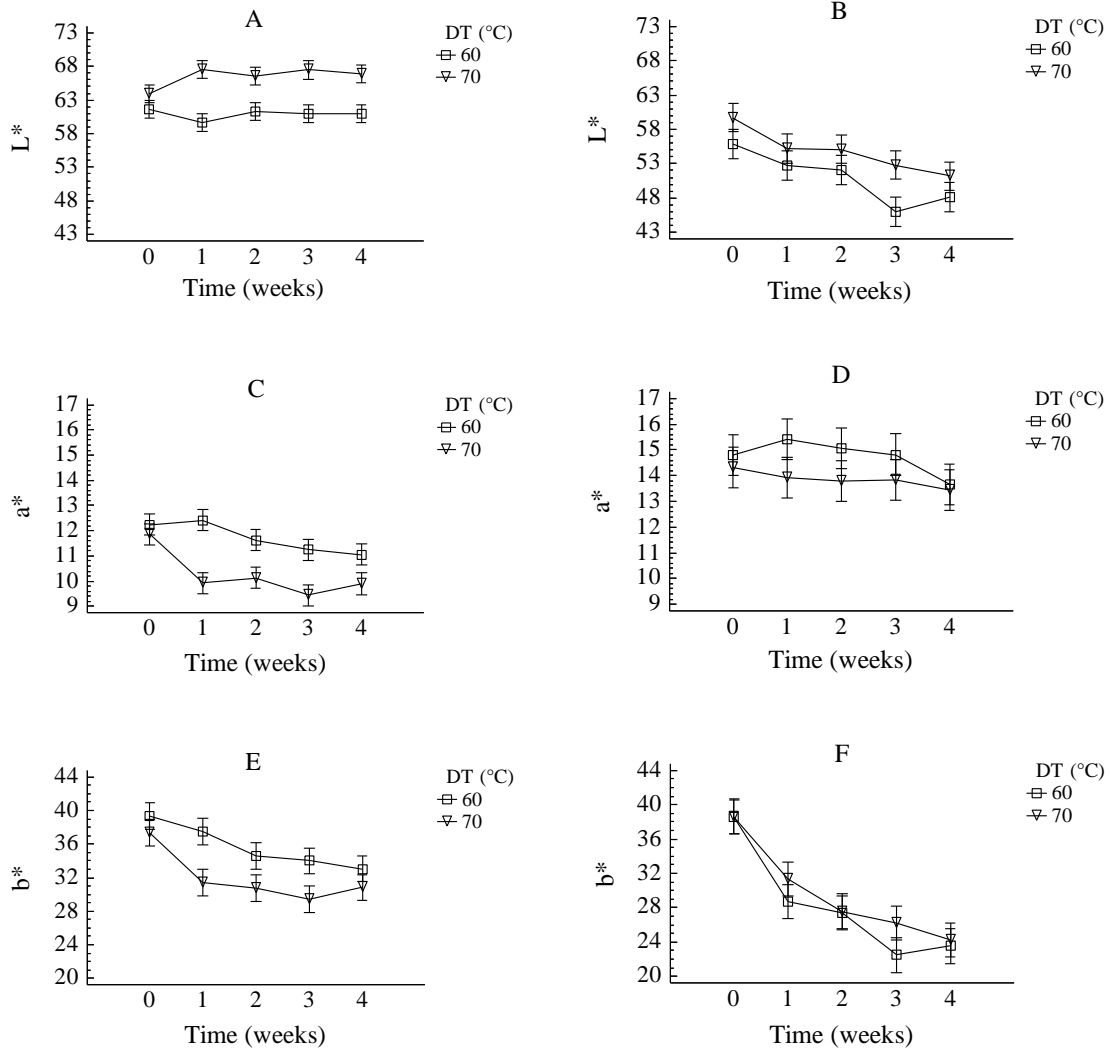
Los parámetros L^* , a^* y b^* en el tiempo cero de almacenamiento de las láminas comestibles que fueron sometidas a 25°C fueron de $62,800 \pm 0,954$, $12,050 \pm 0,278$ y $38,330 \pm 0,125$, respectivamente, mientras que en las láminas sometidas a almacenamiento a 35°C fueron de $57,760 \pm 0,512$, $14,550 \pm 0,518$ y $38,610 \pm 0,325$ para L^* , a^* y b^* respectivamente.

De acuerdo al análisis ANOVA, no existe efecto doble entre los factores TS y TAE sobre las variables L^* y a^* , sin embargo si se presentó la interacción con la coordenada b^* , con valores mayores en las láminas secadas a 60°C y almacenadas a 25°C. En la Figura 3-7 (B) se observa que el valor de L^* disminuye significativamente ($p < 0.05$) durante el tiempo de almacenamiento, la temperatura de secado y la temperatura de almacenamiento. En el tiempo cero, los valores de la luminosidad L^* (Figura 3-7 B) y cromaticidad b^* (Figura 3-7F) de las láminas secadas a 60°C y 70°C fueron significativamente mayores ($p < 0.05$) a los mismos obtenidos en la semana 4 durante almacenamiento a 35°C. Situación similar ocurrió en el valor de a^* durante el almacenamiento a 25°C (Figura 3-7C).

Los resultados indican que durante el periodo de estabilidad a 35°C, las láminas presentaron una tendencia al oscurecimiento, lo cual pudo ser debido a la degradación de pigmentos, posiblemente influenciada por la temperatura de estabilidad, tiempo de exposición de las láminas a la luz directa y aumento de a_w , dando lugar a reacciones de pardeamiento dado que los carotenoides son compuestos propensos a la degradación por isomerización, especialmente a altas temperaturas y oxidación (Penicaud et al., 2010).

Los procesos térmicos y la luz durante almacenamiento, pueden ocasionar la isomerización de las moléculas inestables trans-betacaroteno a isómeros cis-betacaroteno (Khoo et al., 2011), lo que resulta en una decoloración del alimento y pérdida de valor nutricional. En cuanto a las reacciones de oxidación, los pigmentos pueden auto oxidarse por reacción con el oxígeno a velocidades dependientes de la luz lo que provoca la oxidación de los enlaces insaturados dando como resultado la pérdida de color y la formación de apocarotenoides e hidroxilación (Meléndez-Martínez et al., 2004). De igual manera, la presencia de ácido en los alimentos, también afectan la degradación de pigmentos pudiendo dar lugar a isomerizaciones (Adedeji et al., 2008). Dado que el grado de decoloración de un alimento se debe a la disposición de agentes oxidantes y de que se comunique energía suficiente (en forma de luz) para que la reacción de degradación tenga lugar, la pérdida del vacío del empaque y la exposición constante a la luz blanca durante el almacenamiento, pueden dar lugar a la degradación térmica, fotodegradación y acidificación de los carotenoides (Bermejo-Prada y Otero, 2016; Mora et al., 2018; Meléndez-Martínez et al., 2004). Este comportamiento fue reportado por autores como Buvé et al., (2018), donde observaron una disminución de todos los parámetros de color en jugo de fresa durante el almacenamiento tanto a temperatura ambiente como a 42°C, siendo esta última, la responsable de los más bajos valores de L*, a* y b*. Mendoza-Corvis et al., (2017), obtuvieron resultados similares al encontrar la disminución de las coordenadas CIE-L*a*b* en un producto de mango y lactosuero, argumentando que los resultados son el producto de procesos oxidativos de los carotenoides, los cuales involucran reacciones de epoxidación y formación de apocarotenoides, generando compuestos aromáticos de bajo peso molecular que pueden ser agradables o no.

Figura 3-7. Parámetros CIE-L*a*b* de las láminas comestibles durante almacenamiento: A, C, E) y (B, D, F) corresponden a temperaturas de almacenamiento de 25 y 35°C, respectivamente.



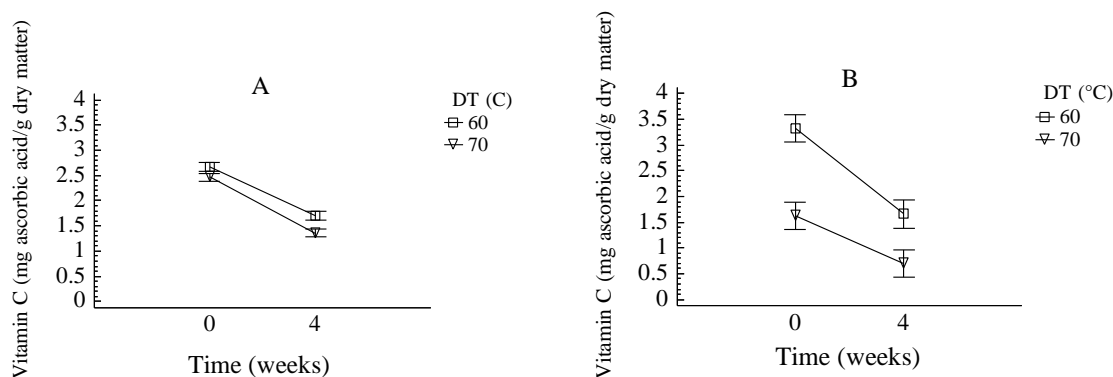
La presencia de ácido ascórbico varió desde 3.371 a 0.692 g/gMS. Este resultado es mayor comparado a los reportados por Sharma et al., (2016) en láminas de puré de piña y a los valores obtenidos por Offia-Olua y Ekwunife (2015) en láminas de baja humedad (<5%p/p) de puré de manzana, piña y banano. Estas diferencias podrían ser explicadas por las diferentes matrices y procesos utilizados en la elaboración y a la adición de ácido ascórbico en la formulación de las láminas del presente estudio.

El ANOVA mostró efecto estadístico de TS y TAE sobre el contenido de vitamina C ($p < 0.05$). La Figura 3-8, muestra que el contenido de vitamina C fue significativamente menor cuando se aumenta el valor de TS y TAE. El producto a 60°C presentó un mayor contenido de vitamina C. La mayor degradación de vitamina C (57.5%) fue obtenido para TS=70°C y TAE=35°C, lo cual muestra la termolabilidad de este micronutriente (Al Fata et al., 2018). Con relación al factor individual para TAE no existe efecto estadístico sobre el contenido de vitamina C ($p > 0.05$), sin embargo en las láminas almacenadas a 35°C existe una pérdida levemente mayor. De igual manera, es importante destacar que aunque hubo una pérdida de vitamina C en las láminas comestibles durante el tiempo de almacenamiento, el contenido vitamina C presente en las láminas al final del estudio, sigue siendo importante. Rahmad et al., (2013) estudiaron la degradación de la vitamina C del pimiento en almacenamiento a temperaturas de 5°C y 20°C por 25 días, obteniendo como resultado una mayor degradación en el ensayo a 20°C con un pico máximo de degradación a los 13 días de estudio. Gutiérrez et al., (2009), alcanzaron resultados similares al obtener degradación de vitamina C en mangaba sometida a almacenamiento a 24°C respecto a bajas temperaturas. Estos resultados podrían ser explicados por la sensibilidad térmica de la vitamina C (Al Fata et al., 2018).

La degradación de vitamina C o ácido ascórbico por efecto de la temperatura ha sido ampliamente reportada en diversas frutas y vegetales (Al Fata et al., 2018; Rybarczyk-Plonska et al., 2014), y también puede verse afectada por otras condiciones como acidez, luz, presencia de oxígeno, presencia de enzimas y aumentos en la actividad acuosa (Phillips et al., 2016). La pérdida de vitamina C por las altas temperaturas está asociada con la apertura o cierre del anillo lactona (isomerización de L-isómeros a D-isómeros) y/o a la formación de compuestos quirales cuando la vitamina se encuentra expuesta a altas temperaturas (Aguilar et al., 2019; Mendoza-corvis et al., 2017). En cuanto a la degradación de vitamina C por la exposición a la luz, el ácido ascórbico se foto oxida para formar ácido deshidroascórbico, y esta oxidación aumenta a medida que incrementa la luz (Duncan y Chang 2012). La degradación de ácido ascórbico también está relacionada con la presencia de enzimas oxidasa y peroxidasa del ácido ascórbico: La primera cataliza la oxidación del ácido ascórbico en presencia de oxígeno que resulta en ácido deshidroascórbico y agua; la segunda, cataliza la reducción de peróxido de hidrógeno por ácido ascórbico dando lugar a la producción de agua y ácido deshidroascórbico (Dbrowska

et al., 2007). De igual manera, el aumento de la actividad de agua afecta el contenido de vitamina C debido a que permite la dilución de la concentración de ácido ascórbico (Wang et al., 2017). De acuerdo a Phillips et al., (2016), el pH ácido (encontrado en este estudio) puede dar lugar a la inactivación de enzimas como la oxidasa del ácido ascórbico lo que permite disminuir la degradación. Saipei y Hwa (2014) mencionan que la degradación de vitamina C puede disminuir al adicionarse azúcar, lo cual sugiere que para el presente estudio, que la adición de sacarosa en la formulación fue de gran importancia para alcanzar las considerables cantidades de vitamina C obtenidas en la cuarta semana de almacenamiento.

Figura 3-8. Comportamiento del contenido de vitamina C durante almacenamiento: (A) y (B) corresponden a temperatura de almacenamiento de 25 y 35°C, respectivamente.



Conclusiones

Las láminas comestibles de humedad intermedia elaboradas a base de pulpa de mango variedad Tommy Atkins y piña variedad oro miel en estado de maduración 3 y 5, respectivamente, presentan un leve deterioro de la calidad fisicoquímica durante el periodo de almacenamiento. El almacenamiento de las láminas comestibles a bajo las condiciones de estabilidad estudiadas, favoreció el incremento del contenido de humedad y actividad de agua y con esto, una disminución de las propiedades mecánicas del producto durante las 4 semanas de estudio. El contenido de vitamina C disminuyó con el tiempo de almacenamiento y la temperatura de secado. Durante el periodo de estabilidad a 35°C, las

láminas presentaron una tendencia a colores oscuros posiblemente como resultado de la degradación de los carotenoides. De acuerdo a los resultados, se puede concluir que los cambios observados en las láminas de puré de mango Tommy Atkins y piña oro miel durante el presente estudio, permiten evidenciar que la producción de éste tipo de alimentos es viable y puede ser una alternativa de mercado de alimentos naturales, saludables y nutritivos, siempre y cuando se tome importancia en las condiciones de proceso y almacenamiento para evitar al máximo la pérdida de calidad fisicoquímica y nutricional del producto.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La caracterización permitió conocer que las láminas obtenidas bajo secado con aire caliente, en humedades del 20% al 21% en base húmeda, corresponden a un alimento de humedad intermedia favoreciendo algunas condiciones de inestabilidad en las características de calidad del producto, tales como el contenido de humedad que aumenta durante el periodo de almacenamiento

El contenido de humedad se vio afectado significativamente por la temperatura de secado de las láminas, siendo mayor el incremento en las láminas secadas a 60°C. La pérdida de agua durante el secado de las láminas, ocasionó menores valores de actividad de agua, sin embargo, el periodo de exposición en cámara climática, provocó un aumento, que a su vez, fue mayor en las láminas secadas a 60°C y almacenadas a 35°C. Los resultados de la fuerza de falla al corte, la fuerza de falla en tensión y el módulo de elasticidad, fueron inversamente proporcionales al comportamiento del contenido de humedad durante el almacenamiento de las láminas. El menor esfuerzo para lograr la falla en tensión y al corte, se obtuvo en las láminas secadas a 60°C y almacenadas a 35°C.

Los parámetros L^* , a^* y b^* presentaron tendencia a disminuir durante el almacenamiento, mostrando una inclinación al color negro, verde y azul, respectivamente, indicando a su vez, una posible degradación de carotenoides responsables del color rojo-amarillo del producto debido a las condiciones térmicas y de exposición a la luz presentes durante el estudio de estabilidad.

Se observó que la temperatura de secado y la temperatura de almacenamiento afectaron significativamente el contenido de vitamina C, obteniendo el 57,5% de degradación de vitamina C en las láminas sometidas a secado a 70°C y almacenadas a 35°C.

El desarrollo y caracterización de láminas elaboradas con pulpa de mango variedad Tommy Atkins y piña variedad oro miel, en estado de maduración 3 y 5, respectivamente,

permiten la obtención de un producto con potencial comercial desde un punto de vista fisicoquímico y con tendencia al nuevo mercado de consumo saludable.

4.2 Recomendaciones

Con el fin de mejorar las características fisicoquímicas de la lámina comestible durante el almacenamiento, es deseable realizar un estudio que evalúe diferentes materiales y condiciones de empaque en función de las características críticas de pérdida de calidad como el color, actividad de agua y degradación de vitamina C.

Realizar un estudio que incluya tanto la evaluación de diferentes temperaturas de exposición como un mayor tiempo de almacenamiento de las láminas, lo anterior, con el objetivo de verificar el comportamiento de las características críticas de calidad sensorial, textural y determinación de cinéticas de componentes físicos, químicos y microbiológicos. Adicionalmente, aprovechar esta información con el fin de estimar bajo modelamiento matemático tiempos de vida útil del producto.

5. ANEXO I: Formato prueba sensorial de preferencia de las formulaciones preliminares

Nombre:

Fecha:

Sexo:

M F

Edad:

- a. 18 años o menor
- b. Mayor a 18 años y menor a 23 años
- c. 23 años o mayor pero menor a 30 años
- d. 30 años o mayor

NOMBRE DEL PRODUCTO: LÁMINA COMESTIBLE DE FRUTAS

Por favor, marque con una **X** el campo correspondiente a la lámina que a su consideración presente la mejor característica. Realice su calificación siguiendo el orden de la tabla. Recuerde enjuagar su boca con agua antes de probar cada producto.

Lámina/Característica	C6025	G4587	P7021
Color			
Olor			
Flexibilidad			
Sabor			
Lámina de preferencia			

COMENTARIOS: _____

¡Muchas gracias!

RESULTADOS

Nomenclatura

Lámina C6025: Lámina adicionada con 1% de CMC

Lámina G4587: Lámina adicionada con 1% de Gelatina sin sabor

Lámina P 7021: Lámina adicionada con 1% de Pectina

Personas evaluadas

Sexo

Femenino: 40%

Masculino: 60%

Edad

Menores de 18 años: 0%

Entre 18 y 23 años: 26,7%

Mayores a 23 años pero menores a 30 años: 53,3%

30 años o mayores: 20%

Se realizó la prueba a 15 personas no entrenadas. La siguiente tabla hace referencia al número de personas que prefirieron cada una de las láminas.

Lámina/Característica	C6025	G4587	P7021
Color	15	-	-
Olor	10	1	4
Flexibilidad	15	-	-
Sabor	14	-	1-
Lámina de preferencia	15	-	-

El 100% de las personas prefirieron el color de la lámina formulada con CMC

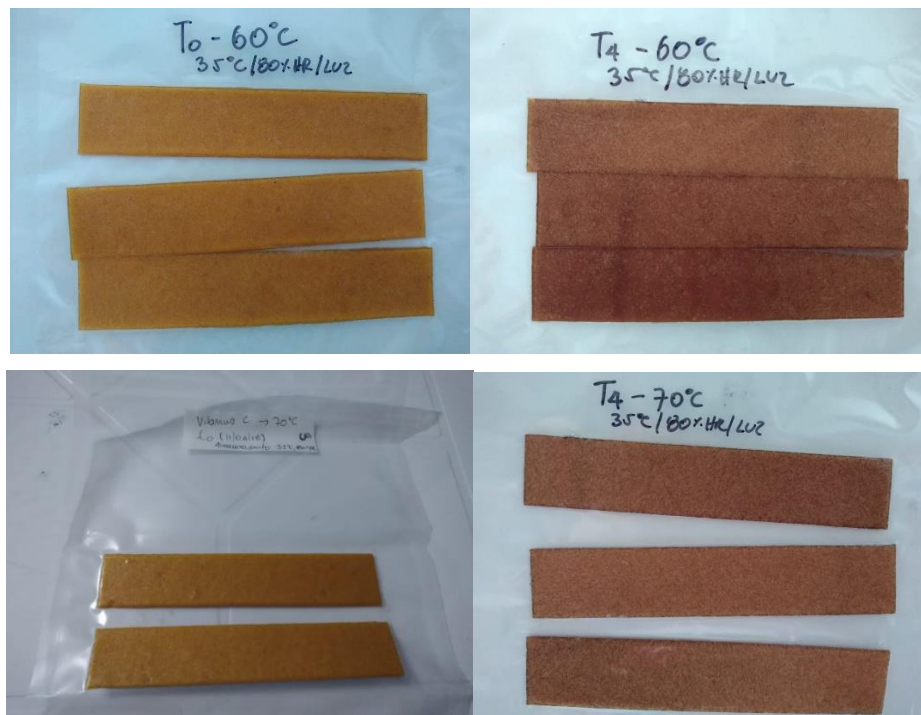
El 66,6% de las personas prefirió el olor de la lámina formulada con CMC

El 100% de las personas prefirió la flexibilidad de la lámina formulada con CMC

El 93,3% prefirió el sabor de la lámina formulada con CMC

La lámina de preferencia por parte del panel no entrenado fue aquella formulada con el hidrocoloide CMC

6. ANEXO II: Oscurecimiento de las láminas durante almacenamiento a 35°C.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abe-Matsumoto, L., Rodrigues-Sampaio, G., Markowicz, D. (2020). Is Titration as accurate as HPLC for Determination of Vitamin C in supplements?. *American Journal of Analytical Chemistry*, 11, 269-279.

Adedeji, A., Gachovska, T., Ngadi, M., & Raghavan, G. (2008). Effect of Pretreatment on the Drying Characteristics of Okra. *Drying Technology*, 26 (10), 1251-1256.

Aguilar, K., Garvín, A., Lara-Sagahón, A., & Ibarz, A. (2019). Ascorbic acid degradation in aqueous solution during UV-Vis irradiation. *Food Chemistry*, 297, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.138>.

Al Fata, N., Georgé, S., Dlah, N., & Renard, C. (2018). Influence of partial pressure oxygen on ascorbic acid degradation at canning temperature. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 215-221.

Anastasiades, A., Thanou, S., Loulis, D., Stapatoris, A., & Karapantsios, T. (2002). Rheological and physical characterization of pregelatinized maize starches. *Journal of Food Engineering*, 52 (1), 57-66.

Angioloni, A. (2013). Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. *Tecnifood*, (90), 97-99.

Ashaye, O. A., Babalola, S. O., Babalola, O. A., & Aina, J. O. (2005). Chemical and organoleptic characteristics of paw paw and guava leathers. *The Journal of Agricultural Science*, 1 (1), 50-51.

Azeredo, H., Brito, E., Moreira, G., Fatias, V., & Bruno, M. (2006). Effect of drying and storage time on the physico-chemical properties of mango leathers. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 635-638.

Badjona, A., Adubofuor, J., Amoah, I., & Diako, C. (2019). Valorisation of carrot and pineapple pomaces for rock buns development. *Scientific African*, Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00160>.

Bermejo-Prada, A., & Otero, L. (2016). Effect of hyperbaric storage at room temperature on color degradation of strawberry juice. *Journal of Food Engineering*, 169, 141-148.

Braga, T., Silva, E., Rodrigues, S., & Fernandes, F. (2019). Drying of mangoes (*Mangifera indica* L.) applying pulsed UV light as pretreatment. *Food and Bioproducts Processing*, 114, 95-102.

- Buevas, G., Mejía, C., Castro, M., & Avendaño, M. (2017). Alternativas agroindustriales del mango criollo. Obtenido de Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA): <https://repositorio.sena.edu.co/>
- Buvé, C., Kebede, B., Batselier, C., Carrillo, C., Pham, H., Hendrickx, M., Loey, A. (2018). Kinetics of colour changes in pasteurised strawberry juice during storage. *Journal of Food Engineering*, 216, 42-51.
- Cabarcas, E., Guerra, A., & Henao, C. (2012). Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. Cartagena de Indias, Colombia: Tesis.
- Cando, M. (2010). El empleo de CMC y carragenina en leche saborizada de cocoa (*Theobroma cacao* L.). Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Carrillo, M., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 1-25.
- Chaikham, P., Kreungngern, D., & Apichartsrangkoon, A. (2013). Combined microwave and hot air convective dehydration on physical and biochemical qualities of dried longan flesh. *International Food Research Journal*, 20, 2145-2151.
- Chakraborty, S., Rao, P., & Mishra, H. (2014). Effect of pH on enzyme inactivation kinetics in high-pressure processed pineapple (*Ananas comosus* L.) puree using response surface methodology. *Food and Bioprocess Technology*, 7(12), 3629–3645.
- Chakraborty, S., Rao, P., & Mishra, H. (2015). Kinetic modeling of polyphenoloxidase and peroxidase inactivation in pineapple (*Ananas comosus* L.) puree during high pressure and thermal treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 27, 57-68.
- Chasquibol, N., Arroyo, E., & Morales, J. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 26, 175-199.
- Chutintrasri, B., & Noomhorm, A. (2015). Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 300-306.
- Clavijo, D., Portilla, M., & Quijano, A. (2012). Cinética de la bromelina obtenida a partir de la piña perolera (*Ananas Comosus*) de Lebrija-Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10 (2), 41-49.
- Coiner-Collier, S., Scott, R., Chalk-Wilayto, J., Cheyne, S., Constantino, P., Dominy, M., Vogel, E. (2016). Primate dietary ecology in the context of food mechanical properties. *Journal of Human Evolution*, 98, 103-118.
- Corrales-Bernal, A., Maldonado, M., Urango, L., Franco, M., & Rojano, B. (2014). Mango de azúcar (*Mangifera indica*), variedad de Colombia: características antioxidantes, nutricionales y sensoriales. *Revista Chilena de Nutrición*, 41 (3), 312-318.

Cubas, L., Seclén, O., & León, N. (2016). Influencia del porcentaje de adición de quinua (*Chenopodium quinoa*), piña (*Ananas comosus* L. Merr) y nivel de dilución en la fortificación del néctar de manzana (*Malus domestica*) sobre la calidad del producto. *Agroindustrial science*, 6, 97-105.

Da Silva, R., Oliveira, J., Gimenez, P., Mattar, B., & Borges, J. (2019). Production of mango leathers by cast-tape drying: Product characteristics and sensory evaluation. *LWT-Food Science and Technology*, 99, 445-452.

Dabbagh, H., & Azami, F. (2014). Experimental and theoretical study of racemization, stability and tautomerism of vitamin C stereoisomers. *Food Chemistry*, 164, 355-362.

Dbrowska, G., Kata, A., Goc, A., Szechyńska-Hebda, M., & Skrzypek, E. (2007). Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 49 (1), 7-17.

Duncan, S., & Chang, H. (2012). Implications of Light Energy on Food Quality and Packaging Selection. Blacksburg: Department of Food Science and Technology.

Faostat. (2019). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 02 de septiembre de 2019, de <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Fernández, B. (2017). Nuevas tendencias en la predicción de la estabilidad de medicamentos. Universidad Complutense de Madrid: Tesis. Obtenido de Universidad Complutense de Madrid.

Franco, Y., Rojano, B., Alzate, A., Restrepo, C., Rivero, D., & Maldonado, M. (2016). Efecto del tiempo de almacenamiento sobre propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de productos derivados del fruto agraz (*Vaccinium meridionale swartz*). *Vitae*, 23 (3), 184-193.

Galvis, J., Arjona, H., Fischer, G., Landwehr, T., & Martínez, R. (2002). Influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la conservación del fruto de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Van Dyke. *Agronomía Colombiana*, 19 (1-2), 23-35.

García, M., & Serrano, H. (2005). La piña, *Ananas comosus* (L.) Merr. (Bromeliaceae), algo más que un fruto dulce y jugoso. *ContactoS*, 56, 55-61.

García-García, A., Ochoa-Martínez, L., Lara-Ceniceros, T., Rutiaga-QUIñonez, O., Rosas-Flores, W., & González-Herrera, S. (2019). Changes in the microstructural, textural, thermal and sensory properties of apple leathers containing added agavins and inulin. *Food Chemistry*, 301, art. 124590.

Garzón-García, A., Dussan-Sarria, S., Melo-Sevilla, R. (2018). Estudio de la Variación de Parámetros de Color del Yacón utilizando un Prototipo de Medición de Color y Temperatura. *Información Tecnológica*, 29 (6), 75-82.

- Genard, M., & Gouble, B. (2005). Ethy. A Theory of fruit climacteric ethylene emission. *Plant Physiology*, 139 (1), 531-545.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., & Entezami, A. (2010). Physical properties of edible modified starch/carboxymethyl cellulose films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 697-702.
- Gómez, R. (2013). Evaluación sensorial de láminas de mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) fortificadas con cloruro de calcio mediante deshidratación osmótica con pulsos de vacío. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4 (2), 157-169.
- Gómez, R., Somaroo de Fendel, B., Farias Vera, C., & Mendez Natera, J. (2013). Efecto del cloruro de calcio sobre láminas de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Keitt deshidratadas osmóticamente por pulso de vacío. *Revista Científica UDO Agrícola*, 13 (1), 135-139.
- Gonzalez, I. (2007). Las múltiples propiedades de la gelatina. *Sesenta y más*, 16 (44), 48-49.
- Gutierrez, M., de Sena, H., Narain, N., Yaguiiu, P., & da Silva, G. (2009). Physico-Chemical Quality Changes in Mangaba (*Hancornia speciosa* gomes) Fruit Stored at Different Temperatures. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52 (4), 985-990.
- Hemalatha, R., & Anbuselvi, S. (2013). Physicochemical constituents of pineapple pulp and waste. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(2), 240-242.
- Hleap, J., & Velasco, V. (2010). Análisis de las propiedades de textura . *Faculta de Ciencias Agropecuarias*, 8 (2), 47-56.
- Honikel, K. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49 (4), 447-457.
- Icontec. (1996). Frutas frescas. Piña. Especificaciones. Bogotá, D.C: Norma Técnica Colombiana 729-1.
- Icontec. (2003). Frutas frescas. Mango variedades mejoradas. Especificaciones. Bogotá, D.C: Norma Técnica Colombiana 5210.
- Jiang, H., Zhang, M., Mujumdar, A., & Lim, R. (2014). Comparison of drying characteristic and uniformity of banana cubes dried by pulse-spouted microwave vacuum drying, freeze drying and microwave freeze drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 1827-1834.
- Jin, Y., Tang, J., & Sablani, S. (2019). Food component influence on water activity of low-moisture powders at elevated temperatures in connection with pathogen control. *LWT-Food Science and Technology*, Artículo 108257, 1-7.

Kaya, S., & Kahyaoglu, T. (2005). Thermodynamic properties and sorption equilibrium of pestil (grape leather). *Journal of Food Engineering*, 71, 200-207.

Khoo, H., Prasad, K., Kong, K., Jiang, Y., & Ismail, A. (2011). Carotenoids and their isomers: Color pigments in fruits and vegetables. *Molecules*, 16 (2), 1710-1738.

Klimczak, I., & Gliszczynska-Swiglo, A. (2015). Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C. *Food Chemistry*, 175, 100-105.

Kosegarten, C. E., & Jiménez-Munguía, M. T. (2012). Factores principales que intervienen en la estabilidad de una emulsion doble. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6 (2), 1-18.

Krapf, T., & Gantenbein-Demarchi. (2010). Thermal inactivation of *Salmonella* spp. during conching. *LWT-Food Science and Technology*, 720-723.

Kuskoski, E., Asuero, A., Troncoso, A., Mancini-Filho, J., & Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25(4), 726-732.

Lazouk, M.-A., Savoie, R., Kaddour, A., Castello, J., Lnoisellé, J.-L., Van, E., & Thomasset, B. (2015). Oilseeds sorption isotherms, mechanical properties and pressing: Global view of water impact. *Journal of Food Engineering*, 153, 73-80.

Lewicki, P. P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*, 61(4), 483-495.

Llanes, D., Lois, J., Sánchez, M., Rostro, M., & Orta, V. (2018). Importancia de la determinación de vida de anaquel en alimentos ricos en fibra de cogollo de caá de azúcar. *Transversalidad Científica y Tecnológica*, 2 (1), 63-67.

Mabel, M., Canniatti, S., dos Santos, C., Ratnakaye, W., Flores, R., & Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163, 23-30.

Maldonado, L., Latorre, K., Rocha, P., Medrano, A., Abirached, C., & Panizzolo, L. A. (2011). Influencia del pH en la estabilidad de emulsiones elaboradas con proteínas de salvado de arroz. *Revista del Laboratorio Tecnológico de Uruguay*, 6, 28-31.

Maldonado-Astudillo, Y., Navarrete-García, H., Ortiz-Morales, O., Jiménez-Hernández, J., Salazar-López, R., Alia-Tejacal, I., & Álvarez-Fitz, P. (2016). Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en la Costa de Guerrero. *Revista Fitotecnológica de México*, 39 (3), 207-214.

- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33 (3), 527-538.
- Martínez, G., Uresti, R., Ramírez, J., & Velásquez, G. (2011). Extracción y caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas de gelatina de piel de trucha. *CIENCIA@UAQ*, 4 (2), 26-34.
- Masibo, M., & He, Q. (2008). Major mango polyphenols and their potential significance to human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7 (4), 309-319.
- Maupoey, P., Andrés, A., Barat, J., & Albors, A. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Valencia, España: 1era edición. Editorial: Universitat Politècnica de Valencia .
- Mazariegos, A., Milla, A., Martínez, J., Águila, J., & Villanueva, K. (2017). Identificación del sistema local de comercialización del mango Ataulfo en el municipio de Huehuetan, Chiapas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 21 (40), 571-582.
- McHugh, T. H., de Bord, M. D., & Olsen, C. W. (2011). Fruit and vegetable films and uses thereof Patente nº U.S. Patent US 8,048,466 B2.
- Mehmet, F., Yükksekaya, S., Vardin, H., & Karaaslan, M. (2017). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16, 33-40.
- Mejía, L. F., Martínez, H. A., Betancourt, J. E., & Castrillón, C. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango común (*Mangifera indica* L.) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia*, 3 (6), 41-62.
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (2), 1–11.
- Menchú, M., & Méndez, H. (2007). Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Guatemala: Segunda edición.
- Mendoza-Corvis, F., Arteaga-Márquez, M., & Pérez-Sierra, O. (2017). Degradación de la vitamina C en un producto (*Mangifera indica* L.) and whey protein. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18 (1), 125-137.
- Merino, J. (2006). Implementación de un equipo de secado para alimentos. Guayaquil, Ecuador: Tesis.
- Mollet, B., & Rowland, I. (2002). Functional foods: At the frontier between food and pharma. *Current Opinion in Biotechnology*, 13, 483-485.
- Mora, S., Cadavid, Y., Cadena, E., Vélez, J., Buitrago-Sierra, R., & Santa, J. (2018). Plantain fibers obtained from pseudostems residues for efficient color degradation of indigo carmine dye. *Industrial Crops & Products*, 126, 302-308.

Moreno, A., León, D., Giraldo, G., & Rios, E. (2010). Estudio de la cinética fisicoquímica del mango (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) tratado por métodos combinados de secado. *DYNA*, 77 (162), 75-84.

Mudau, F., Mabusela, J., & Wonder, N. (2013). Proximate, chemical compositions and sulphur concentrations on quality of selected dried mango (*Mangifera indica* L.). *African Journal of Biotechnology*, 12 (19), 2679-2684.

Nuñez, M. (09 de Septiembre de 2015). Métodos de la estimación de la vida útil de los alimentos. Recuperado el 09 de Octubre de 2018, de https://www.researchgate.net/publication/264933994_METODOS_DE_ESTIMACION_DE_LA_VIDA_UTIL_DE_LOS_ALIMENTOS

Offia-Olua, B., & Ekwunife, O. (2015). Production and evaluation of the physico-chemical and sensory qualities of mixed fruit leather and cakes produced from apple (*Musa Pumila*), banana (*Musa Sapientum*), pineapple (*Ananas Comosus*). *Nigerian Food Journal*, 33, 22-28.

Omelas-Paz, J., Yahia, E. M., & Gardea-Bejar, A. (2007). Identification and quantification of xanthophylls esters, carotenes, and tocopherols in the fruit of seven Mexican mango cultivars by liquid chromatography atmospheric pressure chemical ionization-time-of-flight mass spectrometry [LC-(APCI+)-MS]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 6628-6635.

Ospina, S., Hernández, E., & Lozano, C. (2012). Estudio experimental del proceso de fermentación de residuos agroindustriales del mango (*Mangifera indica* L) usando *saccharomyces cerevisiae*. Manizales, Colombia: Tesis.

Pasquel, A. (2001). Gomas: Una aproximación a la industria de Alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1 (1), 1-8.

Penicaud, C., Achir, N., Dhuique-Mayer, C., Dornier, M., & Bohuon, P. (2010). Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage: reaction mechanisms and kinetic aspects: a review. *Fruits*, 66 (6), 417-440.

Penna, A. (2002). Hidrocolóides. Usos em Alimentos. *Food Ingredients: Cuaderno de Tecnología de Alimentos y Bebidas*, 17, 58-61.

Pérez, A., Moreno-Torres, R., & Pérez, C. (2007). Tratamiento nutricional del fallo intestinal y potenciales mecanismos de estimulación. *Nutrición Hospitalaria*, 22 (supl.2), 86-102.

Phillips, K., Council-Troche, M., McGinty, R., Rasor, A., & Tarrago-Trani, M. (2016). Stability of vitamin C in fruit and vegetable homogenates stored at different temperatures. *Journal of Food Composition and Analysis*, 45, 147-162.

- Pittia, P., & Sacchetti, G. (2008). Antiplasticization effect of water in amorphous foods. A review. *Food Chemistry*, 106, 1417-1427.
- Quintero, N., Demarchi, S., Massolo, J., Rodoni, L., & Giner, S. (2012). Evaluation of quality during storage of apple leather. *LWT - Food Science and Technology*, 47, 485-492.
- Quintero, V., Giraldo, G., Lucas, J., & Vasco, J. (2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera Indica L*) durante su proceso de maduración. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11 (1), 10-18.
- Raheem, Z. (2019). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics 1. *Journal of Engineering Materials and Technology*, D638-14, 1-17.
- Rahmad, M., Al-Rizeiqi, M., Guizani, M., Al-Ruzaiqi, M., Al-Aamri, A., & Zainab, S. (2013). Stability of vitamin C in fresh and freeze-dried capsicum stored at different temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 52 (3), 1691-1697.
- Ramírez, B. (2005). Contribución a la caracterización fisicoquímica, morfológica y funcional del mango de azúcar cultivado en Santa Marta. Bogotá: Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.
- Reid, D. S. (2007). Water activity: Fundamentals and relationships. En G. V. Barbosa-Canovas, A. J. Fontana, S. J. Schmidt, T. P. Labuza, & (Eds), *Water activity in foods* (págs. 15-25). Ames IA, USA: Blackwell Publishing.
- Renzetti, S., & Jurgens, A. (2016). Rheological and thermal behavior of food matrices during processing and storage: relevance for textural and nutritional quality of food. *Current Opinion of Food Science*, 9, 117-125.
- Robles-sánchez, M., Shela, G., Martín-Belloso, O., Astiazarán-García, H., González-Aguilar, G., & Cruz-Valenzuela, R. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32 (4), 227-232.
- Rodríguez, E., Sandoval, A., & Ayala, A. (2003). Hidrocoloides naturales de origen vegetal. *Investigaciones recientes y aplicaciones en la industria de alimentos*. Tecnura, 13, 4-13.
- Rodríguez, M., & Sánchez, L. (2017). Consumo de frutas y verduras: Beneficios y retos. *Alimentos Hoy*, 25 (42), 30-55.
- Roos, Y. (1995). *Phase Transitions in Foods*. Helsinki: Academic Press.
- Rybarczyk-Plonska, A., Hansen, M., Wold, A., Hagen, S., Borge, G., & Bengtsson, G. (2014). Vitamin C in broccoli (*Brassica oleracea L. var. italica*) flower buds as affected by postharvest light, UV-B irradiation and temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 98, 82-89.
- Saipei, L., & Hwa, L. (2014). Study on the Kinetics of Vitamin C Degradation in Fresh Strawberry Juices. *Procedia Chemistry*, 9, 62-68.

Sharma, P., Ramchiary, M., Samyor, D., & Baran, A. (2016). Study on the phytochemical properties of pineapple fruit leather processed by extrusion cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 534-543.

Shende, D., Kour, M., & Kumar, A. (2020). Evaluation of sensory and physico-chemical properties of Langra variety mango leather. *Journal of Food Measurement and Characterization*. DOI:[10.1007/s11694-020-00558-2](https://doi.org/10.1007/s11694-020-00558-2)

Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Báez-Sañudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Calidad poscosecha de cultivares de mango de maduración temprana, intermedia y tardía. *Revista Fitotecnológica de México*, 32 (1), 45-52.

Sosa, M., Rodriguez, L., & Bermúdez, L. (2011). Competitividad del sistema de producción de mango 'Tommy Atkins' en Cundinamarca (La Mesa, Anapoima y Tocaima). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5 (1), 20-33.

Sumaya-Martinez, M., Sánchez, L., Torres, G., & García, D. (2012). Red de valor del mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 30, 826-833.

Szczesniak, A. (1975). General food texture profile revisited-Ten years perspective. *Journal of texture studies*, 6, 5-17.

Terán, E., & Escalera, R. (2007). Obtención de Carboximetilcelulosa a partir de linter de algodón. *Investigación & Desarrollo*, 7, 107-120.

Toledo, R. T. (2007). Dehydration. In: *Fundamentals of Food Process Engineering*. FOOD SCIENCE TEXT SERIES. Springer, Boston, MA.

Tontul, I., & Topuz, A. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical properties of pomegranate leather (pestil). *LWT - Food Science and Technology*, 80, 294-303.

Torres, C., Romero, L., & Díaz, R. (2015). Quality and sensory attributes of apple and quince leathers made without preservatives and with enhanced antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 996-1003.

Valencia, F., Millán, L., & Jaramillo, Y. (2008). Estimación de la vida útil fisicoquímica, sensorial e instrumental del queso crema bajo en calorías. *Revista Lasallista de Investigación*, 5 (1), 28-33.

Valenzuela, C., & Aguilera, J. (2015). Effects of different factors on stickiness of apple leathers. *Journal of Food Engineering*, 149, 51-60.

- Vanegas, P., & Parra, A. (2012). Producción de láminas de mango (*Mangifera indica* L.) usando deshidratación dinámica. *Vitae*, 19 (Supl. 1), S75-S77.
- Vatthanakul, S., Jangchud, A., Jangchud, K., Therdthai, N., & Wilkinson, B. (2010). Gold kiwifruit leather product development using quality function deployment approach. *Food Quality and Preference*, 21 (3), 339-345.
- Wall-Medrano, A., Olivas-Aguirre, F., Velderrain-Rodriguez, G., González-Aguilar, A., de la Rosa, L., López-Díaz, J., & Álvarez-Parrilla, E. (2015). El mango: aspectos agroindustriales, valor nutricional/funcional y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31 (1), 67-75.
- Wang, J., Law, C., Mujumdar, A., & Xiao, H. (2017). The Degradation Mechanism and Kinetics of Vitamin C in Fruits and Vegetables During Thermal Processing. *Drying Technologies for Foods*, 12, 276-301.
- Willats, W., Knox, I., & Dalgaard, M. (2006). "Pectin: new insights into and old polymer are starting to gel". *Journal of Food Science*, 17, 97-104.
- Williams, S. H., Wright, B. W., Truong, V., Daubert, C. R., & Vinyard, C. J. (2005). Mechanical properties of foods used in experimental studies of primate masticatory function . *American Journal of Primatology*, 67, 329-346.
- Zapata, J., & Montoya, A. (2010). Deshidratación Osmótica de Láminas de Mango cv. Tommy Atkins Aplicando Metodología de Superficie de Respuesta. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*, 65 (1), 6507-6518.