



DESARROLLO DE MATRICES FUNCIONALES PARA ALIMENTOS A BASE DE CEREALES, FRUTAS, SEMILLAS Y MIEL

Tesis de Doctorado

NANCY LIDIA FERNÁNDEZ

Presentada ante la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Nacional de La Plata
como requisito para la obtención del grado académico de

DOCTOR EN INGENIERÍA

Dirección de Tesis:

Directora: Dra. Alba Sofía del Rosario Navarro

Codirectora: Ing. Susana Beatriz Montenegro (*in memoriam*)

Dr. Ricardo Alejandro Fogar

Subdirector: Dr. Diego Karim Yamul

Jurado de Tesis:

Dra. María Lidia Herrera

Dra. María Florencia Mazzobre

Dra. Carolina Claudia Schebor

Fecha de la defensa oral y pública: 4 de octubre de 2024

El presente trabajo de Tesis para optar al título de Doctor en Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata fue realizado en los laboratorios de Industrias Alimentarias (I y II) y de Alimentos Funcionales del Instituto de Investigaciones en Procesos Tecnológicos Avanzados (INIPTA, CONICET) de la Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS) y en el Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CIDCA, CONICET) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP).

Para María Elena, mi amada hija.

*“Serás lo que debas ser, o no serás nada”
Gral. José de San Martín*

Agradecimientos

A la Dra. Alba Navarro, mi “madre académica”, por su tiempo, dedicación y disciplina durante el desarrollo de esta tesis. Gracias por tanto aporte, conocimiento y calidez humana.

Al Dr. Karim Yamul por su buena energía, visión positiva y alentadora.

A la Ing. Susana Montenegro por abrirme las puertas del laboratorio.

Al Dr. Ricardo Fogar por contribuir a continuar la tesis mediante su codirección.

A CONICET por la beca otorgada. A la Universidad Nacional del Chaco Austral por la beca de finalización de doctorado. Al CIDCA, FI (UNLP), UNCAUS por brindarme sus instalaciones para el desarrollo de la tesis.

A los becarios (muchos ya investigadores) del CIDCA por su gran solidaridad y momentos de trabajo compartidos.

A Cecilia y Mariana, amigas de todos los días, por los mates, el ánimo, las risas, haciendo gratas las horas de trabajo.

A Franco, Lean y Andrea, por su valioso aporte profesional, equipos, técnicas y calidez humana.

A Mara, Carina, Meli y Fabi por su aliento profesional, contribuciones, técnicas y gratos momentos.

A Jessi, Laura, Cristian, Mary, Cristina, Franco, Carola, Mauro y Ariel por su predisposición, aporte y generosidad.

A Naty, Gaby, Jérica, Noe, Marta y Mara, por su amistad.

A mis abuelos queridos y mi abuela Piedad, por su fortaleza y anhelos de crecimiento en un país lejano a su origen.

A mí papá Francisco, quien me cuida desde el cielo, el más orgulloso viéndome en este lugar.

A mi mamá Lidia y a mi hermana Mercedes que sostienen mi alma en momentos de calma y tormenta.

A mi cuñado Bruno, mi soporte técnico y a Oscar por su compañía en los trayectos hacia la Universidad.

A mi hermano Rubén, quien partió pronto y me dejó grandes enseñanzas.

Y en especial, a mi compañero de vida Carlos, por su amor, paciencia y sostén, disfrutando cada logro a mi lado. A nuestros dos ángeles. Y a nuestra hija amorosa María Elena por su comprensión y aliento pasando horas “trabajando juntas” desde la panza.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Tendencias en alimentación saludable.....	3
1.2. Alimentos funcionales: Snacks a base de frutas	4
1.3. La región chaqueña/NEA como fuente de recursos naturales para alimentos.....	7
1.3.1. Miel.....	7
1.3.2. Almidón de mandioca	9
1.3.3. Frutas regionales	10
1.3.3.1. Mora.....	12
1.3.3.2. Pomelo	14
1.3.3.3. Mamón	17
1.3.4. Compuestos bioactivos de las frutas	20
1.3.5. Parámetros de calidad de las frutas.....	22
1.3.6. Vehiculización y protección de los compuestos bioactivos de las frutas	24
1.3.6.1. Películas de almidón	26
1.3.6.2. Recubrimientos y películas con frutas	28
1.3.7. Aplicaciones de matrices frutales	29
1.3.7.1. Películas activas en la preservación de productos cárnicos.....	30
1.3.7.2. Recubrimientos en fruta cortada	32
1.3.7.3. Snacks de frutas recubiertas, cereales, semillas y miel como alimentos funcionales	36
1.3.7.4. Etiquetado frontal de los snacks	39
1.4. Objetivos.....	43
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	45
2.1. Materiales.....	47
2.1.1. Hidrocoloides.....	47
2.1.2. Miel.....	47

2.1.3. Frutas regionales	48
2.1.3.1. Recolección.....	48
2.1.3.2. Procesamiento y conservación.....	49
2.2. Metodología.....	51
2.2.1. Caracterización fisicoquímica y funcional de las materias primas.....	52
2.2.1.1. Miel.....	52
2.2.1.1.1. Humedad.....	52
2.2.1.1.2. Sólidos solubles	52
2.2.1.1.3. Acidez libre, láctónica y total	52
2.2.1.1.4. pH.....	53
2.2.1.1.5. Hidroximetilfurfural (HMF)	54
2.2.1.1.6. Cenizas.....	54
2.2.1.1.7. Color	55
2.2.1.1.8. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante	55
i. Polifenoles totales.....	55
ii. Flavonoides.....	56
iii. Actividad antioxidante por el método de DPPH	56
iv. Actividad antioxidante por el método de ABTS.....	57
2.2.1.2. Frutas	58
2.2.1.2.1. Dimensiones y rendimiento	58
2.2.1.2.2. Color superficial	58
2.2.1.2.3. Humedad.....	59
2.2.1.2.4. Actividad acuosa.....	59
2.2.1.2.5. Cenizas.....	60
2.2.1.2.6. Textura.....	60
i. Ensayo de punción.....	62
ii. Análisis de perfil de textura.....	62

2.2.1.2.7. Preparación de extractos frutales y de semillas de mamón	63
2.2.1.2.8. pH.....	64
2.2.1.2.9. Acidez titulable	64
2.2.1.2.10. Sólidos solubles totales	64
2.2.1.2.11. Índice de madurez	65
2.2.1.2.12. Compuestos bioactivos de las frutas	65
2.2.1.2.13. Antocianinas monoméricas	65
2.2.1.2.14. Ácido ascórbico	66
2.2.1.2.15. Carotenoides	67
2.2.2. Elaboración de las matrices para la formación de recubrimientos y películas	68
2.2.2.1. Matrices a base de almidón, glicerol y miel	68
2.2.2.1.1. Preparación de películas a partir de las matrices de almidón, glicerol y miel	69
2.2.2.2. Matrices con agregado de jugo y pulpa de frutas	69
2.2.3. Caracterización fisicoquímica y funcional de las matrices.....	71
2.2.3.1. pH.....	71
2.2.3.2. Propiedades reológicas	71
2.2.3.2.1. Ensayos transientes	72
2.2.3.2.2. Ensayos dinámicos.....	73
2.2.4. Caracterización fisicoquímica y funcional de las películas	73
2.2.4.1. Espesor.....	73
2.2.4.2. Color superficial	73
2.2.4.3. Humedad.....	74
2.2.4.4. Hinchamiento.....	74
2.2.4.5. Solubilidad	74
2.2.4.6. Permeabilidad al vapor de agua	74
2.2.4.7. Propiedades mecánicas	76
2.2.4.8. Microestructura.....	77

2.2.4.8.1. Análisis a través de microscopía electrónica de barrido (SEM).....	77
2.2.4.8.2. Análisis de textura por imágenes	78
2.2.4.9. Estabilidad en medio ácido-neutro-básico	79
2.2.4.10. Biodegradabilidad en compost orgánico.....	79
2.2.4.11. Determinación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante	80
2.2.5. Análisis estadístico de los datos.....	80
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
CAPÍTULO 3. MATRICES DE ALMIDÓN DE MANDIOCA Y MIEL	83
3. A. CARACTERIZACIÓN DE LA MIEL Y SU ROL EN MATRICES PARA RECUBRIMIENTOS	85
3.1. Desarrollo de matrices a base de almidón de mandioca, glicerol y miel.....	87
3.2. Caracterización fisicoquímica y funcional de la miel.....	87
3.3. Elección del contenido de almidón en las matrices	92
3.4. Efecto de la miel sobre la estabilidad y comportamiento reológico de las suspensiones filmogénicas.....	94
3. B. PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN Y MIEL	101
3.5. Caracterización de las películas a base de almidón de mandioca con miel y glicerol como plastificantes	103
3.5.1. Propiedades fisicoquímicas de las películas	103
3.5.1.1. Aspecto visual y color superficial de las películas	103
3.5.1.2. Espesor.....	104
3.5.1.3. Humedad, hinchamiento y solubilidad	105
3.5.1.4. Permeabilidad al vapor de agua	107
3.5.2. Propiedades funcionales	109
3.5.3. Propiedades mecánicas	110
3.5.4. Microestructura	113
3.5.4.1. Análisis por microscopía electrónica de barrido.....	113
3.5.4.2. Análisis de textura por imágenes	116

3.5.5. Estabilidad	118
3.5.5.1. Inmersión en soluciones ácidas, neutras y alcalinas	119
3.5.5.2. Biodegradabilidad en compost vegetal	120
3.6. Conclusiones parciales.....	123
CAPÍTULO 4. MATRICES DE ALMIDÓN DE MANDIOCA, MIEL Y FRUTAS..	125
4. A. CARACTERIZACIÓN DE LAS FRUTAS Y SU FUNCIONALIDAD EN MATRICES PARA RECUBRIMIENTOS	127
4.1. Desarrollo de matrices funcionales con frutas	129
4.1.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad de las frutas	129
4.1.1.1. Dimensiones, rendimiento y color	129
4.1.1.2. Efecto de la congelación sobre los parámetros fisicoquímicos	135
4.1.1.3. Efecto de la congelación y almacenamiento sobre el contenido de compuestos bioactivos de las frutas.....	137
4.1.1.4. Caracterización de residuos del procesamiento: semillas de mamón	140
4.1.1.5. Efecto de la congelación sobre las propiedades de textura de las pulpas de fruta	142
4.2. Incorporación de las frutas a las matrices de almidón, glicerol y miel.....	145
4.2.1. Efecto de las frutas sobre la formación de las suspensiones filmogénicas	145
4.2.2. Comportamiento reológico de las suspensiones filmogénicas con frutas.....	146
4.2.2.1. Sistemas con jugo y pulpa de moras	146
4.2.2.2. Sistemas con jugo de pomelo	149
4.2.2.3. Sistema con pulpa de mamón	151
4. B. PELÍCULAS A BASE DE MATRICES FRUTALES	155
4.3. Películas a base de jugo y pulpa de frutas	157
4.3.1. Parámetros fisicoquímicos de las películas	159
4.3.1.1. Color	159
4.3.1.2. Espesor.....	161
4.3.1.3. Humedad, hinchamiento y solubilidad	162

4.3.1.4. Permeabilidad al vapor de agua	164
4.3.2. Contenido de compuestos bioactivos en las películas	165
4.3.3. Propiedades mecánicas de las películas	169
4.3.4. Microscopía electrónica de barrido de películas de almidón con jugo y pulpa de frutas	172
4.3.5. Análisis de textura por imágenes	176
4.3.6. Estabilidad de las películas: Inmersión en soluciones ácidas y alcalinas	178
4.3.7. Biodegradabilidad	181
4.4. Conclusiones	183
4. C. APLICACIÓN DE PELÍCULAS COMO ENVASES PARA PRODUCTO CÁRNICO	185
4.5. Aplicación de las películas activas con pulpa de pomelo en la preservación de un producto cárnico	187
4.6. Materiales y métodos	187
4.6.1. Elaboración de las películas	187
4.6.2. Proceso de elaboración de las hamburguesas y envasado en las películas desarrolladas	188
4.6.3. Preparación de los extractos de carne	189
4.6.4. Caracterización del producto cárnico	189
4.6.5. Determinación de productos secundarios de oxidación	190
4.6.6. Análisis microbiológico	191
4.6.7. Cocción de la carne envasada en películas activas	192
4.6.8. Análisis sensorial de la carne envasada en películas activas luego de la cocción	192
4.6.9. Análisis estadístico de los datos	193
4.7. Resultados y discusión	194
4.7.1. Aspecto visual y color de las hamburguesas envasadas	194
4.7.2. Variación de pH en las hamburguesas envasadas	196

4.7.3. Humedad y a_w de las hamburguesas envasadas en películas bioactivas	198
4.7.4. Contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante total.....	199
4.7.5. Productos secundarios de oxidación	200
4.7.6. Análisis microbiológico	202
4.7.7. Alternativas de consumo de las hamburguesas envasadas en películas activas .	203
4.8. Conclusiones parciales.....	207
CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE LAS MATRICES EN EL DESARROLLO DE ALIMENTOS	209
5. A. SNACKS DE FRUTAS DESHIDRATADAS RECUBIERTAS	211
5.1. Aplicación de los recubrimientos activos a base de fruta en láminas de frutas regionales para alimentos a base de cereales, semillas y miel.....	213
5.2. Materiales y Métodos.....	213
5.2.1. Formatos de frutas utilizados para recubrir	213
5.2.2. Determinación de las condiciones de secado de las frutas	214
5.2.3. Recubrimiento de las frutas con las matrices a base de almidón de mandioca sin y con jugo de pomelo.....	216
5.2.4. Caracterización fisicoquímica y funcional de las frutas recubiertas.....	217
5.2.5. Aplicación de las frutas y láminas frutales recubiertas para la formación de granolas	218
5.2.6. Análisis sensorial	220
5.2.7. Análisis estadístico de los datos.....	222
5.3. Resultados y discusión.....	223
5.3.1. Selección de las condiciones de secado de las frutas.....	223
5.3.2. Evaluación de la pérdida de peso en función del tiempo.....	226
5.3.3. Pérdida de humedad durante el tiempo de secado	227
5.3.4. Recubrimiento de las frutas de moras y láminas de pomelo y mamón con matrices bioactivas	228
5.3.5. Caracterización fisicoquímica de las frutas recubiertas deshidratadas	230

5.3.6. Caracterización funcional de las frutas deshidratadas	235
5.3.7. Análisis sensorial de las frutas recubiertas	239
5.3.8. Aplicaciones de las frutas recubiertas y deshidratadas en la elaboración de granola	244
5.4. Conclusiones parciales.....	247
5. B. SNACKS A BASE DE CEREALES, FRUTAS Y SEMILLAS.....	249
5.5. Aplicación de las frutas recubiertas y matrices desarrolladas en un alimento a base de cereales.....	251
5.6. Materiales y métodos	251
5.6.1. Selección de la materia prima.....	251
5.6.2. Tratamiento de las semillas de quinoa y amaranto	253
5.6.3. Elaboración de los snacks	254
5.6.4. Cocción de los snacks	256
5.6.5. Caracterización fisicoquímica de los snacks	256
5.6.5.1. Determinación de color.....	256
5.6.5.2. Determinación de textura	256
5.6.5.3. Determinación de la composición proximal	257
5.6.5.3.1. Determinación de nitrógeno total y proteínas.....	258
5.6.5.3.2. Determinación de hidratos de carbono	258
5.6.5.3.3. Determinación de lípidos	259
5.6.5.3.4. Determinación de sodio	259
5.6.5.4. Etiquetado frontal de los snacks	260
5.6.5.5. Propiedades funcionales	260
5.6.5.6. Análisis microbiológico	260
5.6.5.7. Análisis sensorial	261
5.6.5.8. Análisis estadístico de los datos.....	262
5.7. Resultados y discusión.....	263

5.7.1. Características fisicoquímicas de los ingredientes sometidos a tratamientos térmicos.....	263
5.7.2. Características fisicoquímicas de los snacks funcionales	267
5.7.3. Textura	271
5.7.4. Composición proximal y etiquetado frontal de los snacks	273
5.7.5. Propiedades funcionales	275
5.7.6. Análisis microbiológico	277
5.7.7. Análisis sensorial	277
5.8. Conclusiones parciales.....	281
6. CONCLUSIONES GENERALES.....	283
7. REFERENCIAS.....	293
8. ANEXO	331
8.1. Tabla de Chataway para la determinación del contenido de humedad en miel	333
8.2. Determinación de color de la miel	334
8.3. Análisis de textura por imágenes	335
8.3.1. Matriz de coocurrencia de niveles de grises	335
8.3.2. Modelos fractales	336
8.4. Planilla para la evaluación sensorial	338

RESUMEN

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de Tesis fue lograr la revalorización de recursos naturales del norte de Argentina estudiando alternativas tecnológicas que incrementen el valor nutricional de los alimentos. Se utilizaron frutas (mora, pomelo y mamón) de la región chaqueña con elevado contenido de compuestos bioactivos beneficiosos para la salud, que fueron vehiculizados y protegidos en matrices multipropósito para ser aplicadas en alimentos a través de recubrimientos y películas activas. El método de congelación fue adecuado para mantener los parámetros de calidad y el contenido de compuestos antioxidantes de las frutas regionales. Sin embargo, el almacenamiento congelado afectó la textura de las frutas generándose la alternativa de utilización del jugo y de la pulpa y la fruta cortada en láminas. Se formularon y caracterizaron las matrices a base de almidón de mandioca y miel con la incorporación del jugo y la pulpa de las frutas, que dieron lugar a recubrimientos con buenas propiedades reológicas para su potencial aplicación a nivel industrial. Las películas activas generadas con la pulpa de pomelo presentaron características mecánicas de ductilidad que permitieron su aplicación como envase para un producto cárnico tipo hamburguesa. Las películas biodegradables minimizaron el deterioro fisicoquímico de la carne durante el almacenamiento refrigerado y mostraron su potencial como antimicrobianas debido a los compuestos antioxidantes de la fruta. Por otro lado, se aplicaron las matrices desarrolladas en recubrimientos para frutas. Se estudió el proceso de secado óptimo para las frutas enteras y en láminas que permitió la conservación del color atractivo de las frutas y disminuyó su riesgo microbiológico. Las frutas recubiertas con una matriz a base de jugo de pomelo y deshidratadas fueron incorporadas a una formulación de un snack a base de cereales como maíz y arroz y semillas de amaranto y quinoa. La caracterización fisicoquímica, funcional y microbiológica de los snacks mostró que tenían un elevado contenido de compuestos con actividad antioxidante y con potencial larga vida útil. El análisis sensorial de los alimentos desarrollados correlacionó con el análisis instrumental de textura y mostró el potencial de los productos deshidratados para su aplicación como snacks frutales y en otras formulaciones de alimentos. Las matrices generadas en esta investigación pueden ser utilizadas como base para la incorporación de diferentes compuestos de interés nutricional (vitaminas, minerales, antioxidantes) y/o con actividad específica (antimicrobianos, antifúngicos, antioxidantes), ampliando así su rango de aplicación en la industria de alimentos.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Tendencias en alimentación saludable

Los cambios sociales en la producción, comercialización y disponibilidad de alimentos durante la segunda mitad del siglo XX derivaron en el consumo de alimentos más energéticos y sabrosos pero pobres en nutrientes. Sin embargo, en los últimos 20 años, las nuevas tendencias en alimentación saludable despertaron el interés de la industria de alimentos para desarrollar productos no sólo atractivos y gratificantes sino también con compuestos bioactivos beneficiosos para la salud.

Según la consultora Mintel (2023), una de las tendencias mundiales es la exigencia de los consumidores en cuanto a formulaciones de alimentos y bebidas que les ayuden a optimizar su rendimiento mental en el trabajo, el hogar y el entretenimiento. Esto involucra el concepto de dietas funcionales donde se impulsa el consumo de frutas y hortalizas para mejorar la salud cognitiva de las personas, ya que estos alimentos son considerados como fuentes de energía que ayudan a mejorar el estado de ánimo (Mintel, 2023). En esta misma tendencia, la Asamblea General de Naciones Unidas (ONU) declaró el año 2021 como el Año Internacional de las Frutas y Hortalizas para concientizar sobre los beneficios nutricionales de estos alimentos, los que contribuyen a una dieta y un estilo de vida equilibrados y saludables (FAO, 2020). Asimismo, se recalcó la necesidad de reducir las pérdidas y desperdicios en este sector agrícola y, al mismo tiempo, mejorar el medioambiente. A esta iniciativa se suman otras de carácter internacional que también apoyan los Objetivos de Desarrollo Sostenible y que abarcan la nutrición, el consumo y la salud, así como cuestiones relativas a los agricultores familiares en pequeña escala (FAO, 2020).

Respecto a los niveles de ingesta, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda consumir por lo menos 400 g diarios de frutas y hortalizas para obtener un beneficio nutricional y saludable. Sin embargo, en promedio, se consumen solo alrededor de dos tercios de las cantidades mínimas recomendadas (FAO, 2020). Como consecuencia, en 2017 se registraron 3,9 millones de muertes en todo el mundo que se atribuyeron a la falta de consumo de frutas y hortalizas en cantidades suficientes (OMS, 2019). Se estima que la ingesta insuficiente de frutas y hortalizas es la causa de alrededor del 14 % de las muertes por cáncer gastrointestinal en todo el mundo, del 11 % de las muertes por cardiopatías isquémicas y del 9 % de las muertes por accidentes cerebrovasculares (Afshin y col., 2019). En Argentina, la baja ingesta de frutas y verduras

ha sido identificada como un factor preocupante en la salud pública, con implicaciones significativas para la incidencia de enfermedades cardíacas y cáncer gastrointestinal. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), la mayoría de los argentinos no alcanzan el consumo diario recomendado de frutas y verduras, que es crucial para mantener un sistema cardiovascular saludable y reducir el riesgo de cáncer de colon y otros tipos de cáncer digestivo. Estudios epidemiológicos, como los realizados por el Ministerio de Salud de la Nación y el Instituto Nacional del Cáncer (INC), han demostrado que una dieta deficiente en estos alimentos está estrechamente asociada con un aumento en las tasas de mortalidad por enfermedades del corazón y cánceres gastrointestinales en la población argentina. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de intervenciones y políticas dirigidas a promover hábitos alimenticios más saludables y aumentar el acceso a frutas y verduras frescas para mejorar la salud pública y reducir la carga de enfermedades crónicas no transmisibles en el país.

En este contexto, diversas investigaciones científicas han demostrado que el consumo saludable de frutas y la reducción de enfermedades están relacionados principalmente con la presencia de compuestos bioactivos como antioxidantes, fibra dietaria, vitaminas y minerales presentes en estos alimentos. Entre otros compuestos antioxidantes, los polifenoles contribuyen a la salud a través de múltiples efectos biológicos que incluyen actividades antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas y anticancerígenas (Golovinskaia y Wang, 2023, Miller y col., 2017).

Por lo tanto, las tendencias de dietas funcionales y las recomendaciones de mayor consumo de frutas conducen al estudio de alternativas para incluir sus compuestos nutricionales en matrices alimentarias sin perder sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. En particular, en esta tesis se abordó el estudio de matrices que pueden vehicular y proteger los compuestos bioactivos de frutas de la región noreste de Argentina, dando así un mayor valor agregado a esta materia prima para generar alimentos saludables.

1.2. Alimentos funcionales: Snacks a base de frutas

Atendiendo a la demanda de productos con potencial de prevenir enfermedades, los alimentos funcionales cobran relevancia ya que son productos que tienen un impacto positivo en la salud de las personas, en su performance física o en su estado mental, que va más allá de su función nutricional. Por ejemplo, los alimentos funcionales tienen el

potencial de modificar de manera positiva la función metabólica y reducir el riesgo de obesidad y comorbilidades asociadas, como la diabetes y la hipertensión. Para elaborarlos se puede recurrir a diversas estrategias como, por ejemplo, suplementar el producto con alguna sustancia que tenga un efecto terapéutico probado y que el producto inicial no poseía, como es el caso de los productos lácteos ricos en ácidos grasos Ω -3, fibra, jalea real, jugos de frutas con vitamina C, productos pro o prebióticos, entre otros. Otra opción podría ser aumentar la concentración de un componente que previamente ya poseía el alimento en cuestión para hacerlo más saludable, como es el caso de determinados productos lácteos enriquecidos en calcio, jugos de cítricos enriquecidos en vitamina C, entre otros. También se podría reemplazar total o parcialmente algún componente perjudicial o nocivo para el consumidor (grasas trans y ácidos grasos saturados, gluten, etc.), o bien modificar químicamente la naturaleza de uno o más de sus componentes para mejorar la salud (por ejemplo, los hidrolizados proteicos adicionados en los preparados para lactantes para reducir el riesgo de alergenicidad). Finalmente, se puede alterar la biodisponibilidad de alguno de los nutrientes presentes en un alimento, con el fin de obtener un efecto positivo sobre la salud y/o utilizar cualquier combinación de las estrategias anteriores (Banerjee y Ray, 2019).

Los consumidores son cada vez más conscientes de la importancia de los hábitos alimentarios saludables y del consumo de alimentos funcionales, sin embargo, disponen de menos tiempo para la preparación de los alimentos. Por otro lado, el consumo elevado de snacks y golosinas como colaciones entre comidas, principalmente entre la población joven e infantil, puede constituir un factor de riesgo ya que la mayoría de estos productos tienen una alta densidad calórica que puede impactar en forma negativa en la salud, favoreciendo enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes tipo II, etc. (Peterson y col., 2004, Dias y col., 2015).

Atendiendo a la reducción del consumo de sodio, en el año 2009 el Ministerio de Salud impulsó la iniciativa “Menos Sal, Más Vida”, la cual propicia la reducción del consumo de sal por parte de la población argentina. En una última modificación (Resolución Conjunta 26/2023, RESFC-2023-26-APN-SCS#MS), el Código Alimentario Argentino (Artículo 760 tris del Capítulo IX “Alimentos farináceos, 2/10/23) incluyó dicha recomendación en la definición de los snacks: “*Con la denominación de productos para copetín (snacks) o para aperitivos se entiende a los elaborados a base de papas, cereales, harinas o almidones (derivados de cereales, raíces y tubérculos, legumbres y*

leguminosas), con o sin la adición de sal, especias, frutas secas, saborizados o no, con o sin el agregado de otros ingredientes permitidos, horneados o fritos. Podrán adicionarse los aditivos incluidos en la Resolución Grupo Mercado Común (GMC) N°2/08. Estos productos tendrán como máximo 855 mg de sodio /100 g de producto. Se denominarán 'Producto para copetín', 'producto de copetín' o 'snack'. Se podrá adicionar una denominación de fantasía.'".

Los denominados productos tipo snack abarcan no sólo los productos salados para copetín sino también los dulces como las barras de cereales, ya que constituyen un formato ideal para incrementar el consumo de fibras y de compuestos antioxidantes derivados de frutas. Este tipo de alimentos pueden fortificarse a través de la inclusión de compuestos activos naturales en la matriz soporte o ligante de los cereales (Fuertes y Navarro, 2011, Sun-Waterhouse y col., 2011, Bchir y col., 2018). Para su elaboración se utilizan sacarosa, glucosa, pectinas, colorantes y esencias artificiales, por lo que el reemplazo de los aditivos sintéticos, que aportan color y aroma, por ingredientes naturales como la miel y las frutas es una tendencia en el desarrollo de productos saludables. En este sentido, los snacks frutales constituyen una alternativa saludable superior respecto a los snacks salados o con contenido graso. Las frutas aportan gran cantidad de compuestos bioactivos como vitaminas, minerales, antioxidantes y fibra (Banerjee y Ray, 2019, Jovanovic-Malinovska y col., 2014, Romero y col., 2021, Sun-Waterhouse y col., 2011). Por lo tanto, una opción saludable es incluir dichos compuestos en alimentos de consumo masivo como pueden ser los snacks. Sin embargo, las frutas son tejidos vivos que sufren pardeamiento enzimático, deterioro de la textura, contaminación microbiana y producción de compuestos volátiles indeseables, lo que reduce en gran medida su vida útil durante su procesamiento y almacenamiento. La posibilidad de ampliar la vida útil de las frutas no sólo mejora su calidad, sabor, aroma y textura, sino que también reduce el desperdicio y los costos asociados. Debido a esto, la importancia económica de la industria de la fruta cortada es cada vez mayor (Idigoras y col., 2014, Kocira y col., 2021). Por lo tanto, el desarrollo de un snack o golosina con ingredientes naturales saludables y que a su vez posea textura y sabor agradable, precio accesible y sea atractivo al consumidor, constituye un desafío para la industria de alimentos. La utilización de materias primas regionales, como miel, almidón de mandioca, y frutas de la región chaqueña, es una buena opción para el desarrollo de alimentos funcionales tipo snack y permitiría la revalorización de los cultivos de la región norte de Argentina.

1.3. La región chaqueña/NEA como fuente de recursos naturales para alimentos

1.3.1. Miel

La miel se define en el artículo 782 - (Res 2256, 16.12.85), Capítulo X del Código Alimentario Argentino: "Con la denominación de Miel o Miel de Abeja, se entiende el producto dulce elaborado por las abejas obreras a partir del néctar de las flores o de exudaciones de otras partes vivas de las plantas o presentes en ellas, que dichas abejas recogen, transforman y combinan con sustancias específicas propias, almacenándolo en panales, donde madura hasta completar su formación". Su composición depende del tipo de plantas visitadas por las abejas y de las condiciones ambientales. La fuente principal de la que se origina la miel es el néctar de las flores, que consiste en una solución de agua y azúcares, con pequeñas cantidades de otras sustancias, como aminoácidos, minerales, vitaminas, ácidos orgánicos, enzimas, aceites esenciales, etc.

La fuerte capacidad endulzante de la miel es debida a la presencia de los monosacáridos fructosa y glucosa como principales componentes (60 - 85 %) y contiene además compuestos fenólicos, minerales, proteínas, aminoácidos libres, enzimas y vitaminas como compuestos minoritarios. También puede contener pigmentos, cera y granos de polen.

Argentina es uno de los países líderes mundiales tanto en producción (4° productor mundial) como en exportación (3° exportador mundial) de miel de alta calidad, presentando características fisicoquímicas y texturales distintivas según la fitogeografía de cada región del país (Silvano y col., 2014, Maldonado y col., 2018). Según datos relevados en 2023, existen más de 19.000 apicultores inscriptos en todo el territorio argentino, con un notorio impacto en el desarrollo de las economías regionales que se caracterizan por la gran calidad y variedad de mieles, que conforman la identidad propia de cada región donde se producen. La cadena apícola sostiene económicamente a casi 100 mil familias, entre productores y otros actores vinculados a la comercialización de estos productos e insumos, y representa una de las principales actividades para la agricultura familiar y las economías regionales. La región NEA, formada por las provincias de Chaco, Corrientes, Formosa y Misiones presenta una gran diversidad biogeográfica, con importantes ecosistemas. La región oeste de Formosa y el denominado Impenetrable en la provincia del Chaco, cuentan con características naturales con una importante vegetación de montes nativos, ricos en especies como el chañar, garabato, algarrobo, mistol, guarapita y quebracho colorado. En esas regiones los apiarios se ubican a las orillas de ríos y cursos de agua, en una zona con actividad agrícola casi nula, que la

convierte en un entorno idóneo para la producción de miel convencional y orgánica. En el Impenetrable hay ocho especies de abejas. La más conocida es la abeja amarilla, que es una especie extranjera. La comunidad Chi'ishe produce miel con la abeja extranjera y extrae del monte otras siete mieles nativas propias de abejas que viven allí, como las meliponas (con y sin agujón). Las comunidades cuentan con seis apiarios con 30 ó 50 cajones de abejas diferentes en 300 kilómetros a la redonda, en las localidades de Miraflores, El Espinillo y Castelli (Figura 1.1).



Figura 1.1. Colmenas y extracción de la miel en el monte Impenetrable Chaqueño.

Fuente: Ministerio de la Producción y el Desarrollo Económico Sostenible.

En Chaco se producen 1.200 toneladas de miel por año y el 40 por ciento tiene certificación orgánica. Según datos del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), en el país se certificaron oficialmente 28.127 colmenas orgánicas, ubicadas mayoritariamente en Chaco (10.598), San Luis (3.020) y Santiago del

Estero (2.265). Esto posiciona a la provincia al frente de la producción y comercialización de miel orgánica en Argentina. La producción de miel se da cuando suceden los procesos de floración: en abril, cuando florece el quebracho colorado y en agosto, cuando empieza la primavera y florece el chañar. Es en esos períodos, cada temporada, cuando los pueblos originarios de la región, como la comunidad Qom, llegan a producir entre 4.000 y 6.000 kilos de miel.

Nuestro país tiene un total de 1.209 salas de extracción de miel habilitadas por el SENASA y una producción que alcanza en promedio las 75.000 toneladas anuales a nivel nacional, de las cuales se destina más del 90 % al mercado de exportación. En 2022, Argentina exportó miel por 247 millones de dólares, mientras que sólo en el primer semestre de 2023, las ventas externas sumaron 95,3 millones de dólares. En 2023 se creó el Programa de Fortalecimiento Productivo para la Cadena Apícola destinado a mejorar las condiciones productivas y comerciales de los productores apícolas de todo el país. El Programa pretende, entre otros objetivos, impulsar la mejora de la calidad y la diferenciación a través de herramientas que abarcan la miel orgánica, sello alimentos argentinos, indicaciones geográficas y denominación de origen, buenas prácticas apícolas, sistema de trazabilidad apícola, entre otras.

1.3.2. Almidón de mandioca

El almidón de mandioca, también conocido como almidón de yuca o tapioca, se ha consolidado como un recurso agrícola estratégico en el noreste de Argentina, especialmente en provincias como Misiones, Corrientes y Formosa. Este producto derivado de la mandioca, un tubérculo cultivado extensamente en la región, ha ganado importancia económica y social debido a su versatilidad industrial y su contribución al sector agropecuario. Esta materia prima es apreciada por sus características reológicas y de cocción, ya que su temperatura de gelatinización es inferior a la de almidones de cereales como trigo o maíz. Esto representa una ventaja a nivel industrial, sumado a su baja tendencia a la retrogradación (Dini y col., 2014).

La producción de mandioca en Argentina ha mostrado un crecimiento significativo en los últimos años. Según datos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la superficie destinada al cultivo de mandioca en el noreste argentino ha aumentado constantemente, alcanzando más de 30.000 hectáreas en algunas temporadas. Esta

expansión se debe en gran medida a las condiciones climáticas favorables de la región, que proporcionan un entorno ideal para el desarrollo de este cultivo resistente y adaptable.

La mandioca no sólo es valorada por su capacidad de crecer en suelos menos fértiles y su tolerancia a condiciones climáticas adversas, sino también por su alto rendimiento de almidón, que constituye aproximadamente el 25 - 30% de la raíz fresca. Este almidón es extraído y procesado para una variedad de usos industriales, incluyendo la fabricación de alimentos, papel, textiles y biocombustibles. La industria de almidón de mandioca en el noreste argentino se ha convertido en un motor económico clave, generando empleo directo e indirecto en las comunidades rurales y contribuyendo significativamente al producto bruto interno (PBI) regional.

La cadena de valor de la mandioca en Argentina no sólo involucra a los agricultores, sino también a empresas procesadoras y exportadoras. Algunas empresas locales establecieron plantas de procesamiento en la región para transformar el almidón de mandioca en productos finales que son demandados tanto en el mercado interno como en el internacional. Esto proporciona oportunidades de mercado para los agricultores y fomenta la inversión en infraestructura y tecnología dentro del sector.

Además de su impacto económico, la mandioca desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria de las comunidades rurales del noreste argentino. Es una fuente importante de carbohidratos en la dieta local y proporciona ingresos estables para muchos pequeños productores agrícolas. La diversificación de cultivos con mandioca también ha demostrado ser beneficiosa para la resiliencia agrícola, ofreciendo una alternativa rentable a cultivos tradicionales como la soja y el maíz.

Sin embargo, el crecimiento continuo de la industria de la mandioca no está exento de desafíos. Los productores enfrentan obstáculos como la variabilidad climática, enfermedades de la planta y fluctuaciones en los precios internacionales del almidón. Para abordar estos desafíos, el gobierno y las instituciones locales han implementado programas de investigación agrícola y extensionismo para mejorar las prácticas de cultivo, promover variedades más resistentes y aumentar la eficiencia del procesamiento de almidón.

1.3.3. Frutas regionales

A fin de mostrar las posibilidades de aprovechamiento de frutas abundantes y disponibles libremente para la población de la región chaqueña, se seleccionaron: una

fruta pequeña (mora), una fruta grande muy perecedera (mamón) y una fruta cítrica (pomelo). Las tres frutas pueden utilizarse para incrementar el valor nutricional de snacks y golosinas debido a sus compuestos beneficiosos para la salud. En la bibliografía, existen numerosos trabajos de investigación sobre las características físicas y funcionales de estas tres frutas. Sin embargo, la concentración de compuestos bioactivos en las frutas varía con el estado de madurez, el lugar geográfico del cultivo, las diferentes variedades, el clima y las prácticas culturales (Eyduran y col., 2015). Cabe destacar que las frutas seleccionadas crecen libremente en las zonas rurales y no rurales, al alcance de la población, sin embargo, son poco aprovechadas para su consumo a pesar de ser atractivas tanto en color como en sabor. Por lo que es interesante el estudio de especies autóctonas de la región noreste de Argentina a fin de evaluar su potencial uso en alimentos de consumo masivo.

El Código Alimentario Argentino (CAA) define frutas en el Capítulo XI – Alimentos Vegetales en el Artículo 887 (Resolución Conjunta RESFC-2019-5-APN-SRYGS#MSYDS N°5/2019):

“Se entiende por Fruta destinada al consumo, el fruto maduro procedente de la fructificación de una planta sana. Fruta Fresca: Es la que, habiendo alcanzado su madurez fisiológica, de acuerdo al Art. 887 bis, presenta las características organolépticas adecuadas para su consumo al estado natural. Se hace extensiva esta denominación a las que reuniendo las condiciones citadas se han preservado en cámaras frigoríficas.”

Además, en el Artículo 887 bis (Resolución Conjunta SPReIN° 169/2013 y SAGyP N° 230/2013), el CAA especifica que:

“Se distinguen tres clases diferentes de madurez: Madurez fisiológica: Es el estado de desarrollo del fruto que le permite iniciar los procesos del programa genético conducente a la madurez organoléptica y lograr así los atributos de calidad aceptables para el consumo. Madurez organoléptica o de consumo: Es aquel estado de desarrollo en el cual un fruto tiene el color, la textura, el aroma y el sabor que lo vuelven deseable para su consumo, en la percepción promedio de los consumidores. Madurez comercial o de cosecha: Se sitúa entre los dos estados antes mencionados y se consigue cuando el fruto, habiendo alcanzado su madurez fisiológica, se puede separar de la planta madre y, según la especie, ya tener los atributos para su consumo, o continuar su evolución hasta adquirirlos.”

Las frutas que corresponden a la investigación de esta tesis se clasifican en el Artículo 888 (Resolución Conjunta SCS y SABYDRN° 31/2021) como frutas frescas comestibles, agrupadas en tablas según el tipo de fruta:

- En frutas cítricas, pomelo: fruto de *Citrus paradisi* Macfad.
- En bayas y otras frutas pequeñas, mora (arbórea): fruto de *Morus alba* L. y *M. nigra* L.
- En otras, mamón o papaya: fruto de *Carica papaya* L.

A continuación, se describen las características de las frutas estudiadas:

1.3.3.1. Mora

Las moras son frutas o bayas que proceden de especies vegetales completamente diferentes, pero poseen un aspecto similar y características comunes. Las distintas moras pueden ser confundidas e incluso obviadas, debido a la similitud de sus frutos (Tallini y col., 2015). Al usar la palabra mora, puede hacerse referencia, a dos tipos de bayas procedentes de dos géneros de vegetales distintos con rasgos fenotípicos muy dispares entre sí, el género *Morus* (*Moraceae*) y el género *Rubus* (*Rosaceae*). Ambos géneros dan moras, pero unas vienen de árboles comúnmente llamados moreras o morales (género *Morus*) (Figura 1.2) y las otras provienen de unas plantas sarmentosas y espinosas comúnmente llamadas zarzas y frambuesas (género *Rubus*). Dentro de ambos géneros hay un importante número de distintas especies (Koca y Karedeniz, 2009, Zia-Ul-Haq y col., 2014).

Los frutos de *Rubus* y *Morus* han sido ampliamente estudiados en todo el mundo debido a sus efectos beneficiosos sobre la salud. El género *Rubus*, se distribuye ampliamente en todo el mundo, tanto como especies silvestres o cultivadas (Deighton y col., 2000) y el género *Morus* se encuentra desde regiones templadas hasta regiones subtropicales del planeta (Gundogdu y col., 2011, Tallini y col., 2015).

Las bayas (frutas sarmentosas), comprenden una variada gama de pequeñas frutas carnosas comestibles que se consumen comúnmente en toda Europa y Norteamérica no solo en formas frescas y congeladas sino también como productos procesados. Las bayas principales incluyen el género *Rubus* (mora, frambuesa roja y negra, zarza ártica y marionberry), género *Ribes* (grosellas rojas y negras) y los géneros *Vaccinium* (arándano, arándano azul y arándano rojo) y otras bayas importantes como fresa (*Fragaria*

ananassa), saúco (*Sambucus* spp.) y chokecherry (*Aroniamelano carpa*) (Seeram y col., 2008). Desde el punto de vista fitoquímico, una característica compartida de la mayoría de estas bayas es su alto contenido de sustancias fenólicas (Choi y col., 2014).

La morera se encuentra en el este, oeste y sudeste de Asia, sur de Europa, Sur de América del Norte, Noroeste de América del Sur y algunas zonas de África (Watson y Dallwitz, 2007). Hay 24 especies de *Morus* y una subespecie, con al menos 100 variedades conocidas (Ercisli y Orhan, 2007). Las especies más comúnmente conocidas en el género *Morus* son la morera blanca (*Morus alba* L.), morera negra (*Morus nigra* L.) y morera roja (*Morus rubra* L.) (Gundogdu y col., 2011).



Figura 1.2. Árbol de morera y frutos de *Morus nigra* L. recolectados en Presidencia Roque Saénz Peña (Chaco).

- *Morus alba* L. Moral o morera blanca. La morera blanca ha sido cultivada tradicionalmente por sus hojas como alimento para gusanos de seda (*Bombyx mori* L.) y forraje animal y también como árboles ornamentales (Vijayan, 2010, Sánchez-Salcedo y col., 2015).
- *Morus nigra* L. Moral o morera negra. Es ácida, dulce, grande. Es algo más grande que la zarzamora y sobre todo más alargada. Las moras negras han ganado un

mayor reconocimiento en la industria alimentaria debido a su alto valor nutricional (Gerasopoulos y Stavroulakis, 1997). Esta fruta contiene una alta concentración de valiosos agentes bioactivos, como los compuestos fenólicos, que tienen beneficios potenciales para la salud (Mahmood y col., 2012). Además, la morera negra contiene poderosos antioxidantes y una serie de compuestos presentes en estas frutas, como los compuestos fenólicos y antocianinas, que proporcionan propiedades anticancerígenas y antiinflamatorias (Kutlu y col., 2011, Espada Bellido y col., 2017).

- *Morus rubra* L. Moral o morera roja es una especie de mora nativa de la parte este de Norteamérica. La fruta es un conglomerado compuesto de varias pequeñas drupas, similar en apariencia a la mora negra, de 2 a 3 cm de longitud, es de color rojo madurando a púrpura oscuro, comestible y muy dulce.

1.3.3.2. Pomelo

El pomelo (*Citrus paradisi* Macf.) pertenece al género *Citrus*, un taxón de plantas con flores perteneciente a la familia *Rutaceae*. Otros miembros del género incluyen naranjas, limones, limas, cidras y mandarinas. Se cree que el pomelo surgió del shaddock (*Citrus grandis*) o como un híbrido entre el pomelo y la naranja dulce. Es popular en el mundo debido a su sabor y valor nutricional que pueden promover buena salud. Han sido aislados varios compuestos bioactivos del pomelo, particularmente flavonoides (flavanonas, flavonas, flavonoles y antocianinas). La abundancia de estos compuestos depende de la variedad, la ubicación geográfica, el momento de la cosecha y el método de procesamiento (Razavi y Hosseinzadeh, 2019).

El fruto del pomelo es un hesperidium, es grande y redondo, de unos 10 cm de diámetro. Posee una cáscara de color amarilla, carnosa y con una serie de glándulas que exudan aceites aromáticos. En su interior posee, aproximadamente 14 gajos (o carpelos) separados unos de otros por una membrana, es una pulpa muy jugosa, de sabor dulce o amargo, según la variedad de la que se trate. También el color de la pulpa es variado. En el interior de los gajos se encuentran las semillas que son pequeñas y blancas y su cantidad puede variar según las variedades. Existen muchas variedades de pomelo determinables por el color, que es debido a la pigmentación de la fruta con respecto tanto a su estado de madurez como a su inclinación genética.

El pomelo, como fruta perteneciente a la familia de los cítricos, presenta diferentes características que pueden variar según la constitución filogenética de cada especie de arbusto. En este sentido se habla principalmente del color y la textura del pomelo. Esto implica frutas de color amarillo, rojo e incluso blanco. El color es la principal característica observable en la constitución del pomelo, sin embargo, la composición nutricional es diferente en cada variante de esta fruta. Todas ellas presentan el característico sabor amargo, el cual varía en intensidad dependiendo del tipo de pomelo. Todos los pomelos son híbridos entre la naranja dulce y alguna otra variedad de cítrico.

Como pomelo blanco o amarillo se conoce a la variedad de pomelo cuya piel y pulpa presenta un tono amarillo pálido (Figura 1.3), siendo esta variedad la utilizada en la presente investigación. El pomelo blanco, es un híbrido procedente de la naranja dulce (*Citrus sinensis*) y la pampelmusa (*Citrus maximus*) o pomelo chino. Comparado con la pampelmusa, un pomelo blanco es de menor tamaño, de sabor más agrio debido a la naringina (flavonoide) y su piel es más fina. Por el contrario, si se lo compara con la naranja, el pomelo blanco es de mayor tamaño, con un sabor más amargo y con menos cantidad de piel.



Figura 1.3. Árbol y fruto de pomelo *Citrus paradisi* Macf. tipo criollo de la zona de Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco).

Dentro del tipo de pomelo blanco se pueden distinguir las variedades Duncan, Marsh y Oro Blanco:

- Pomelo blanco Duncan: Sus niveles de azúcar son muy elevados. Su pulpa es jugosa y se utiliza sobre todo para jugo. Es la variedad más consumida en Estados Unidos, donde existe una gran tradición de incorporarlo a los desayunos. Su fruto es grande y achatado en los polos.
- Pomelo blanco Marsh: Es algo más pequeño que el pomelo blanco Duncan y posee gran cantidad de jugo, bastante dulce. Al inicio de la temporada de cosecha su sabor es más ácido. Esta variedad es la más consumida en todo el mundo y se utiliza en la industria para la elaboración de jugos. Su fruto no contiene semillas y su peso por pieza ronda los 250 g.
- Pomelo oro Blanco: Es blanco y muy dulce, apto para comer o usar en ensaladas.

Las variedades de pomelos rosas, o también llamados rojos, deben su pigmentación a su contenido de antocianinas y licopeno (carotenoide). El pomelo rosa es de las variedades más dulces que existen de pomelos y mezcla los sabores amargo, ácido y dulce. Por otro lado, el tipo de pomelo denominado verde tiene la corteza de color verde manzana, y aporta mucha fibra, además de poseer todas las cualidades y beneficios del pomelo. Lo más significativo del pomelo verde es su forma de comercialización, ya que se vende principalmente cortado en tiras y deshidratado, como fruto seco.

La producción argentina de pomelo es más de 130.000 toneladas anuales, según datos estadísticos de la Federación Argentina del Citrus (Federcitrus, 2015). De esa cifra sólo se exportan alrededor de 460 toneladas, muy lejos del pico alcanzado en 2008, con más de 30.000 toneladas. Los dos destinos a los que la Argentina vende pomelos son Paraguay, en su mayoría, y Uruguay. Las principales provincias productoras son Salta (47.000 toneladas), Corrientes (27.000 toneladas anuales), Formosa (19.000 toneladas) y Jujuy (14.000 toneladas). En Chaco la producción de pomelo se desarrolla en pequeñas zonas, principalmente en la Localidad de San Martín donde existe un clima propicio para plantaciones. La industria acapara 61.000 toneladas, mientras que el consumo interno en fresco se lleva 42.000 toneladas aproximadamente. El consumo predominante del pomelo es en fresco, ya sea en el mercado interno o externo. Además, parte de la cosecha (alrededor del 13 % a nivel nacional) es derivada a la industria. Existen plantas procesadoras de cítricos en Salta, Jujuy, Tucumán y Formosa. En el mercado interno, las modalidades de comercialización son muy variadas. Todas las empacadoras grandes realizan operaciones de venta directa a supermercados. Otra alternativa de venta rápida de grandes volúmenes de fruta es la comercialización a través de subastas en el Mercado Central de Buenos Aires (MCBA).

1.3.3.3. Mamón

El fruto de mamón (*Carica papaya* L) puede ser cilíndrico, alargado, en forma de pera o de forma globular, oval o redonda (Figura 1.4). La forma depende de la variedad y del tipo de flor del cual se han formado. El tamaño de la fruta puede variar de 10 a 50 cm de largo, 5 a 20 cm de espesor y 0,150 a 3 Kg o más en peso. Es nativo de América Central, donde las semillas que permanecen viables durante mucho tiempo en estado seco se transportan a diferentes partes del mundo. *C. papaya* pertenece a la familia Caricaceae y se cultiva en la mayoría de los países tropicales del mundo (OCDE, 2005). En Argentina

y Paraguay este fruto es conocido como mamón, si bien en otros países se lo denomina papaya (Reino Unido, México, Centroamérica, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, El Salvador) o lechosa (Venezuela y República Dominicana).



Figura 1.4. Árbol y frutos de *Carica papaya* L. tipo criollo de la zona de Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco).

El fruto de papaya (Figura 1.4) está formado por tres partes: el exocarpio o cáscara, el mesocarpio o pulpa y el endocarpio que contiene las semillas y mucílago. La fruta madura es la más consumida. Sin embargo, la fruta inmadura es popular porque produce grandes cantidades de látex, que es rico en enzimas y se utilizan en una variedad de aplicaciones: industriales, nutricionales y terapéuticas (Olubode col., 2023). La pulpa de la fruta inmadura es de color blanca, mientras que en la fruta madura varía de amarillo a rojizo, según la variedad. La cavidad central, que puede ser redonda o en forma de estrella, presenta numerosas semillas.

Las variedades o cultivares de papaya se dividen en dos grandes grupos: uno de frutas grandes, mencionado por varios autores con el nombre de "Formosa" y otro de frutas pequeñas, conocido con el nombre "Solo". Este último, "Solo" hace referencia al tamaño de la fruta que resulta adecuado para una única porción, incluye cultivares que producen frutas deseables para la exportación, con pulpa de color amarillo-rojizo, tamaño pequeño, de forma de pera u oval y de peso comprendido entre 100 y 650 g. Las frutas del grupo "Formosa", de forma oblonga, tienen la pulpa de color rojizo y cada una pesa entre 1 - 3 Kg, este grupo está compuesto por híbridos comerciales (de Oliveira y col., 2012).

La producción mundial de *C. papaya* en 2014 fue de aproximadamente 12,7 millones de toneladas, lo que representa un aumento de aproximadamente el 32 % sobre la producción mundial total en 2004. En Asia se produce el 42 % del total mundial, 12 % en Sudamérica, 6 % en Centroamérica, 8 % en África y 32 % en el resto del mundo (FAOSTAT, 2016).

En nuestro país, el mamón se cultiva en las provincias de Misiones, Corrientes (San Cosme, Empedrado), Formosa (El Colorado), Chaco, Jujuy y Salta. En la provincia de Chaco no existen estudios sistemáticos sobre el área cultivada y la localización de las mismas, no obstante, se han registrado plantaciones de pequeños productores en varias zonas. La más importante es en Isla del Cerrito, departamento Bermejo en el extremo este del Chaco, donde existen unas 100 hectáreas cultivadas. La zona más propicia para la plantación de mamón es aquella con clima cálido y suficiente humedad, en la región centro del Chaco surgen dos problemas principales, las heladas que producen quemaduras por frío y la suba de las napas de agua perjudicando a la planta por salinización. Al contrario, en verano los problemas se dan por el calor seco y altas temperaturas que producen quemaduras en los frutos y tallos por el sol. En la ciudad de Presidencia Roque Sáenz Peña no existen plantaciones del tipo industrial, en este sector de la provincia se encuentran plantas en zonas alejadas destinadas a consumo de sus propietarios. De acuerdo a datos relevados en la Estación Experimental Agropecuaria, INTA Sáenz Peña, las variedades de *C. papaya* que se encuentran en esta región son del tipo criollo, no identificadas, si bien constituirían un híbrido con la variedad Maradol. Esta variedad, perteneciente al grupo Formosa, es originaria de Cuba y es ampliamente cultivada en México y América del Sur (de Oliveira y col., 2012).

Existen numerosos productos derivados de la papaya, en Argentina la fruta se utiliza principalmente en la elaboración de fruta escurrida o abrillantada, fruta en almíbar y mermeladas. Estos productos se elaboran, en general, partiendo del fruto inmaduro

(Lovera y col., 2014). Las decocciones de frutas inmaduras y de hojas también se usan ampliamente en preparativos de la medicina folclórica.

1.3.4. Compuestos bioactivos de las frutas

La Tabla 1.1 muestra los compuestos bioactivos más relevantes de las frutas estudiadas en esta tesis, a través de una compilación bibliográfica.

Las moras, son ricas en compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, flavonoles y antocianinas. Entre los ácidos fenólicos presentes se encuentran los ácidos clorogénico, gálico, siríngico y cafeico, además de flavonoles como la rutina y la quercetina-3-glucósido. Las antocianinas, como la cianidina-3-O-glucósido, son pigmentos naturales pertenecientes a la familia de los flavonoides, conocidos por conferir a las moras su distintivo color rojo, morado o azul. Estos compuestos son solubles en agua y se localizan principalmente en la piel del fruto, donde actúan como poderosos antioxidantes. La estructura química de las antocianinas incluye un núcleo de 2-fenilbenzopirilio que puede estar conjugado con diferentes azúcares y ácidos orgánicos, lo que influye en sus propiedades biológicas y en su estabilidad. El estudio de las antocianinas en las moras no solo revela su importancia como compuestos naturales bioactivos, sino también su potencial aplicabilidad en la industria alimentaria y farmacéutica (Kamiloglu y col., 2013, Machado y col., 2015). Además, las semillas de moras contienen tocoferoles y derivados del ácido elágico, conocidos por inhibir la peroxidación lipídica y exhibir actividad antimicrobiana (Gómez-Mejía y col., 2021).

En cuanto a los pomelos, se destacan por su alto contenido de vitamina C (ácido ascórbico), fundamental como antioxidante natural que previene la oxidación en el cuerpo humano. Además, contienen ácidos cítrico, málico y tartárico que contribuyen al sabor y la calidad del jugo. Los flavonoides como la naringina y neohesperidina también están presentes, ofreciendo propiedades antioxidantes y otros beneficios biológicos como efectos antiinflamatorios y antitumorales (Ferraz y col., 2020, Al-Khayri y col., 2022). Los compuestos amargos como los limonoides y las furanocumarinas también son característicos del pomelo.

En el caso del mamón, se destaca por ser una excelente fuente de β -carotenos, licopeno, y vitaminas A, B y C. Estos nutrientes poseen potentes propiedades antioxidantes que protegen contra el daño de los radicales libres y contribuyen a la salud cardiovascular (Vij y Yash, 2015). El β -caroteno, en particular, actúa como precursor de

la vitamina A y es esencial para múltiples funciones fisiológicas, incluyendo la síntesis de corticoides y la participación en la biosíntesis y mantenimiento de tejidos como huesos y dientes (Marui y col., 1997, Sousa y col., 2007).

Tabla 1.1. Compuestos bioactivos principales hallados en mora, pomelo y mamón.

Fruta	Principales compuestos bioactivos			
	Polifenoles	Flavonoides	Vitaminas	Minerales más abundantes
Mora	Acido clorogénico	Rutina	A, K y E	Fe, K, Mn,
	Ácido gálico	Quercetina 3 glucósido	B2 (riboflavina)	Mg, P, Na,
	Ácido siríngico	Quercetina 3 malonilglucósido	B3 (niacina)	Zn, N, Ca,
	Ácido neoclorogénico	Pelargonidin 3-O-glucósido		Cu, S. B. Ni,
	Acido cafeico	Pelargonidin 3-O-rutinósido		Li, Ti, Pb,
	Elagitaninos	Quercetina 3-O-rutinósido		Mo, Al
	Ácido cumárico	Quercetina 3-O-glucósido		
	Ácido ferúlico	Kaempferol 3-O-rutinósido		
	Ácido vainillico			
	<u>Antocianinas:</u>			
	Cianidina-3-O-glucósido			
	Cianidina-3-O-rutinósido			
	Cianidina-3-O- (6 "malonil-glucósido)			
	Cianidina-3-O- (6" -dioxalil-glucósido)			
	Protoantocianidinas			
	Pelargonidina 3-O-glucósido			
	Pelargonidina 3-O-rutinósido			
Pomelo	Acido clorogénico	Naringina	Ácido ascórbico	Fe, K, Mn,
	Ácido gálico	Quercetina	Ácido fólico	Mg, P, Na,
	Acido cafeico	Kaempferol	B5	Zn, N, Ca,
	Ácido p-cumárico	Rutina	A	Cu, Se
	Ácido trans-ferúlico	Tangeretina		
		Nariturina		
		Rhoifolina		
		Vitexina		
		Diosmina		
		Neohesperidina		
		Hesperidina		
		Porcirina		
		Neoeriocitrina		
	Nobiletina			
	Tangeretina			
Mamón	Acido clorogénico	Quercetina	A	Fe, K, Mn,
	Acido cafeico	Kaempferol	C	Mg, P, Na,
	Ácido p-cumárico		Complejo B	Zn, N, Ca,
	5,7-dimetoxicoumarínico			Cu, B
	Ácido cinámico			
Ácido protocatéquico				

(Gómez-Mejía y col., 2019, Saini y col., 2022, Sánchez-Salcedo y col., 2015, Kattil y col., 2024, Czech y col., 2020)

Cada una de estas frutas descritas ofrece una composición química única con diversos compuestos bioactivos que no solo influyen en su sabor y color, sino que también proporcionan beneficios significativos para la salud humana. Desde antioxidantes como las antocianinas en las moras hasta la vitamina C en los pomelos y los carotenoides en el

mamón, estas frutas son ejemplos de cómo la naturaleza proporciona una amplia gama de nutrientes esenciales y compuestos protectores que pueden ser aprovechados en la dieta humana para promover una mejor salud y bienestar.

Dependiendo del destino final, el procesamiento industrial de las frutas involucra su separación en pulpa y jugo, quedando materiales de descarte que pueden ser aprovechados en el desarrollo de alimentos funcionales. En el caso del pomelo, estos materiales son semillas, albedo y flavedo o cáscara, al igual que en el mamón, semillas y cáscara, mientras que en la mora pueden separarse sus semillas. Estos residuos del procesamiento de las frutas, al igual que la pulpa y el jugo, también presentan elevado contenido de compuestos bioactivos como ácidos grasos, fitoesteroles, polifenoles, flavonoides, isotiocianatos y fibra dietaria (Gómez-Mejía y col., 2019, Nieto Calvache y col., 2016, Parniakov y col., 2015, Zayed y col., 2021), que pueden extraerse y utilizarse en la industria de alimentos. En particular, la cáscara se utiliza para extraer pectinas, si bien la mayor parte se dispone como residuo sólido o se destina a alimentación animal. Otro posible aprovechamiento es la extracción de los pigmentos de la cáscara como las antocianinas y carotenoides, los que además poseen propiedades antioxidantes. En el caso de las semillas de pomelo, Bof y col. (2021) incorporaron sus extractos en películas a base de almidón de maíz y quitosano como envase activo de arándanos. Aloui y col. (2014) revalorizaron dichas semillas al incluirlas como extracto en recubrimientos a base de alginato de sodio para conservar la calidad de uvas de mesa. Por otro lado, García-Castello y col. (2015) tomaron el residuo completo del procesamiento del pomelo (semillas, albedo y flavedo) y estudiaron la extracción por dos métodos, convencional y ultrasonido, para maximizar la obtención de compuestos flavonoides como la naringina y otros en menor contenido, como hesperidina y narirutina. Por lo tanto, los residuos del procesamiento de las frutas estudiadas son materiales promisorios para su uso en recubrimientos y películas debido al contenido de sus compuestos bioactivos.

1.3.5. Parámetros de calidad de las frutas

Las características sensoriales de estas frutas, como sabor y palatabilidad, dados principalmente por la relación entre azúcar y ácido, como así también el color, son percibidas por los consumidores como atributos de calidad y tendrán impacto en las matrices donde se incorporen las frutas. La acumulación de azúcares solubles y la disminución en el contenido de ácidos, al igual que la variación en los pigmentos, son

cambios típicos que ocurren durante la maduración de las frutas. Dichos cambios tienen lugar en simultáneo con modificaciones en los compuestos bioactivos, como las antocianinas en moras y los carotenoides en pomelos y mamones, sumados a compuestos comunes a todas ellas como flavonoides, polifenoles y vitaminas como el ácido ascórbico. Por ejemplo, en el caso de los cítricos, Lado y col. (2018) observaron el crecimiento y desarrollo del fruto en tres etapas: primero, una fase de división celular de crecimiento lento; una segunda etapa de agrandamiento celular de mayor aumento de tamaño y peso por crecimiento de sacos de jugo a partir de la pulpa, y una tercera fase durante la cual se reduce el crecimiento del fruto y tienen lugar la mayoría de las transformaciones características de la maduración del fruto, como cambios de color, acumulación de azúcares, degradación ácida, etc. Los cambios que ocurren, y que definen los índices de madurez (IM) de las frutas, son regulados por una compleja interacción de señales hormonales y nutricionales endógenas y afectados por factores ambientales y prácticas agronómicas.

Las frutas con un valor IM superior a un determinado umbral (que depende de la especie y la variedad) se consideran maduras y con un sabor que las hace aptas para su comercialización. Cabe destacar que debe diferenciarse la madurez fisiológica de la madurez comercial (CAA, Capítulo XI, artículo 887 bis). La primera es aquella que se alcanza luego que se ha completado el desarrollo mientras que la segunda se refiere al estado en el cual es requerido por el mercado y pueden o no coincidir. En los frutos no climatéricos como pomelo y mora, la madurez comercial solamente se alcanza en la planta (Camelo, 2003). Estos frutos una vez recolectados no sufren cambios apreciables que contribuyan a su madurez y mantienen niveles bajos de respiración y producción de etileno, la hormona necesaria para que el proceso de maduración continúe. En cambio, en los frutos climatéricos, como el mamón, el aumento del IM ocurre cuando alcanzan la tasa respiratoria máxima y desdoblan rápidamente sus reservas (ácidos orgánicos) como respuesta al incremento de su metabolismo. Asimismo, son capaces de generar etileno aún separados de la planta, por lo que deben recolectarse parcialmente maduros, pero siempre luego de alcanzar la madurez fisiológica (Yahia y col., 2011). Además de la degradación y síntesis de compuestos bioactivos, un signo evidente de la maduración del fruto es la pérdida de rigidez y firmeza de la pulpa que ocurre como consecuencia de cambios en los constituyentes de la pared celular que mantienen las células unidas entre sí (pectinas). Por lo tanto, particularmente en frutas como la mora o el mamón, debe

considerarse la cosecha temprana para preservar sus propiedades de textura, ya que la fruta madura es más propensa a sufrir daños durante el transporte, almacenamiento y procesamiento industrial. Aquellas frutas con defectos en su textura ya no serían aptas como fruta fresca para los consumidores, pero sí para la elaboración de matrices a partir de sus pulpas y jugos, como se pretende en este trabajo de tesis, dando una alternativa de uso a frutas que irían a descarte.

Con respecto al proceso de conservación, la congelación es uno de los métodos más eficientes para mantener las características de calidad de los alimentos, dado que puede retrasar su deterioro y mantenerlos seguros al evitar la proliferación de microorganismos y disminuir la actividad química. Además, conserva mejor el sabor, el color y el valor nutricional de los alimentos respecto a los procesos de enlatado o secado. Sin embargo, especialmente en el caso de las frutas, el proceso de congelación suele provocar cambios en la textura que disminuyen su aceptación sensorial. No obstante, la congelación rápida conserva mejor la estructura de los alimentos ya que induce la producción de un gran número de pequeños cristales de hielo, lo que conlleva una menor rotura de las paredes celulares y, en consecuencia, un menor deterioro de la textura.

1.3.6. Vehiculización y protección de los compuestos bioactivos de las frutas

Las condiciones de procesamiento de los alimentos a base de frutas requieren controlar las variables que pueden incidir en la pérdida de los compuestos bioactivos. Por lo tanto, deben tenerse en cuenta factores como la temperatura, la acidez del medio, la concentración de ingredientes, la interacción con otros compuestos de la formulación, acción de enzimas (Avallone y col., 2000, Al-Juhaimi y col., 2018, Herrera y col., 2019), entre otros. Además, las condiciones de almacenamiento de los productos finales pueden alterar la concentración y actividad biológica de dichos compuestos, muchos de los cuales son responsables de las esencias y colores naturales de las frutas. Surge así la necesidad de preservar estos compuestos a través de sistemas que sean compatibles con el alimento, como las matrices a base de hidrocoloides que permiten vehiculizar y proteger los compuestos o ingredientes activos y liberarlos en forma controlada en el organismo a través del tiempo (Deladino y col., 2007, 2013, Fuertes y Navarro, 2011, Yemenicioğlu y col., 2020). Este proceso se logra a través de técnicas de encapsulación como la gelificación iónica, la liofilización o el secado por atomización, entre otras, donde un material o compuesto activo es atrapado en una matriz polimérica que lo protege del

ambiente. A su vez, esa matriz puede ser formulada con compuestos como los antioxidantes provenientes de fuentes naturales que protejan dicho material y eviten su degradación oxidativa (Deladino y col., 2007, 2008).

Las matrices a base de hidrocoloides pueden adoptar diferentes formatos (cápsulas, geles, recubrimientos), según se requiera en el alimento formulado. Los alginatos y las pectinas de bajo metoxilo han sido utilizados como material encapsulante por su propiedad de gelificar en presencia de iones calcio (Deladino y col., 2007, 2008, Aguirre Calvo y col., 2019) y también como matrices soporte de compuestos activos en barras de cereal fortificadas (Fuertes y Navarro, 2011). Por otro lado, se han empleado hidrogeles formados por combinación de gomas tara y xántica para encapsular jugos liofilizados de cerezas (Rutz y col., 2013). En el caso de los recubrimientos comestibles, se han utilizado alginato y otros biopolímeros (gelatina, quitosano, derivados de celulosa, entre otros), para incrementar la vida útil de frutas y vegetales al retardar la respiración y otros procesos fisiológicos que los deterioran. Además, los recubrimientos comestibles pueden actuar como medio de transporte de compuestos antioxidantes, nutracéuticos, saborizantes y antimicrobianos, retardando así también el crecimiento microbiano (Senturk Parreidt y col., 2018, Yemenicioğlu y col., 2020). Recientemente, se han propuesto extractos de hojas y de semillas de plantas para incluirlos en recubrimientos debido principalmente a su alto contenido de compuestos antioxidantes y antimicrobianos (Ncama y col., 2018).

El uso de hidrocoloides o combinación de ellos (Belščak-Cvitanović y col., 2015, Vasile y col., 2016) en una matriz de alimentos no sólo modifica la viscosidad o textura del producto final, sino que también puede incidir en la percepción de su sabor o aroma, como en el caso de pectinas, carragenanos y almidones (Lubbers y Guichard, 2003, Fuertes y Navarro, 2011, Hu y col., 2021). El tipo, concentración y combinación de hidrocoloides, junto a la evaluación sensorial del alimento determinará la textura, sabor y otros atributos que satisfagan las expectativas del consumidor.

Por otro lado, también es posible mantener o mejorar la calidad del producto final a través de su envase que, además de ser biodegradable como lo exigen las últimas tendencias, sea capaz de actuar como activo e inteligente. Este concepto se basa en las propiedades intrínsecas de los polímeros usados como materiales de envase, ya sea solos o con la introducción (inclusión, atrapamiento) de sustancias dentro de la matriz polimérica. En el caso de frutas como las moras, con alto contenido de antocianinas, es

posible generar una película biodegradable (incluyendo su pulpa en una matriz de almidón), y que a su vez sea inteligente debido al cambio de color que ocurre en dichos compuestos al variar la acidez del medio (Gutiérrez, 2018). Asimismo, matrices que contengan jugo de frutas como el pomelo podrían aportar el ácido cítrico que permite el entrecruzamiento de las cadenas de almidón, haciendo a este biopolímero más resistente a la humedad y mejorando así las propiedades mecánicas y de barrera del envase (Olsson y col., 2013). Por lo tanto, las matrices a base de hidrocoloides y frutas pueden ser diseñadas no sólo para ser incluidas en formulaciones de alimentos sino también de películas que constituyan potenciales envases activos e inteligentes.

Finalmente, la incorporación de miel a las matrices puede modificar su comportamiento de flujo e incrementar su perfil nutricional debido a la presencia de los monosacáridos fructosa y glucosa como principales componentes (60 - 85 %) y a compuestos fenólicos, minerales, proteínas, aminoácidos libres, enzimas y vitaminas como compuestos minoritarios. Además, en el caso de envases, resulta interesante el estudio de la miel como plastificante junto al glicerol en matrices formadoras de películas a base de almidón.

1.3.6.1. Películas de almidón

Debido a sus múltiples usos y ventajas, los materiales plásticos derivados de la industria petroquímica se han convertido en parte integrante de nuestra sociedad moderna. Sin embargo, la principal preocupación sobre el uso de plásticos es su impacto en el medio ambiente a todos los niveles del ecosistema. Por ello, abordar este problema requiere un planteamiento polifacético. Implica reducir el consumo de plástico, mejorar los sistemas de reciclaje y gestión de residuos, promover el desarrollo de alternativas sostenibles (por ejemplo, bioplásticos) y fomentar prácticas de fabricación responsables. La investigación sobre materiales alternativos sostenibles para el envasado de alimentos, como los bioplásticos, ha aumentado en los últimos años. Los bioplásticos pueden definirse como polímeros de base biológica y/o biodegradables (Moshood y col., 2022). El almidón, que se obtiene principalmente de cereales, raíces y tubérculos, cumple ambos criterios. Este biopolímero de bajo costo está compuesto por amilopectina y amilosa, siendo esta última la principal responsable de su capacidad para formar películas. Sin embargo, las propiedades mecánicas deficientes de las películas de almidón puro y la fuerte naturaleza hidrofílica del almidón, las hacen inadecuadas para algunas aplicaciones de envasado

(Gao y col., 2021). La mejora de las propiedades mecánicas de los materiales a base de almidón es un reto constante debido a su bajo rendimiento mecánico, especialmente la resistencia a la tracción (Ali y col., 2017).

El almidón termoplástico se obtiene cuando este polímero se mezcla con un plastificante como el glicerol para ganar flexibilidad y mejorar las propiedades mecánicas del almidón (Davoodi y col., 2017). Sin embargo, el glicerol aumenta la permeabilidad al vapor de agua y a los gases, lo que limita la idoneidad de las películas para el envasado de alimentos. Una estrategia para superar este problema es la adición de agentes químicos reticulantes para modificar la red polimérica (Gutiérrez y col., 2014). El ácido cítrico, entre otros, es ampliamente utilizado como reticulante debido a sus múltiples ventajas, como su bajo costo, no toxicidad y facilidad de manipulación. Por lo tanto, resulta interesante el uso de extractos frutales provenientes de especies como la mora y el pomelo que contienen este compuesto a fin de mejorar las propiedades de las películas. El uso de plastificantes naturales en films comestibles es importante desde el punto de vista de la seguridad ya que podrían reducir la potencial migración de químicos sintéticos desde el film al alimento.

El uso de glicerol como plastificante en películas a base de almidón ha sido ampliamente estudiado (Ben y col., 2022, Gao y col., 2021, Tarique y col., 2021) y particularmente en aquellas a base de almidón de mandioca (Alves y col., 2007, Bergo y col., 2010). En la búsqueda de nuevas sustancias que puedan actuar como plastificantes, la miel se encuentra en una posición ventajosa debido a sus propiedades fisicoquímicas y, en cierta medida, a su alto contenido en azúcares (Soininen y col., 2013, Osuna y col., 2022). La miel también contiene ácidos orgánicos como el acético, láctico, succínico, málico y cítrico (Rahman y col., 2023), que, a pesar de su baja concentración, podrían contribuir a la reticulación del almidón, generando películas más resistentes. La miel también tiene actividades antioxidantes y antibacterianas (Faúndez y col., 2023, Velásquez y col., 2022), que la convierte como una opción interesante a la hora de diseñar envases bioactivos para mejorar la calidad, seguridad y estabilidad de los alimentos. Además, el uso de plastificantes naturales como la miel minimizaría la utilización de otros plastificantes de origen sintético.

Teniendo en cuenta que al modificar la composición de las películas se altera su microestructura y propiedades físicas, la sustitución de glicerol por miel a diferentes concentraciones podría conducir a la obtención de películas con propiedades

diferenciadas. Otros autores (Velázquez y col., 2022, Osuna y col., 2022, Tumbarski y col., 2021) también utilizaron miel como ingrediente de diferentes matrices para películas. Por otro lado, Pająk y col. (2022) combinaron glicerol y productos apícolas como miel, polen y propóleos para obtener películas a base de almidón de papa. Sin embargo, aún no se ha explorado el uso de la miel como plastificante con glicerol en películas a base de almidón de mandioca, por lo que su estudio resulta interesante a fin de intentar mejorar principalmente las propiedades mecánicas y de permeabilidad de los films.

Cabe mencionar que la sustitución del glicerol por la miel en determinadas aplicaciones merece ser considerada debido a varios factores clave, a pesar del costo potencialmente más elevado de producción. En primer lugar, la miel posee propiedades antibacterianas y antioxidantes que pueden contribuir a la conservación del producto final, reduciendo así la necesidad de utilizar conservantes adicionales. Además, la imagen natural y saludable que se percibe de la miel coincide con las preferencias de los consumidores por ingredientes de etiquetado más limpio, lo que puede aumentar el atractivo y la comercialización del producto. Si bien es cierto que los costos de producción de la miel pueden ser superiores a los del glicerol, el valor añadido en términos de sabor, funcionalidad y percepción por parte del consumidor puede justificar esta sustitución, lo que conlleva a beneficios potenciales a largo plazo para la diferenciación del producto y el posicionamiento en el mercado.

1.3.6.2. Recubrimientos y películas con frutas

La producción de envases biodegradables para frutas ha atraído cada vez más atención en la investigación científica debido a las características ecológicas, no tóxicas y comestibles del envase. El desarrollo de envases alternativos contribuye tanto a minimizar los impactos ambientales provocados por el gran consumo de plásticos no biodegradables como a favorecer la reducción de las pérdidas/desperdicios poscosecha de fruta. Además, estas películas de frutas tienen el potencial de ser funcionales debido a la presencia de compuestos antioxidantes y antimicrobianos que pueden migrar a la matriz del alimento, actuando como aditivos naturales. El uso de puré de frutas para desarrollar películas biodegradables puede ser más sencillo y práctico que la elaboración de películas a partir de harina o extractos de frutas, reduciendo el tiempo, la energía y los recursos necesarios para preparar la solución filmogénica (Matheus y col., 2021).

Existen numerosos trabajos en la bibliografía sobre el uso de frutas como mora, pomelo y mamón para recubrirlas o envasarlas en sistemas activos (de Vasconcellos Santos Batista y col., 2020, Correa-Pacheco y col., 2023, Memete y col., 2022) y, aunque en menor cantidad de artículos, como ingredientes activos de formulaciones de recubrimientos y películas (Rodríguez y col., 2019, Kupervaser y col., 2023). Sin embargo, son aún menos las publicaciones que incluyen las frutas cosechadas en la región chaqueña o el noreste argentino (Ojeda y col., 2021). En esta tesis las frutas regionales se utilizaron con ambos propósitos, como ingrediente de la formulación de recubrimientos y como alimento para recubrir. Si bien los compuestos bioactivos de una fruta determinada son esencialmente los mismos, su contenido varía entre las especies de las diferentes regiones donde se cultivan y, por ende, el impacto que tendrán sobre las propiedades de los sistemas a formular será diferente. Los factores que inciden en las características funcionales de las frutas son múltiples y abarcan factores genéticos y ambientales, condiciones de cultivo, prácticas agronómicas, entre otros. Los compuestos bioactivos que se incorporan en las películas a través de las frutas son fenoles, flavonoides, antocianinas, carotenoides, vitamina C, proteínas, lípidos, entre otros. Las propiedades nutricionales y funcionales de dichos compuestos cobran relevancia en formulaciones de películas comestibles y estas características las distinguen de las películas poliméricas convencionales. Además, los compuestos antioxidantes de las frutas pueden tener efecto sinérgico con los antioxidantes aportados por la miel, como es el caso de las películas desarrolladas en esta tesis.

1.3.7. Aplicaciones de matrices frutales

El desarrollo de nuevos productos para la industria de alimentos comienza con la investigación básica que busca comprender los fundamentos y principios subyacentes de un fenómeno, lo que a menudo se lleva a cabo en entornos controlados y teóricos. El desafío de toda investigación de desarrollo de productos es lograr su aplicación exitosa en alimentos reales. Esto implica traducir conceptos abstractos en soluciones tangibles y viables que aborden necesidades específicas del mercado o de la sociedad. La investigación y desarrollo de nuevos productos alimenticios presenta diversos desafíos en un mundo donde la demanda de opciones más saludables, sostenibles y sensorialmente atractivas está en constante evolución. Uno de los principales retos radica en equilibrar la innovación con la seguridad alimentaria, asegurando que los nuevos productos cumplan

con los estándares de calidad y regulaciones establecidas. Además, la búsqueda de ingredientes naturales y sostenibles, junto con la optimización de procesos de producción, implica un desafío adicional para garantizar la viabilidad económica y ambiental de los productos. En última instancia, convertir la investigación básica en aplicaciones concretas no solo impulsa la innovación, sino que también contribuye al progreso científico y tecnológico.

En el presente trabajo se propuso la utilización de frutas regionales y miel para el desarrollo de tres productos potencialmente atractivos para la industria y el consumidor:

- Envase de producto cárnico
- Recubrimiento para frutas
- Snack a base de frutas recubiertas y cereales.

Al incorporar frutas autóctonas en la creación de productos alimenticios, se pueden ofrecer sabores distintivos que diferencian a estos alimentos en un mercado global cada vez más homogéneo. Además, el uso de frutas regionales reduce la necesidad de transporte y almacenamiento prolongado, disminuyendo la huella de carbono asociada a la cadena de suministro, y promueve, además, la economía de la región productora. Desde el punto de vista nutricional, la miel es un edulcorante natural que proporciona junto con las frutas antioxidantes, vitaminas y minerales esenciales, lo que mejora el perfil nutricional de los productos alimenticios. Económicamente, la demanda creciente de productos naturales y saludables impulsa el mercado de la miel, beneficiando a los apicultores y fomentando la economía local. Además, la miel tiene una mayor vida útil y puede ser un conservante natural, reduciendo los costos de producción y prolongando la frescura de los alimentos.

1.3.7.1. Películas activas en la preservación de productos cárnicos

Debido a su composición química, los alimentos sufren deterioro en sus características fisicoquímicas y microbiológicas durante el procesamiento y almacenamiento. En el caso de la carne y los productos cárnicos, existen tres mecanismos involucrados: el deterioro microbiano, la oxidación de lípidos y la autólisis enzimática. El crecimiento microbiano en la carne puede resultar en la degradación de componentes estructurales, disminución de la capacidad de retención de agua, malos olores y cambios de textura y apariencia (Iulietto y col., 2015). La oxidación de los lípidos depende de la composición de los

ácidos grasos, la concentración de vitamina E y los pro-oxidantes como el hierro libre en los músculos. Los productos de oxidación, como hidroperóxidos, aldehídos y cetonas, pueden causar pérdida de color y valor nutritivo debido a la degradación de lípidos, pigmentos, proteínas, carbohidratos y vitaminas. Por otro lado, la autólisis enzimática de carbohidratos, grasas y proteínas de los tejidos da como resultado el ablandamiento y la decoloración verdosa de la carne y puede conducir a la descomposición microbiana. Las enzimas proteolíticas son activas incluso a bajas temperaturas (5 °C), lo que conduce al crecimiento microbiano, la pérdida de la capacidad de retención de agua y la producción de aminas biogénicas (Sánchez-Ortega y col., 2014).

La incorporación de productos con alto contenido en compuestos bioactivos en la dieta de los animales o en la formulación de productos cárnicos son dos de las estrategias más utilizadas para el desarrollo de alimentos cárnicos más saludables (Nieto y col., 2021). En los últimos años se han investigado diferentes extractos o materiales de origen vegetal como aditivos para aumentar la vida útil de productos cárnicos: por ejemplo, pimienta negra, orégano, semillas de guaraná (Munekata y col., 2020), cáscara de frutos como la granada (Gullón y col., 2020) o pulpas de frutas como pitanga y tuna (Romero y col., 2021). Además, recientemente se han ensayado aceites esenciales de hierbas (como antioxidantes y antimicrobianos) y mucílagos de plantas para conservar la calidad y extender la vida útil de carnes. Sin embargo, en el caso de los aceites esenciales aún presentan algunas limitaciones, como baja hidrofobicidad, baja solubilidad, aroma picante y mal sabor que dificultan su aplicación en los productos cárnicos (Barzegar y col., 2020).

Otra estrategia tecnológica para preservar la carne es el uso de los componentes bioactivos presentes en fuentes naturales en el desarrollo de envases, recubrimientos y películas activos (Erna y col., 2022, Gallego y col., 2016, Ravishankar y col., 2012, Smaoui y col., 2022). Los compuestos antimicrobianos y antioxidantes de origen natural, provenientes de la miel o de frutas como en el caso de pulpas de pomelo, pueden incorporarse en una matriz polimérica y generar así un envase que no sólo reduzca el impacto ambiental, sino que también preserve la vida útil de la carne. En este caso, dichos compuestos pueden prevenir el crecimiento de microorganismos patógenos y de descomposición, retrasar la rancidez de la grasa de la carne, prevenir la decoloración e incluso mejorar la calidad nutricional del alimento envasado. Adicionalmente, el envase puede ayudar a reducir la pérdida de humedad durante el almacenamiento de carnes

frescas o congeladas, prevenir el goteo de jugo y disminuir la oxidación de la mioglobina de las carnes rojas. La eficacia de cada película o recubrimiento comestible para preservar un producto cárnico depende de la fuente de carne, el polímero utilizado y las propiedades de barrera de la película, el microorganismo objetivo y los compuestos antimicrobianos incorporados en las películas, como así también de las condiciones de almacenamiento, entre otros factores (Sánchez-Ortega y col., 2014, Song y col., 2021, Walayat y col., 2024).

1.3.7.2. Recubrimientos en fruta cortada

Una alternativa para incrementar la vida útil de las frutas es a través del proceso de deshidratación. El CAA en su Capítulo XI, Artículo 887 (Resolución Conjunta RESFC-2019-5-APN-SRYGS#MSYDS N°5/2019), define a la fruta desecada como “*la fruta fresca, sana, limpia, con un grado de madurez apropiada, entera o fraccionada, con o sin epicarpio, carozo o semillas, que ha sido sometida a desecación en condiciones ambientales naturales para privarlas de la mayor parte del agua que contienen.*”. En cambio, define a la fruta deshidratada como “*la que, reuniendo las características citadas precedentemente, se ha sometido principalmente a la acción del calor artificial por empleo de distintos procesos controlados, para privarlas de la mayor parte del agua que contienen.*”.

Una de las técnicas convencionales para lograr la deshidratación es el secado convectivo, en el cual el calor se transmite a través del aire por convección forzada hacia la superficie de la muestra donde el agua se evapora debido a las diferencias de presión de vapor. Al mismo tiempo, el agua líquida de la muestra se difunde hacia la superficie a través de gradientes de concentración. Durante el proceso de secado se produce una modificación estructural debida a los cambios en la porosidad del tejido de las frutas que se traduce en una contracción o reducción de tamaño (Márquez y De Michelis, 2011). Además, dependiendo de la temperatura y otras condiciones del proceso, el contenido de compuestos antioxidantes y otros compuestos nutricionales de las frutas pueden verse afectados (Demarchi y col., 2013). En cambio, en el proceso de secado por liofilización, las bajas temperaturas utilizadas aseguran una máxima retención de nutrientes (Franceschinis y col., 2014), conservando el aroma, sabor y color de la fruta original. Además, durante la liofilización se mantiene la estructura y la forma de la fruta con mínima reducción de volumen (Bhatta y col., 2020). Por otro lado, uno de los métodos

de secado innovadores es el multi-flash conductivo en el cual el producto se calienta a presión atmosférica hasta la temperatura deseada, y luego se aplica un pulso de vacío, lo que lleva a la evaporación flash y, en consecuencia, al enfriamiento de la muestra. Esta tecnología de secado permite producir frutas secas y crujientes con alta porosidad, bajo contenido de humedad y a_w en tiempos cortos de proceso (Link y col., 2018, Richter Reis y col., 2022). Sin embargo, el secado convectivo sigue siendo uno de los métodos más utilizados para la deshidratación de frutas debido al bajo costo de los equipos (estufa, horno, túnel, entre otros) sumado a tiempos cortos de proceso y bajo costo energético.

A fin de optimizar los procesos para minimizar la pérdida de calidad de las frutas y los costos energéticos se pueden realizar tratamientos previos como deshidratación osmótica, ultrasonido y campo eléctrico pulsado (Fauster y col., 2020, Sakoei-Vayghan y col., 2020, Sette y col., 2017). De esta forma es posible disminuir el efecto de contracción en las frutas, como así también su a_w y lograr una textura crujiente. Este tipo de textura también puede obtenerse combinando el secado convectivo con vacío y microondas (Kowalska y col., 2021). Si bien los alimentos deshidratados se caracterizan por tener valores de a_w bajos ($< 0,6$), los recuentos microbianos se pueden reducir aún más mediante la deshidratación osmótica asistida por ultrasonido combinada con recubrimientos con compuestos bioactivos (Sakoei-Vayghan y col., 2020). La aplicación de recubrimientos comestibles a las frutas antes del secado es otro pretratamiento que puede reducir la oxidación y la pérdida de compuestos nutricionales durante el secado con aire caliente. Además, los recubrimientos pueden minimizar los cambios de color en los materiales deshidratados debido a sus propiedades de barrera a los gases (Silva y col., 2019).

La aplicación de recubrimientos comestibles a las frutas constituye una solución para ayudar a conservar las frutas recién cortadas y representa un enfoque respetuoso con el medio ambiente. Estos recubrimientos proporcionan una barrera selectiva a la humedad, el oxígeno y el dióxido de carbono evitando la pérdida de volátiles y pueden transportar aditivos que mejoran las propiedades de textura y prolongan su vida útil, entre otros beneficios nutricionales (Lee y col., 2003, Versino y col., 2016). Al ser membranas semipermeables, permiten la permeabilidad de gases y electrolitos entre el producto y el medio ambiente. Además, el agregado de edulcorantes, saborizantes y colorantes a los recubrimientos puede aumentar el atractivo sensorial de las frutas y al enriquecerlas con compuestos antioxidantes se mejoran sus valores nutricionales, con el consiguiente beneficio para la salud (Kocyra y col., 2021). En bibliografía se ha reportado una gran

variedad de recubrimientos a base de polisacáridos para frutas mínimamente procesadas. Por ejemplo, García y col. (1998) han propuesto recubrimientos a base de almidones de maíz (contenido medio y alto de amilosa) y de papa con glicerol para retardar la senescencia en frutillas, reduciendo la pérdida de peso y conservando su color y firmeza en el almacenamiento refrigerado. Por otro lado, Thakur y col. (2018) formularon sistemas compuestos con almidón de arroz, carragenano y ésteres de sacarosa para controlar la velocidad de transferencia de gases (oxígeno y etileno), reducir la pérdida de peso y mejorar la firmeza en bananas. Recientemente, Sabir y col. (2024) aplicaron recubrimientos a base de quitosano en uvas de mesa y extendieron su vida útil al retrasar la pérdida de peso y la actividad enzimática, conservando las características fisicoquímicas durante el almacenamiento refrigerado.

Respecto a las frutas utilizadas en esta tesis, se han informado desarrollos de recubrimientos con diversos materiales. La mayoría de los estudios están enfocados a sistemas para aplicar sobre la fruta entera, no fruta cortada como se pretende evaluar en esta tesis, excepto en moras. En esta última existen pocos estudios sobre la extensión de la vida útil de la fruta recubierta. Yang y col. (2016) incorporaron quitosano y ácido cafeico, ambos con propiedades antibacterianas, observando una disminución en la velocidad de descomposición de las moras recubiertas respecto al control. Por otro lado, Ojeda y col. (2021) aplicaron recubrimientos a base de almidón de mandioca y quitosano en moras y hallaron que dicha combinación disminuyó el recuento microbiano y la pérdida de peso en la fruta durante el almacenamiento refrigerado. En cambio, Memete y col. (2022) ensayaron un sistema más complejo a base de gelatina, cera de abejas y aceites de coco y girasol para recubrir las moras y observaron una disminución en la velocidad de deterioro, con pérdida mínima en la firmeza y buena aceptación sensorial. Estos autores sugieren a futuro estudios sobre la metabolómica de los constituyentes principales, fenoles y antocianinas, para dilucidar los metabolitos generados y saber cómo actúan en el deterioro acelerado de la mora.

Respecto a los recubrimientos de pomelos, Abdel-Kader y col. (2011) formularon sistemas con ácidos sórbico y benzoico y sus sales disueltas en quitosano o cera de carnauba y observaron que se inhibía la descomposición por hongos en la superficie de la fruta entera, aumentando su vida útil. Por otro lado, Abdel-Salam (2016) aplicó cuatro materiales: goma arábiga, ácido salicílico, cloruro de calcio y parafina, para recubrir la superficie de la fruta entera, observando un retardo en las modificaciones fisicoquímicas durante el almacenamiento respecto a la fruta de pomelo control. Recientemente, Linh y

col. (2024) aplicaron un recubrimiento a base de alginato de sodio, combinado con cloruro de calcio y ácido ascórbico sobre rodajas de pomelo de la variedad *Citrus máxima* (Burm. f. Merr), observando que, si bien no logró reducir el crecimiento de bacterias aeróbicas, levaduras y mohos, fue efectivo al mantener el contenido de polifenoles totales y mejorar la actividad antioxidante de la fruta.

En el caso del mamón, Tapia y col. (2008) utilizaron formulaciones de carragenano, alginato y goma gellan para proteger la superficie de papayas cortadas contra la oxidación y los procesos de deshidratación. Recientemente, Ochoa-Velasco y col. (2021) utilizaron aceites esenciales (timol y carvacrol) como antimicrobianos en recubrimientos de almidón de maíz de alta amilosa aplicados en la superficie de papayas y observaron que se mantuvo la firmeza, el índice de madurez y el color, registrando además efectos fungistáticos en el almacenamiento refrigerado. Sin embargo, de Vasconcellos Santos Batista y col. (2020) aplicaron un sistema de almidón de mandioca con aceite esencial de clavo de olor y, si bien el recubrimiento no afectó las características fisicoquímicas de la papaya, durante el almacenamiento el panel sensorial percibió aromas y sabores amargos.

El proceso de recubrimiento y su efectividad sobre el alimento requiere del estudio de varios factores que influyen en la calidad organoléptica y nutricional del producto final, entre ellos el procedimiento, la temperatura y el tiempo de secado. Los tres métodos principales de aplicación de recubrimientos comestibles son inmersión, pulverización y esparcimiento. En el proceso de inmersión, el producto se sumerge directamente en la solución de recubrimiento correspondiente durante 1 a 3 min, seguido del secado natural. Entre los protocolos de aplicación de recubrimiento, sólo el método de inmersión puede producir películas de alto espesor en la superficie de las frutas. Las técnicas de pulverización son apropiadas para recubrimientos de baja viscosidad, que pueden pulverizarse fácilmente a alta presión, produciendo una apariencia homogénea y atractiva. En cambio, en el procedimiento de cepillado, la solución de recubrimiento se aplica directamente sobre la superficie del producto y suele requerir experiencia para lograr una adecuada extensión de la película y uniformidad de las capas.

Respecto al proceso de secado de los recubrimientos, es importante determinar el tiempo y temperatura óptimos para impedir o limitar el desarrollo microbiano en el alimento recubierto y conservar sus propiedades nutricionales y organolépticas. Los productos recubiertos pueden ser luego sometidos a secado a altas temperaturas en estufa (García y col., 2014), a temperatura ambiente (Castricini y col., 2012) e incluso a bajas temperaturas como las de refrigeración (Santagata y col., 2018). Otro factor que puede

afectar las propiedades funcionales del alimento es el tipo y concentración de los aditivos contenidos en el recubrimiento (Linh y col., 2024). Por lo tanto, las combinaciones apropiadas de los componentes de los recubrimientos comestibles pueden mejorar las cualidades organolépticas y el valor nutricional de las frutas.

En este trabajo de tesis se utilizó un tratamiento de secado convectivo con un tratamiento previo de recubrimiento de la fruta, ya que se pretende un proceso de bajo costo sumado al aprovechamiento de las suspensiones formadoras de recubrimientos desarrolladas con el almidón de mandioca, la miel y las frutas.

1.3.7.3. Snacks de frutas recubiertas, cereales, semillas y miel como alimentos funcionales

Los cereales como el arroz inflado y los copos de maíz, propuestos en esta investigación, son también aptos para formulaciones para celíacos. Ambos se encuentran descritos en el artículo 645 del Capítulo IX: “Alimentos Farináceos - Cereales, Harinas y Derivados” del CAA (2022): “*Los cereales podrán presentarse como:*

- 1. Cereales inflados (Puffed Cereals), obtenidos por procesos industriales adecuados mediante los cuales se rompe el endosperma y los granos se hinchan.*
- 2. Cereales aplastados, laminados, cilindrados o roleados (Rolled Cereals), preparados con granos limpios liberados de sus tegumentos y que después de calentados o de ligera torrefacción se laminan convenientemente.*
- 3. Cereales en copos (Flakes) preparados con los granos limpios, liberados de su tegumento por medios mecánicos o por tratamiento alcalino, cocinados con la adición de extracto de malta, jarabe de sacarosa o dextrosa y sal, secados, aplastados y tostados.”*

En el caso del arroz inflado, el proceso a seguir para su obtención (“puffing”, en inglés) es similar al denominado estallado, reventado o “popeo” (“popping”, en inglés) con el que se obtiene el pochoclo y que se aplica también a semillas como la quinoa o el amaranto. El “popeo” es un proceso simultáneo de gelatinización y expansión del almidón, en el cual los granos se exponen a altas temperaturas durante un corto tiempo. El vapor sobrecalentado producido dentro de los granos mediante calentamiento instantáneo cocina el grano y expande el endosperma repentinamente, rompiendo el pericarpio. En cambio, durante el proceso de inflado se lleva a cabo una expansión controlada del grano, mientras que el vapor sobrecalentado se escapa a través de los

microporos de la estructura del grano debido a la alta presión o gradiente térmicogenerado. El equipo que se utiliza generalmente para el inflado se denomina cañón o “pistola” para inflar cereales (“gunpuffing”). Estos métodos de expansión y estallido de los granos de cereal imparten sabor y aroma característicos y deseables en los productos tipo snack (Mishra y col., 2014).

Respecto a los copos de maíz, Farroni (2011) describe el proceso tradicional que comienza por la molienda seca en la que se separan las distintas partes que componen los granos de maíz. Durante este proceso se pierden el pericarpio, el germen y el pedicelo quedando expuesto el endosperma y generando así los denominados grits (fracciones gruesas de endosperma). Luego, sigue el proceso de cocción de los grits en un jarabe que contiene agua, extracto de malta, sal y azúcar, empleando vapor a presión en cilindros rotatorios de acero inoxidable. Durante esta etapa se gelatiniza el almidón y se producen aromas y sabores característicos, además del pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard) que da coloración a los grits. Luego, éstos son sometidos al proceso de temperado en un silo con un sinfín como mezclador para permitir que la humedad se homogenice, entre y dentro de los grits. Durante el temperado ocurre cierto grado de retrogradación del almidón gelatinizado, lo que conduce a la formación de estructuras cristalinas que endurecen los grits y les permite pasar en forma adecuada a la siguiente etapa de laminado. En este proceso, los grits cocidos se hacen pasar entre dos rodillos de acero que giran en sentido contrario y los presionan para darles forma de hojuelas, así cada grit se convierte en una hojuela o copo de maíz. El paso final es el tostado de los copos en hornos rotatorios o de lecho fluidizado donde una corriente de aire caliente los suspende, produciendo una rápida pérdida de humedad y logrando un tostado uniforme.

A diferencia del arroz y el maíz que son cereales, tanto la quinoa como el amaranto se consideran pseudo-cereales ya que, a pesar de que botánicamente no son gramíneas, sus granos tienen un elevado contenido de almidón y pueden transformarse en harinas por molienda. La producción de quinoa y amaranto se sitúa mayoritariamente en el altiplano de Bolivia y Perú y en nuestro país en las provincias del NOA, Salta y Jujuy, extendiéndose también a Tucumán (Lezcano, 2013).

Respecto a la quinoa, el CAA en su Capítulo IX especifica “Con la denominación de quinua o quinoa se entiende las semillas sanas, limpias y bien conservadas del género *Chenopodium quinoa* Willd.”. Las 3 variedades más comunes presentan semillas de color blanco, negro y rojo. Las semillas de quinoa tienen un alto contenido de proteína y la mayoría de los aminoácidos esenciales, además no contienen gluten por lo que son aptas

para personas con enfermedad celíaca. También son ricas en compuestos bioactivos como las vitaminas (B2, E), carotenoides, tocoferoles y otros compuestos con propiedades antioxidantes como los polifenoles. Sumado a los compuestos mencionados, la quinoa contiene ácidos grasos, fibra dietaria y minerales (calcio, magnesio, potasio, fósforo, hierro y manganeso), por lo que sus semillas se consideran un alimento funcional (Pereira y col., 2019). Sin embargo, en la quinoa se han encontrado varias sustancias antinutricionales, como saponinas, ácido fítico, taninos e inhibidores de proteasas, que reducen la biodisponibilidad de nutrientes y son potencialmente tóxicos (Vega-Gálvez y col., 2010). Particularmente, las saponinas son glicósidos triterpenoides que se encuentran en el pericarpio o cubierta de la semilla y le confieren sabor amargo, por lo que deben ser eliminadas antes de su consumo. Respecto a esta característica, el CAA establece que “Las semillas de quinua o quinoa que se industrialicen deberán ser sometidas a un proceso que asegure la eliminación de las saponinas y la biodisponibilidad de los aminoácidos”. El tratamiento previo de lavado de las semillas ayuda a su eliminación y cuando la espuma desaparece del agua de lavado se asume que el grano está limpio ya que son compuestos surfactantes.

En el caso del amaranto, el CAA lo define en el artículo 660 - (Res. MS y AS 80, 13.01.94) del mismo capítulo IX: "Con el nombre de Amaranto se entienden las semillas sanas, limpias y bien conservadas de las siguientes especies de este pseudo-cereal: *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus caudatus* L. y *Amaranthus mantegazzianus* Passer”. Al igual que la quinoa, el grano de amaranto tiene una excelente composición nutricional, ya que es rico en macronutrientes como proteínas (~15 %, entre ellas lisina y metionina de alto valor nutricional), lípidos (~ 7 %, más del 70 % ácidos grasos insaturados), fibra (~ 5 %), vitaminas (C y grupo B), minerales (magnesio, calcio, fósforo y hierro) y otros compuestos fitoquímicos (polifenoles y fitosteroles) (Malik y col., 2023). Debido a sus compuestos bioactivos el amaranto aparece como una solución promisoriosa para el problema de la desnutrición, además de sus efectos positivos para la salud como la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares (Jimoh y col., 2018).

Como ya se mencionó, el proceso de “popeo” a los granos confiere características de sabor, color y aroma deseables en los productos tipo snack y en el caso de las semillas de quinoa y amaranto mejora la relación de eficiencia proteica. Este índice mide el aumento de peso de animales en crecimiento por g de proteína ingerida y se incrementa cuando el grano es procesado. Además, durante el “popeo” se produce la ruptura de la capa fibrosa

del pericarpio que recubre el grano, incrementa la digestibilidad del producto y adquiere un sabor agradable a tostado, mejorando así su palatabilidad (Solanki y col., 2018). De esta forma, además de los compuestos bioactivos de las frutas, en el snack desarrollado se incorporarán proteínas de alta calidad a través de las semillas sometidas al proceso de “popeo” previo a su inclusión en la formulación.

1.3.7.4. Etiquetado frontal de los snacks

La alimentación no saludable, junto al consumo de tabaco, el consumo nocivo de alcohol y la inactividad física, se constituyen como factores de riesgo conductuales comunes para la aparición de enfermedades no transmisibles siendo estas las principales causas de muerte en el mundo, al representar el 72 % de las muertes anuales en nuestro país. En este contexto, en octubre del año 2021, Argentina aprobó la Ley N° 27.642 de Promoción de la Alimentación Saludable y posteriormente el respectivo Decreto Reglamentario N° 151/2022, estableciendo que los alimentos envasados en ausencia del cliente deberán contar en su cara frontal con la cantidad de sellos que corresponda a la composición final del contenido de azúcares añadidos, grasa, sodio o calorías, siempre que excedan los valores definidos por la norma, o cuando contengan cafeína y/o edulcorantes.

Los límites máximos establecidos para los nutrientes críticos (azúcares, grasas y sodio añadido), calorías y contenido de edulcorante y/o cafeína se encuentran determinados por el artículo 6° del Decreto N° 151/22 (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Límites máximos establecidos para los nutrientes críticos, calorías y contenido de edulcorante y cafeína. Manual de Aplicación de Rotulado Nutricional Frontal (2021).

Azúcares añadidos	Grasas totales	Grasas saturadas	Sodio	Edulcorantes y/o cafeína	Calorías
≥ 20 % del total de energía proveniente de azúcares añadidos	≥ 35 % del total de energía proveniente del total de grasas	≥ 12 % del total de energía proveniente de grasas saturadas	≥ 5 mg de sodio por 1 kcal o ≥ 600 mg/100 g Bebidas alcohólicas sin aporte energético: ≥ 40 mg de sodio cada 100mL	Cuando el alimento contenga cafeína y/o edulcorante de acuerdo a lo establecido en el artículo 4° de la presente reglamentación	Alimentos ≥ 300 kcal/100g Bebidas alcohólicas: ≥ 50 kcal/100 mL

Cabe aclarar, tal como se mencionó, esta norma es para los nutrientes críticos AÑADIDOS es decir aquellos que se agregan *exprofeso* para modificar alguna característica sensorial y/o funcional del alimento. Sin embargo, de acuerdo al tipo de alimento hay que tener algunas consideraciones que se detallan a continuación:

- a) Los vegetales frescos o mínimamente procesados poseen azúcares simples intrínsecos propios de su composición que, cuando son agregados como ingrediente a una preparación, no aportan azúcar añadido. No se considera azúcar añadido a los provenientes de frutas y hortalizas (enteras o en trozos) frescas, desecadas, deshidratadas y/o liofilizadas. Las hortalizas en polvo tampoco aportan azúcares añadidos.
- b) Por otro lado, las mezclas de jugos, las mezclas de pulpas y las mezclas de jugos y pulpas, siempre que éstos no tengan agregados de nutrientes críticos en su elaboración y que se presenten envasados y listos para ofrecerlos al consumidor, no se encuentran sujetos a la declaración de rotulado frontal. Sin embargo, cuando estas mezclas sean utilizadas como ingredientes de otros alimentos si deben tenerse en cuenta.

- c) En cuanto a la miel, cuando se presenta envasada y lista para ofrecer al consumidor, no consignará la declaración de rotulado frontal. Por otro lado, si se la utiliza como ingrediente en la preparación de alimentos, esta aporta azúcares añadidos y deberá calcularse su aporte de azúcares simples.
- d) En el caso de la leche y productos lácteos, cuando se utilicen como ingredientes en la formulación de un producto, la lactosa aportada por estos no se considerará aporte de azúcares añadidos.

En el desarrollo de un alimento tipo snack es importante tener en cuenta las implicaciones en el contenido de azúcares de ingredientes como la miel o las frutas, a fin de cumplir las normativas de etiquetado frontal vigentes. Estas regulaciones exigen que los productos exhiban claramente su contenido de azúcares, lo que resalta la necesidad de balancear el uso de ingredientes naturales como la miel para mantener los beneficios nutricionales sin comprometer la salud del consumidor. Así, los snacks desarrollados en este trabajo se presentan como opciones saludables y nutritivas, alineadas con las tendencias actuales en alimentación consciente y equilibrada. Además, estos productos pueden adaptarse para satisfacer las necesidades específicas de personas con condiciones especiales, como la diabetes, mediante el ajuste de los niveles de azúcares y el uso de edulcorantes naturales de bajo índice glucémico. De esta manera, los snacks frutales no sólo contribuyen a una dieta saludable en general, sino que también se convierten en una opción viable para consumidores con requerimientos dietéticos específicos.

1.4. Objetivos

El objetivo general de esta investigación es brindar alternativas tecnológicas para el desarrollo de matrices funcionales con incorporación de compuestos bioactivos de frutas, a fin de aplicarlas en la industria de alimentos. De esta forma se pretende un mayor aprovechamiento de materias primas regionales que incrementen el valor nutricional de los alimentos y la obtención de matrices frutales multipropósito que puedan aplicarse a otras formulaciones tanto de alimentos como de envases que los contengan.

Los objetivos específicos del presente trabajo de Tesis son:

- Evaluar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la miel *Apis mellifera* y su efecto sobre el comportamiento reológico de matrices a base de almidón de mandioca y glicerol, a fin de seleccionar una matriz base para la incorporación de las frutas.
- Analizar la influencia del almacenamiento congelado de las frutas (mora, pomelo y mamón) sobre sus parámetros de calidad, contenido de compuestos bioactivos antioxidantes y textura, a fin de determinar los posibles usos de acuerdo al grado de deterioro de las frutas.
- Estudiar la vehiculización y protección de los compuestos bioactivos de las frutas en las matrices de almidón, glicerol y miel a fin de generar recubrimientos y películas activos. Analizar el rol de la miel y las frutas sobre el comportamiento reológico de los recubrimientos y las propiedades fisicoquímicas, mecánicas, de microestructura y de biodegradabilidad de las películas activas. Evaluar la efectividad de las películas como envase activo a través de su aplicación en un producto cárnico tipo hamburguesa, a fin de preservar la calidad fisicoquímica y microbiológica del alimento.
- Evaluar la aptitud de los recubrimientos activos a través de su aplicación en las frutas estudiadas, en condiciones óptimas de deshidratación, a fin de generar snacks frutales con aceptabilidad sensorial y sin riesgo microbiológico. Analizar la estabilidad de los compuestos antioxidantes en las frutas recubiertas deshidratadas incorporadas como ingrediente de un snack a base de cereales (arroz inflado, copos de maíz), semillas (quinoa, amaranto) y miel, a fin de obtener alimentos con alto valor nutricional y sensorialmente aceptables.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

En este Capítulo se detallan los materiales y las metodologías empleadas en la elaboración y caracterización de las matrices desarrolladas, mientras que en los Capítulos 4 y 5 se describen los materiales y procedimientos utilizados en las aplicaciones de dichas matrices.

Se emplearon materiales de la región chaqueña como las frutas, la miel y el almidón de mandioca. Todos los reactivos utilizados en los ensayos fueron de grado analítico y su marca y origen se especifican en cada determinación.

2.1.1. Hidrocoloides

Para la formulación de las matrices se utilizó almidón de mandioca comercial marca Ranchito (Valois, Misiones, Argentina). La información nutricional específica, en Valor Diario de referencia (% VD) por cada porción de 20 g de fécula de mandioca, declarada por el fabricante es la siguiente: Valor energético 68 kcal o 284 kJ (3 % VD), carbohidratos 17 g (7 % VD), proteínas 0 g (0 % VD), grasas totales 0 g (0 % VD), grasas saturadas (0 % VD), grasas trans (-), fibra alimentaria 0 g (0 % VD), sodio 0 g (0 % VD).

2.1.2. Miel

La miel de origen multiflora fue proporcionada por la empresa Mieles del Chaco (Grúas San Blas, Argentina), ubicada en el Parque Industrial de Presidencia Roque Sáenz Peña (Chaco). La empresa es una cooperativa público-privada que comercializa miel chaqueña orgánica, se dedica al fraccionamiento y la conservación de mieles y participa de proyectos de cooperativas, entes gubernamentales y de asociaciones, como Mujeres Apícolas o Jóvenes Apicultores, con capacitaciones y talleres en la Región. La procedencia principal de la miel es de las localidades de Tres Isletas, Juan José Castelli, Villa Ángela y General San Martín, de la provincia del Chaco.

Se realizaron visitas a la planta de fraccionamiento y se acordaron las entregas de muestras provenientes desde la empresa en frascos de vidrio herméticamente cerrados que fueron transportados hacia el laboratorio para su posterior análisis.

2.1.3. Frutas regionales

2.1.3.1. Recolección

Las moras (Mo) (*Morus nigra* L.), pomelos (Po) (*Citrus paradisi* Macf.) y mamones (Ma) (*Carica papaya* L.) fueron recolectados de árboles situados en la localidad de Presidencia Roque Sáenz Peña, Departamento Comandante Fernández (provincia de Chaco), (26° 44' 6,1" S, 60° 22' 58,9" O), zona ubicada en un radio entre 0,5 y 6 km del casco céntrico y con temperatura media de 21,5°C, 74 % de humedad relativa y 77,6 mm de lluvia promedio anual.

La recolección de los pomelos y mamones se realizó en los meses de junio y julio, temporada de mayor fructificación de ambas plantas. Las moras, en cambio, se recolectaron en los meses de septiembre y octubre debido a su fructificación en la primavera. Cabe destacar que fue necesario contar con la colaboración de la comunidad, vecinos y población en general que permitieron el acceso a sus propiedades donde estaban localizadas las plantas, pudiendo así recolectar sus frutos. En la Figura 2.1 se aprecian los ejemplares arbóreos y los frutos respectivos:



Figura 2.1. Plantas regionales con sus respectivos frutos recolectados.

Para cada tipo de fruta se reunieron lotes de 15 frutos cada uno teniendo en cuenta su madurez organoléptica, la cual correspondió a 100 % de superficie amarilla para

mamonos y pomelos y 100 % morado oscuro para moras. De acuerdo al CAA (Capítulo XI, artículo 887 bis, Resolución Conjunta SPReI N°169/2013 y SAGyP N°230/2013), la madurez organoléptica o de consumo “*es aquel estado de desarrollo en el cual un fruto tiene el color, la textura, el aroma y el sabor que lo vuelven deseable para su consumo, en la percepción promedio de los consumidores*”.

A fines de comparación entre el estado de madurez de los diferentes frutos y sus características de color, se recolectaron moras, pomelos y mamonos en estado verde maduro, para lo cual se consideró: 100 % de superficie rojiza para moras, 50 % de superficie amarillo verdoso y 50 % amarillo para pomelos y 100 % verde para mamonos.

El procedimiento para recolectar las moras fue a través del corte de los tallos con tijera para papel y en el caso de mamonos y pomelos fue en forma manual girando la muestra para desprender el tallo sin roturas y daños por extirpación. Los frutos recolectados fueron transportados en bolsas plásticas (mamonos y pomelos) y en envases plásticos (moras) hasta las instalaciones del laboratorio de la Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS, Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco) para su procesamiento y análisis.

2.1.3.2. Procesamiento y conservación

Todas las frutas fueron lavadas previamente con agua clorada utilizando dos gotas de hipoclorito de sodio por litro de agua de lavado para eliminar hongos y microorganismos provenientes del ambiente. En la Figura 2.2 se muestran las etapas del procesamiento de las frutas.

Las moras fueron apartadas de sus receptáculos con tijera para papel y utilizadas, de acuerdo a cada ensayo, en formato de fruta entera (jugo, pulpa y semillas) o en jugo y pulpa.

En el caso de los pomelos, luego de eliminar las cáscaras con cuchillo, se cortaron por la mitad, se hicieron incisiones entre la pulpa y la cáscara y se retiraron las semillas con la punta del cuchillo. Se separaron los gajos con una cuchara generando láminas de $20 \pm 5 \text{ mm} \times 35 \pm 5 \text{ mm}$.

Los mamonos se pelaron con un pelapapas, se cortaron por la mitad y se retiraron las semillas con cuchara. En el caso de esta fruta, las semillas no fueron descartadas ya que se pretendía el aprovechamiento de sus compuestos activos. La pulpa de los mamonos se fragmentó con cuchillo en forma de láminas de $20 \pm 5 \text{ mm} \times 70 \pm 5 \text{ mm}$ y cubos de $20 \times 20 \pm 5 \text{ mm}$.

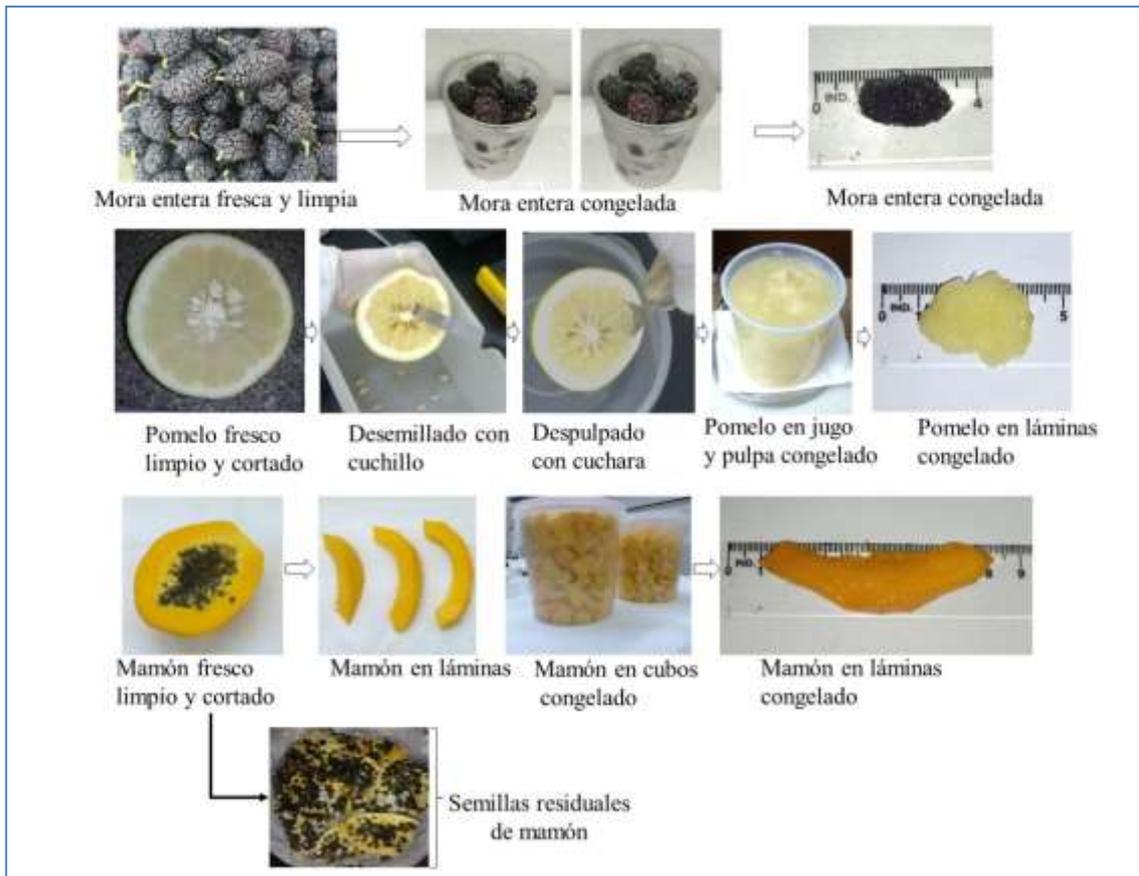


Figura 2.2. Procesamiento de las frutas.

Las frutas utilizadas en esta investigación son estacionales y la cosecha se realizó en los meses de fructificación, lo que obligó a su almacenamiento para disponer de materia prima el resto del año. En la región del NEA (provincias de Chaco, Formosa, Corrientes y Misiones), suelen registrarse temperaturas mínimas en invierno de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y máximas en verano que superan los $44\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por lo tanto, y a fin de preservar la calidad fisicoquímica y organoléptica de las frutas recién cosechadas, se procedió a su conservación a través del método de congelación. Se reservó una porción de las frutas en diferentes formatos: moras enteras, pomelo en pulpa con su jugo y mamón en cubos y en láminas (Figura 2.2), para su análisis en estado fresco, y otra porción se almacenó en envases de plástico con tapa o bolsas con cierre hermético a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un freezer (Gafa, Argentina). Asimismo, las semillas de mamón se conservaron bajo las mismas condiciones de congelación.

2.2. Metodología

En la primera etapa se realizó la caracterización fisicoquímica y funcional de las materias primas que aportaron los compuestos activos: la miel y las frutas.

Luego, en la segunda etapa se desarrollaron matrices utilizando almidón de mandioca, glicerol y miel, y se evaluó el efecto de las concentraciones de almidón y de miel sobre las características fisicoquímicas y reológicas de las suspensiones filmogénicas y sobre su capacidad de formar películas. Posteriormente, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y estructurales de las películas formadas. De esta manera, se trató de determinar si las matrices con miel resultarían aptas tanto para su uso en recubrimientos comestibles como para la formación de películas destinadas a envases de alimentos.

Una vez seleccionada la formulación de matriz base con miel más adecuada, se prosiguió con la tercera etapa incorporando las frutas de mora, pomelo y mamón en formatos de jugo y pulpa. De esta forma, se generaron matrices conteniendo los compuestos bioactivos de las frutas y de la miel, para su posterior aplicación en recubrimientos y envases de alimentos u otro uso.

La Figura 2.3 muestra un esquema de los procedimientos realizados para obtener las matrices mencionadas. Finalmente, en los Capítulos 4 y 5 de esta tesis se describen las aplicaciones de las matrices desarrolladas, junto a su respectiva metodología.

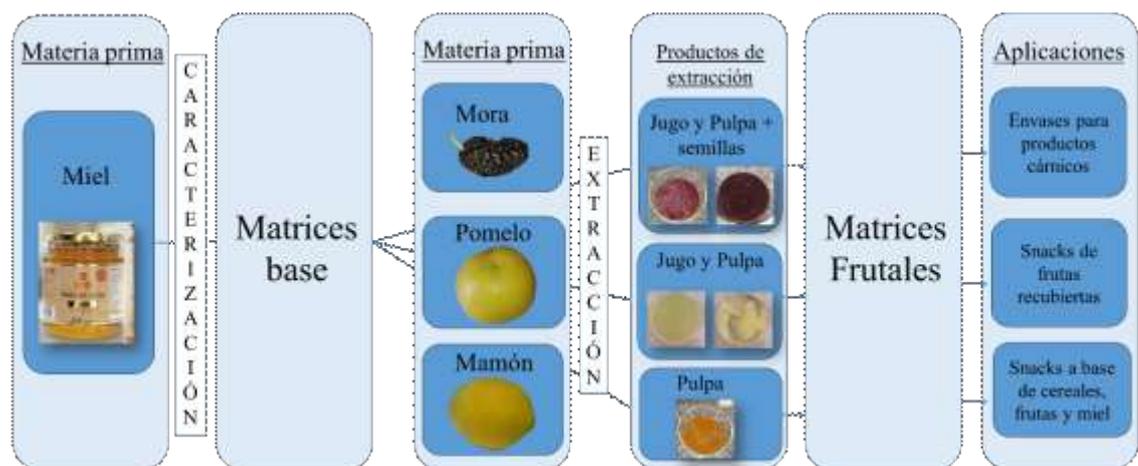


Figura 2.3. Diagrama de las etapas de proceso de obtención de las matrices a partir de las materias primas.

A continuación, se detallan los procedimientos de obtención de los diferentes tipos de matriz, como así también la incorporación de las frutas seleccionadas, y su respectiva caracterización.

2.2.1. Caracterización fisicoquímica y funcional de las materias primas

2.2.1.1. Miel

2.2.1.1.1. Humedad

El contenido de agua en la miel se determinó indirectamente por refractometría según el método AOAC 969.38B (1990), ya que el índice de refracción de la miel depende de su densidad y ésta del contenido de agua. Se determinó el índice de refracción de las muestras de miel a temperatura constante, por triplicado, utilizando un refractómetro de Abbe (NAR-1T, Atago, Japón) con termómetro.

Las lecturas de índice de refracción obtenidas a 20 °C se convirtieron a porcentaje de humedad con la Tabla de Chataway (ver Anexo 8.1), expresado en g de agua por cada 100 g de miel (%). En el caso de las medidas realizadas a una temperatura distinta de 20 °C, se corrigió el índice de refracción leído, aumentando o disminuyendo en un valor en 0,00023 por cada grado por encima o por debajo de 20 °C, dependiendo de la temperatura de la muestra.

2.2.1.1.2. Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles en la miel se determinó de acuerdo al método 932.12 (AOAC, 1990). Para la medida se utilizó un refractómetro de Abbe (NAR-1T, Atago, Japón), colocando 1 ó 2 gotas de la muestra en el prisma y observando el valor entre el límite claro y oscuro de la escala a través del ocular. Las mediciones se realizaron por triplicado y se informaron los promedios como grados Brix (°Brix).

2.2.1.1.3. Acidez libre, láctónica y total

La acidez natural de la miel se debe a los ácidos orgánicos presentes en ella, siendo el principal el ácido glucónico. Este ácido se forma por acción de la enzima glucosa oxidasa, presente en la saliva de las abejas, sobre la glucosa del néctar. Otros ácidos orgánicos que contribuyen a la acidez de la miel son el málico, butírico, cítrico, tartárico, piroglutámico, maleico, succínico, fórmico y oxálico (Apablaza y col., 2019).

La acidez total de la miel es la suma de la acidez libre y de la acidez láctónica. La acidez libre valora principalmente los ácidos orgánicos libres. En cambio, la acidez láctónica se relaciona con las lactonas presentes en la miel que originan ácidos cuando esta se alcaliniza, constituyendo una reserva natural de acidez.

Se aplicó el método 962.19 (AOAC, 1990) con modificaciones. Se utilizó una muestra de miel (10 % p/v) en 75 mL de agua destilada descarbonatada. La acidez libre de la muestra se evaluó por valoración potenciométrica con hidróxido de sodio 0,05 N estandarizado con biftalato de potasio utilizando fenolftaleína (1 % p/v) como indicador, hasta pH 8,5. La acidez láctónica (reserva de acidez) se determinó midiendo la cantidad de álcali necesaria para hidrolizar el enlace láctónico. Dado que la valoración no puede realizarse en forma directa, se efectúa por retroceso tras la adición de un exceso conocido de álcali (10 mL de la misma solución de hidróxido de sodio) y se procede a una nueva titulación valorando el álcali excedente con ácido clorhídrico 0,05 N, hasta pH 8,3. La acidez total se calcula sumando la acidez libre y la láctónica, en miliequivalentes de ácido/Kg de miel, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Acidez libre} \left(\frac{\text{meq}}{\text{kg}} \right) = \frac{(V_b - V_0) \times N_b \times f_{\text{NaOH}} \times 1000}{P} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

$$\text{Acidez láctónica} \left(\frac{\text{meq}}{\text{kg}} \right) = \frac{(10 \times N_b \times f_{\text{NaOH}} - V_a \times N_a \times f_{\text{HCl}}) \times 1000}{P} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$\text{Acidez total} = \text{Acidez libre} + \text{acidez láctónica} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde V_b : Volumen de base de la muestra, V_0 : Volumen de base del blanco, V_a : Volumen de ácido en la valoración por retroceso, N_b : Normalidad de la base, N_a : Normalidad del ácido, P : peso en g de la muestra, f : factor de titulación.

2.2.1.1.4. pH

La medida de pH se realizó empleando un peachímetro (Lutron modelo WA-2011, EE.UU.), según el método 981.12 (AOAC, 1990), utilizando una muestra de miel (10 % p/v) en agua destilada descarbonatada. Las lecturas se realizaron a 25 ± 2 °C por triplicado.

2.2.1.1.5. Hidroximetilfurfural (HMF)

El HMF es un aldehído cíclico formado en medio ácido por deshidratación sucesiva de tres moléculas de agua, a partir de glucosa o fructosa. El contenido de HMF es indicativo de las condiciones de almacenamiento, tratamiento recibido y edad de la miel. Este compuesto aparece en forma espontánea y natural debido al pH ácido, al contenido de agua y a la composición rica en monosacáridos (fructosa y glucosa), aumentando su concentración con el tiempo (Gökmen y Morales, 2014).

Para la determinación de HMF se utilizó el método espectrofotométrico 980.23 AOAC (1990). Se preparó una muestra de miel (2 % p/v) en matraz volumétrico, se añadió 0,5 mL de ferrocianuro de potasio (0,15 % p/v) y se homogenizó, luego se adicionó 0,5 mL de acetato de zinc (0,3 % p/v) en agitación y se llevó a 50 mL con agua destilada (se puede agregar una gota de etanol para evitar espuma). La solución se filtró con papel filtro y se tomaron 5 mL de la solución filtrada en 2 tubos, en el primer tubo se adicionaron 5 mL de agua destilada (solución muestra) y en el segundo 5 mL de bisulfito de sodio 0,2 % p/v (solución referencia).

Luego, se determinaron las absorbancias de la solución muestra y de la de referencia a 284 y 336 nm, respectivamente en cubeta de cuarzo de 10 mm dentro de la primera hora de reacción. Los resultados se expresan en mg de HMF/Kg de muestra, según la Ec. 2.4.

$$HMF = (Abs_{284} - Abs_{336}) \times 149,7 \times 5 \times (D/w) \quad (Ec. 2.4)$$

Donde 149,7 = $(126/16830) \times (1000/10) \times (1000/5)$, 126: Peso molecular del HMF, 16830: coeficiente de extinción molar de HMF a 284 nm ($\text{cm}^{-1} \times \text{mol}^{-1} \times \text{L}$), D=factor de dilución, w = peso en g de la muestra de miel.

2.2.1.1.6. Cenizas

El contenido de sustancias minerales en la miel se determinó de acuerdo al método 920.181 (AOAC, 1990). Se pesaron $5,0 \pm 0,1$ g de muestra por duplicado en crisoles previamente tarados. Se calentó en mechero suavemente hasta carbonizar la muestra, se llevó a mufla a 600 °C durante 2 h y luego de apagar el equipo se dejó enfriar aproximadamente 12 h. Se llevaron los crisoles al desecador, se determinó el peso y por diferencia se calculó el porcentaje de cenizas. Los resultados se expresaron en gramos de cenizas por cada 100 gramos de miel (g/100g).

2.2.1.1.7. Color

Se determinó el color de la miel por espectrofotometría mediante lectura directa en un colorímetro portátil para miel (Honey color photometer, HI96785, HANNA, EE.UU.), utilizando glicerol para la calibración del equipo. Se colocó la muestra de miel sin diluir en la cubeta y se registró la lectura en mm Pfund. La lectura que determina el equipo se comparó con una tabla de valores (Anexo, Tabla 8.2) que indica la clasificación de la miel respecto de su color en la escala universal de la USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos).

2.2.1.1.8. Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante

En estas determinaciones las muestras de miel se utilizaron en forma de extracto, diluyendo la miel pura al 10 % p/v con etanol al 20 % v/v.

i. Polifenoles totales

La cuantificación analítica de polifenoles totales de las muestras se realizó a través del método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu (Singleton y col., 1999). Este método se basa en la oxidación de los grupos fenólicos de la muestra con los ácidos fosfotúngstico y fosfomolibdico del reactivo, formando un complejo color verde-azulado que tiene un máximo de absorbancia entre 725 y 765 nm (Deladino y col., 2008, Macoris y col., 2012).

Se colocaron 2 mL de solución de Na_2CO_3 (2 % p/v) en tubos de ensayo, 200 μL de la muestra y se dejó reposar por 2 min, posteriormente se agregaron 200 μL del reactivo Folin-Ciocalteu (1:1) (Anedra, Argentina). Se agitaron los tubos en vórtex y se dejaron en la oscuridad durante 30 min. Luego se leyó la absorbancia del color azul desarrollado en un espectrofotómetro (Shimadzu, UV-1800, Japón) a una longitud de onda de 725 nm. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. El contenido de polifenoles de las muestras se halló por interpolación con la curva de calibración utilizando ácido gálico como standard (0,20 - 0,75 mg/mL, $A=4,076.C$), ya que es el compuesto polifenólico tomado comúnmente como referencia en muestras de fuentes vegetales (Borneo y col., 2009). Los resultados del contenido de polifenoles totales se informaron como mg de ácido gálico por cada 100 g de muestra en base seca (bs) (mg AG/100 g_{bs}).

ii. Flavonoides

Se determinó el contenido total de flavonas y flavonoles de las muestras utilizando tricloruro de aluminio, según el método de Pontis y col. (2014) con algunas modificaciones. Se colocó 1000 µl del extracto etanólico de la muestra en tubo de ensayo con 1500 µl de solución de AlCl₃ anhidro (Merck, Alemania) al 5 % p/v en etanol 95 % v/v (Merck, Alemania), luego se agitó en vórtex y se centrifugó por 5 min. Se dejó reaccionar a 20 °C al resguardo de la luz por 25 min, luego se extrajo el líquido sobrenadante y se leyó la absorbancia a 425 nm en el espectrofotómetro. Se realizó la curva de calibración utilizando quercetina (0 - 0,4 mg/mL, A=67,55.C) como estándar (Sigma Aldrich, EE.UU.) en etanol al 95 % v/v, ya que este flavonol se encuentra ampliamente en plantas. Los resultados se hallaron por interpolación con la curva de calibración y se expresaron como mg equivalentes de quercetina por cada 100 g de muestra en base seca (bs) (mg Q/100 g_{bs}).

iii. Actividad antioxidante por el método de DPPH

La capacidad inhibitoria frente al radical DPPH• (1-1-difenil -2- picril- hidracilo) fue evaluada por el método de Brand Williams y col. (1995), que se basa en la reducción del radical DPPH• por acción de compuestos antioxidantes. El radical DPPH• en solución es de color violeta intenso y se vuelve incoloro o amarillo pálido cuando reacciona con antioxidantes que lo neutralizan.

Para determinar el porcentaje de inhibición al radical DPPH•, inicialmente se preparó una solución madre del radical DPPH• (Sigma-Aldrich, EE.UU.) de concentración 25 mg/L en etanol al 96 %, se agitó durante 2 h hasta su completa disolución y se conservó en frasco color ámbar hasta el momento de ser utilizado. Se colocó en tubos de ensayo 3,9 mL de solución de radical DPPH• (25 mg/L) (Sigma-Aldrich, EE.UU.). Luego se agregó 100 µl de extracto etanólico de muestra y se llevó a agitación en vórtex. Se dejó en reposo 20 min en oscuridad y luego se midió la absorbancia a 515nm en el espectrofotómetro. Como muestra control se utilizó la misma mezcla de reacción, pero reemplazando la muestra por agua destilada. Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición del radical DPPH•, realizando el cálculo a partir de las absorbancias de la muestra y del blanco, de acuerdo con la siguiente ecuación (Ec. 2.5):

$$\% I_{DPPH} = \frac{Abs_b - Abs_m}{Abs_b} \times 100 \quad (Ec. 2.5)$$

Donde Abs_b : Absorbancia de la reacción control conteniendo todos los reactivos excepto la muestra, Abs_m : Absorbancia de la muestra.

iv. Actividad antioxidante por el método de ABTS

El radical catiónico $ABTS^{\bullet+}$ se genera por reacción entre el ABTS (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico) y el persulfato de potasio y tiene un máximo de absorción a 734 nm debido a su color verde azulado intenso. El ensayo ABTS mide la capacidad antioxidante basándose en la disminución del color del $ABTS^{\bullet+}$ al reaccionar con los compuestos antioxidantes presentes en la muestra. El grado de decoloración se determina en función de la concentración y del tiempo y se calcula relativo a un estándar, expresándose la actividad antioxidante en equivalentes de Trolox (ácido (+)-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-carboxílico).

Para la determinación de la capacidad antioxidante de las muestras se procedió de acuerdo al protocolo reportado por Re y col. (1999) con algunas modificaciones. La solución madre de $ABTS^{\bullet+}$ se preparó en una concentración de 7 mM a partir del reactivo ABTS (Sigma-Aldrich, EE.UU.) en medio de persulfato de amonio 4,9 mM previamente preparado. Luego, esta solución se dejó reposar por 24 h en la oscuridad y se filtró. La solución de trabajo se preparó diluyendo a la solución madre de $ABTS^{\bullet+}$ con etanol al 20% v/v hasta alcanzar una absorbancia comprendida entre 0,6 y 0,7 a 734 nm. Por otro lado, se preparó una curva de calibración con una solución de Trolox (Sigma-Aldrich, EE.UU.) 0,625 mM, y se determinó el porcentaje de decoloración. Los puntos de la curva se obtuvieron para concentraciones desde 0 a 0,35 mmol Trolox/mL.

El análisis de las muestras se realizó mezclando 2850 μ L de la solución de trabajo del $ABTS^{\bullet+}$ con 150 μ L de extracto etanólico de la muestra a ensayar, se agitó con vórtex, se dejó reaccionar durante 6 min y se leyó la absorbancia a 734 nm. El blanco de reactivos se realizó mezclando la solución de trabajo (2850 μ L) con etanol al 20 % v/v (150 μ L). Luego se calculó el porcentaje de decoloración por interpolación con la curva de calibración (% $D=0,040.C$). Los resultados se expresaron como μ moles equivalentes de Trolox/100 g de muestra en base seca (bs) (μ mol Tx/100 g_{bs}).

2.2.1.2. Frutas

Se realizó el análisis fisicoquímico de las frutas ensayadas, en estado fresco y congelado, a través de diferentes metodologías típicas para este tipo de alimento. El conocimiento de las características físicas de las frutas regionales (dimensiones y peso), como así también el rendimiento de cada fruta, es relevante para su posible industrialización. La utilización plena de las frutas, incluidas las semillas como en el caso del mamón, conduciría a generar menos residuos y a aumentar la rentabilidad industrial.

Por otro lado, la caracterización funcional permite conocer el tipo y contenido de compuestos activos presentes en cada materia prima, no sólo a fin de incluirlos en las matrices a desarrollar sino también abriendo la perspectiva a otros posibles usos en la industria alimentaria.

2.2.1.2.1. Dimensiones y rendimiento

Se midió la altura y el diámetro de las frutas empleando un calibre electrónico digital (Schwiz, Argentina). El peso de mamones y pomelos se determinó en balanza electrónica (ACCULAB, ALC-6100.1, Alemania) con precisión $\pm 0,1$ g y el peso de las moras en balanza electrónica (OHAUS ® Pioneer, Alemania) con precisión $\pm 0,0001$ g.

En el caso de pomelos y mamones se determinó el rendimiento de fruta y partición de componentes (pulpa, semilla, receptáculo) a partir de la separación manual de cáliz y receptáculos en frutos enteros, seguido de la separación completa de semillas, tricomas y restos de pulpa y posterior extracción y cuantificación del jugo y pulpa. El rendimiento en moras se determinó eliminando los tallos y pesando la fruta completa debido a la imposibilidad de eliminación de sus semillas. Los porcentajes de estos componentes se definieron mediante balance de materia de la operación.

2.2.1.2.2. Color superficial

El cambio de color se utiliza como criterio para definir la madurez de una fruta. La transformación más importante es la degradación del color verde, la cual está asociada con la síntesis de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo (carotenoides) y el rojo-morado (antocianinas) (Cömert y col., 2020). Además, el color es un atributo sensorial importante debido a que suele ser la primera propiedad que el consumidor

observa y a través del cual valora un alimento antes de su compra o consumo (Spence y col., 2015).

El color superficial de las frutas, tanto de las cáscaras como de las pulpas, se evaluó con un colorímetro de superficie triestímulo (Chroma meter CR Serie 300, Minolta, Japón). El colorímetro se calibró con una placa estándar blanca ($Y=93.2$, $x=0.3133$, $y=0.3192$) y se utilizó iluminante D65 y $45^\circ: 0^\circ$ como geometría de medición. Las muestras se evaluaron por duplicado, tomando tres medidas de cada una y registrando las coordenadas del espacio CIELab: L^* , a^* y b^* . El parámetro L^* representa la luminosidad de la muestra, tomando valores entre 0 para el negro y 100 para el blanco. La coordenada a^* representa rojo para valores positivos y verde para los negativos. La coordenada b^* define amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos. Los resultados fueron expresados como los valores medios de los parámetros \pm desvío estándar.

Por otro lado, se calculó la diferencia de color total (ΔE) de las muestras de acuerdo a la siguiente ecuación (Ec. 2.6):

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde:

L_0^* , a_0^* y b_0^* : Valores del control correspondiente en cada caso.

L_1^* , a_1^* y b_1^* : Valores de la muestra.

2.2.1.2.3. Humedad

El contenido de humedad en las frutas se determinó por el método gravimétrico 931.04 (AOAC, 1990). Se pesaron 2 g de muestra en crisoles de porcelana previamente tarados y se colocaron en estufa de convección forzada (Dalvo CHR/F/I, Argentina) a una temperatura de $105^\circ\text{C} (\pm 1^\circ\text{C})$ hasta obtener peso constante. Los resultados se expresaron como g agua/100g fruta. Todas las medidas se realizaron por triplicado.

2.2.1.2.4. Actividad acuosa

Las frutas, al igual que otros vegetales, tienen valores de actividad acuosa (a_w) en el rango óptimo (0,97 - 1,00) para el crecimiento y proliferación de la mayoría de los microorganismos (Alegbeleye y col., 2022). Por lo tanto, es importante su control en los sistemas donde se incorporen estos alimentos.

Se utilizó un medidor de actividad acuosa (Testo 650, Portugal), que mide la a_w de las muestras siguiendo la metodología de los sensores de punto de rocío (método 978.18, AOAC 1990). En este tipo de equipos, la muestra se equilibra dentro de una cámara sellada que permite detectar la condensación. En el punto de equilibrio la humedad relativa del aire en la cámara es el mismo que la a_w de la muestra. Basado en el efecto Peltier, una célula fotoeléctrica y un termistor detectan el punto exacto en el que se produce la condensación y la temperatura, respectivamente. Se realizaron medidas por duplicado a 25 °C.

2.2.1.2.5. Cenizas

El contenido de cenizas se cuantificó de acuerdo al método 940.26 (AOAC, 1990). Los crisoles con las muestras secas provenientes de la determinación de humedad se llevaron a mufla siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.2.1.1.6.

2.2.1.2.6. Textura

La textura es un atributo de calidad utilizado en la industria de los alimentos, tanto frescos como procesados, para evaluar su aceptabilidad y calidad. Las pruebas de compresión y punción son métodos comunes para medir propiedades de textura en alimentos como frutas (Gunnness y col., 2009). En este tipo de alimentos, la textura está determinada por la fuerza de la pared celular, la elasticidad, la disposición celular, la densidad, la unión célula-célula y la turgencia. Asimismo, los factores que influyen en la textura pueden cambiar sustancialmente antes o después de la cosecha, debido a cambios en el tamaño de las células, la adhesión intercelular, la conversión almidón/azúcar, la pérdida de agua, la composición y la resistencia de las paredes celulares (Toivonen y Brummell, 2008).

Uno de los ensayos más utilizados en alimentos es el análisis de perfil de textura (en inglés, TPA “texture profile analysis”), el cual consiste en comprimir dos veces consecutivas la muestra mediante una pieza que actúa sobre el alimento simulando las condiciones de masticación. El registro de la respuesta es una curva fuerza-tiempo similar a la mostrada en la Figura 2.4.

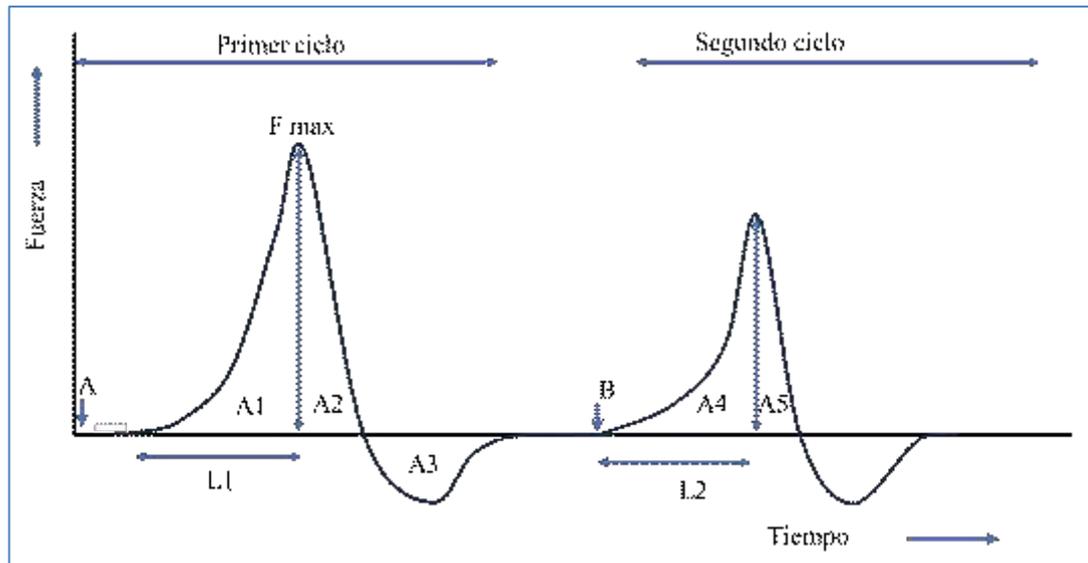


Figura 2.4. Patrón de una muestra en un ensayo típico de TPA.

Como muestra la Figura 2.4, el punto A marca el comienzo de la primera compresión (primer mordisco) y el B, el de la segunda (segundo mordisco). Los parámetros que se obtienen de las curvas son varios, ya sea por medida directa o por cálculo de superficies, entre ellos:

- Dureza: corresponde a la altura máxima del primer pico relacionada con la resistencia a la compresión.
- Cohesividad: relación entre las áreas del primero y del segundo pico $(A1+A4)/(A2+A5)$. Es directamente proporcional al trabajo necesario para vencer las fuerzas internas del material.
- Elasticidad: se determina realizando el cociente de la distancia desde el inicio del primer ciclo hasta la fuerza máxima del segundo ciclo, respecto a la distancia entre el inicio del primer ciclo y la fuerza máxima del mismo. Es la habilidad para recuperar la forma original y está relacionada a la altura que el material recupera entre el final de la primera compresión y el comienzo de la segunda.
- Adhesividad: área de la curva negativa correspondiente a la primera descompresión (A3). Representa el trabajo negativo necesario para retornar el émbolo desde el final de la primera compresión a su posición inicial.
- Resiliencia: relación entre las áreas del primer pico $(A4/A1)$. Es la capacidad que tiene el alimento de volver a su forma original.
- Consistencia: se determina realizando la suma de las áreas de la primera y la segunda compresión $(A1+A2)$. Representa la solidez del alimento.

i. Ensayo de punción

Se realizaron ensayos de punción en mamones, pomelos y moras en estado fresco y congelado. Las condiciones del ensayo se mantuvieron constantes para cada una de las frutas analizadas, se cortaron en cubos de $15 \times 15 \times 15$ mm de espesor, a excepción de las moras que fueron analizadas enteras por la limitación a los cortes. Las pruebas se realizaron en un texturómetro (Texture Analyzer TA.X2Ti, Stable Micro Systems, Reino Unido), utilizando una sonda de punción múltiple (SMS P/3, 3 mm diámetro) (Figura 2.5.a). Se midió la fuerza en compresión con una velocidad de pre-ensayo de 5 mm/s, velocidad de ensayo de 1 mm/s, velocidad de post-ensayo de 5 mm/s, distancia 50%, fuerza 0,05 N y velocidad de adquisición de 10 pps.



Figura 2.5. Fotografías del texturómetro mostrando las sondas utilizadas:

a) Ensayo de punción. b) Ensayo de TPA.

ii. Análisis de perfil de textura

El ensayo TPA se realizó con mamones y pomelos cortados en cubos $10 \times 10 \times 10$ mm y con frutas enteras de moras ($25 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}$, aproximadamente). Cada muestra se colocó en la base del texturómetro y se sometió a doble compresión con sonda RP35 (35 mm de diámetro) (Figura 2.5.b), a una velocidad de ensayo de 1 mm/s, hasta 20 % respecto a la altura inicial de la muestra para la primera y segunda compresión, con un tiempo de espera entre etapas de compresión de 5 s, a una fuerza de 0,05 N, velocidad de adquisición de 200 puntos/s, velocidad de pre y post-ensayo de 5 mm/s. A partir de las

curvas obtenidas se calcularon los valores de dureza, cohesividad, elasticidad, adhesividad, resiliencia y consistencia, como se mencionó anteriormente (Figura 2.4).

2.2.1.2.7. Preparación de extractos frutales y de semillas de mamón

Se prepararon extractos acuosos de las frutas para ser utilizados en las determinaciones fisicoquímicas y extractos etanólicos para la determinación de compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante total. Para ambos tipos de extracto se partió de la fruta procesada. Para ello, las muestras de frutas frescas o descongeladas (en condiciones estandarizadas, a 25 °C durante 1h), fueron procesadas con una procesadora manual tipo mixer (ATMA, Argentina) obteniendo mezclas de jugo y pulpa para el caso de pomelo y de moras (en esta última incluía sus semillas). En cambio, durante el procesamiento del mamón se observó que al triturarlo se obtenía una pasta difícil de separar en jugo y pulpa, por lo cual se utilizó esta fruta en formato de pulpa.

En el caso de la extracción en medio acuoso, se utilizó una concentración de 0,1 g de fruta procesada por mL de agua destilada, se agitó durante 30 min con agitador orbital y luego se filtró, primero con tela filtrante, y después con embudo y papel de filtro Whatman N° 1.

Por otro lado, se prepararon los extractos etanólicos tomando 0,1 g de la fruta procesada por mL de etanol (Merck, Alemania) al 20 % (v/v), procediendo luego a la homogeneización de esta mezcla en un equipo homogeneizador Ultra-Turrax T-25 (IKA-Labortechnik, Alemania) a una velocidad de rotor de 15000 rpm durante 2 min. Luego, se agitó durante 30 min en agitador orbital y se filtró la muestra con papel de filtro Whatman N° 1.

En el caso de las muestras de semillas de mamón, se pesaron 50 g de semillas en 100 mL de agua destilada y se trituró la mezcla con la procesadora manual tipo mixer, procediendo luego a la filtración con tela y papel de filtro como se indicó para las frutas. Para la preparación del extracto de semillas de mamón se tomaron 5 g de la solución filtrada y se agregó 25 mL de etanol al 20 % (v/v), luego se procedió a la homogeneización, agitación y filtración como se describió para los extractos etanólicos.

En todos los procedimientos anteriores, las muestras se cubrieron de la luz con papel aluminio y se almacenaron en frascos de color ámbar.

2.2.1.2.8. pH

La determinación se realizó de acuerdo al método potenciométrico descrito en la sección 2.2.1.1.4.

2.2.1.2.9. Acidez titulable

La acidez titulable total (ATT) mide la concentración total de ácido en un alimento y particularmente en las frutas se utiliza, junto con el contenido de azúcar, como indicador de madurez. Los ácidos orgánicos (cítrico, málico, láctico, tartárico y acético) influyen en el sabor, el color (a través de su impacto en las antocianinas y otros pigmentos influenciados por el pH), la estabilidad microbiana (a través de las características de sensibilidad al pH inherentes a los organismos) y la calidad de conservación (derivada de las distintas sensibilidades químicas de los componentes alimentarios al pH) (Sadler y Murphy, 2010).

La acidez de los extractos de frutas se determinó por el método volumétrico (942.15, AOAC 1990), mediante una titulación ácido-base utilizando fenolftaleína como indicador. En extractos acuosos de frutas de moras, la coloración rojiza no permitía observar el viraje del indicador, por lo tanto, se determinó el pH durante el desarrollo de la reacción y se tomó como punto final 8,2 que corresponde al pH en que se presenta el viraje del indicador. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Para calcular el porcentaje (%) de acidez se empleó la siguiente ecuación (Ec. 2.7):

$$\% \text{ acidez} = \frac{Vb \times N \times meq}{V} \times 100 \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

Vb = Volumen de Na(OH) consumido en mL.

N = Normalidad del agente titulante (base estandarizada).

meq= miliequivalentes del ácido predominante en la muestra (Para pomelos: meq. Ac. cítrico: 0,06404 y para moras y mamones: meq. Ac. málico: 0,067).

V = Alícuota en mL de muestra (titulada).

2.2.1.2.10. Sólidos solubles totales

Uno de los aspectos que refleja la madurez del fruto es el comportamiento de los sólidos solubles totales (SST) o grados Brix. El contenido de SST está constituido por 80

a 95% de azúcares y está asociado a los azúcares disueltos en el jugo celular. La cantidad de azúcares en el fruto depende principalmente de la variedad, de las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto, del estado de desarrollo y de la madurez (Lado y col., 2018).

La determinación de los sólidos solubles totales en las frutas se realizó de acuerdo al método 932.12 (AOAC, 1990), según lo descrito en la sección 2.2.1.1.2.

2.2.1.2.11. Índice de madurez

El grado de madurez es el índice más usado para la cosecha de frutos, entendiéndose por madurez el punto adecuado de consumo que se alcanza luego de ciertos cambios en el color, textura y sabor de los mismos. Es importante la relación entre SST y la acidez titulable en el sabor del fruto, teniendo en cuenta que cuando el fruto tiene un contenido alto de azúcares, el nivel de los ácidos debe ser suficientemente elevado. El grado de madurez (IM) o ratio se obtuvo a través de la relación entre el valor mínimo de sólidos solubles totales (°Bx) y el valor máximo de acidez de la fruta (Ec. 2.8):

$$IM = \frac{^{\circ}Bx}{\% \text{ Acidez}} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

2.2.1.2.12. Compuestos bioactivos de las frutas

El contenido de polifenoles totales y flavonoides y la capacidad antioxidante por ABTS y DPPH• de los extractos de frutas se cuantificaron con los mismos métodos y procedimientos descritos en la sección 2.2.1.1.8. para la miel. Además, se determinó el contenido total de antocianinas y ácido ascórbico, como se detalla a continuación.

2.2.1.2.13. Antocianinas monoméricas

Las antocianinas pueden estar en diferentes estructuras reversibles en función del pH, lo que se manifiesta con cambios en sus espectros de absorción. A pH 1.0 las antocianinas existen en la forma altamente coloreada y a pH 4.5 están predominantemente en forma incolora. La concentración de antocianinas monoméricas se determinó por el método de pH diferencial (Giusti y Wroslad, 2003), donde una alícuota de una solución acuosa de antocianinas se lleva a pH 1,0 y otra a pH 4,5 y la diferencia en la absorbancia entre

ambas, a la longitud de onda de máxima absorción, es proporcional al contenido de antocianinas.

En el caso de la determinación de antocianinas en moras, los extractos se prepararon a partir de 0,2 g de fruta por mL de etanol 96 % v/v como solvente, luego se trituró la mezcla con una procesadora manual tipo mixer y se dejó macerar durante 12 h a 4 °C. Luego, se filtró con malla plástica y se guardó en frascos color ámbar a 4 °C. El fruto remanente se maceró durante 6 h con 50 mL adicionales de etanol 96 % v/v para agotar la extracción. Pasado dicho tiempo se reunieron los extractos y se filtró con papel de filtro Whatman N° 1 y se conservaron al abrigo de la luz hasta el momento de su análisis.

Para la realización de la medida, se tomó 500 µL de muestra más 2000 µL de solución buffer de pH 1,0, se agitó y se dejó en reposo durante 20 min. Luego, se midió la absorbancia a 510 nm, diluyendo la muestra previamente de forma tal que a pH 1,0 tuviera una absorbancia comprendida en el rango de 0,1 a 1,0. Posteriormente, y con el propósito de efectuar la corrección de la turbidez en la medida debida a la presencia de compuestos degradados o sustancias interferentes, se midió la absorbancia de las muestras a 700 nm. La misma dilución y procedimiento se realizó utilizando 500 µL de muestra y 2000 µL de la solución buffer de pH 4,5. En este caso también se midieron las absorbancias a 510 y 700 nm. Todas las medidas se realizaron por triplicado. La concentración de las antocianinas se expresó como mg cianidina-3-glucósido/100 g de muestra en base seca (mg Cyd - 3 glu/100 g bs), calculada de acuerdo a las siguientes expresiones, Ec. 2.9 y 2.10 (Giusti y Wrolstad, 2003):

$$\Delta A = (A_{510} - A_{700})_{pH=1} - (A_{510} - A_{700})_{pH=4.5} \quad (\text{Ec. 2.9})$$

$$AT \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\Delta A \times PM \times FD \times 1000}{\epsilon \times l} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde AT: antocianinas totales, ΔA: diferencia de absorbancia, PM: peso molecular para cianidina-3-glucósido (449,2 g/mol), FD: factor de dilución, ε: coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido (26900 L.cm⁻¹.mol⁻¹), l: longitud de paso de celda, 1cm, 1000: factor de conversión de g a mg.

2.2.1.2.14. Ácido ascórbico

Se determinó el contenido de ácido ascórbico en las frutas a través de cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC), siguiendo la metodología de Nojavan y col. (2008)

con algunas modificaciones. Para la preparación de los extractos se pesaron $2 \pm 0,05$ g de fruta procesada en tubos cónicos, se agregó 10 mL de ácido metafosfórico (5 % p/v, Merck, Alemania) y se agitó en vórtex durante 5 min. Luego, las muestras se sonicaron (30 kHz, 50 % de amplitud, 3 min) usando una punta sonicadora (Sonics and Materials, Inc., EE.UU.) a fin de asegurar una dispersión completa de los agregados de fruta. Las muestras se filtraron con papel de filtro Whatman N°1 y el líquido obtenido se pasó a tubos Eppendorf y se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 min. El sobrenadante se filtró en membrana de $0,45 \mu\text{m}$ (MicronSep, EE.UU.) para luego ser utilizado en las medidas cromatográficas.

La determinación de ácido ascórbico en los extractos de frutas se realizó en un equipo HPLC (Waters, modelo R-414, EE.UU.) que opera con una bomba binaria y un detector óptico de índice de refracción Waters 2998 y otro de arreglo de diodos. Se llevó a cabo un procedimiento de elución isocrática con detector UV-visible a 245 nm. Se utilizó una columna C18, $150 \times 4,6$ mm (WAT 045905, Irlanda). Como fase móvil se utilizó una mezcla (93:7) de ácido metafosfórico (0,5 % p/v en agua Milli-Q) y acetonitrilo (Merck, Alemania), a un caudal de 0,4 mL/min. El volumen de inyección fue de 20 μL y las medidas se realizaron al menos por duplicado. Los picos cromatográficos fueron identificados y comparados con los tiempos de retención de una curva de calibración realizada con un patrón de ácido ascórbico (Sigma-Aldrich, EE.UU.), en un rango de concentraciones 2 - 200 $\mu\text{g/mL}$ ($A=0,885.C$). Los resultados obtenidos se expresaron como mg de ácido ascórbico/100 g muestra (mg AA/100 g $_{\text{bs}}$).

2.2.1.2.15. Carotenoides

El nivel de carotenoides fue determinado a partir de una ecuación que vincula el color de la fruta con el contenido de este compuesto activo. Se utilizó la ecuación de Itle y Kabelka (2009). Si bien la ecuación ha sido formulada para correlacionar el color y el contenido de carotenoides en zapallos, fue la que más se aproximó debido a la cercanía de color de este vegetal con el mamón. Dicha ecuación utiliza la coordenada a^* del espacio de color CIEL*a*b*:

$$C = 6,1226 + 1,706 \times a^* \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde C es el contenido total de carotenoides de la fruta ($\mu\text{g/g}_{\text{bs}}$)

2.2.2. Elaboración de las matrices para la formación de recubrimientos y películas

2.2.2.1. Matrices a base de almidón, glicerol y miel

Con el objetivo de seleccionar la concentración de almidón óptima para la generación de recubrimientos y películas estables, se prepararon matrices a partir de almidón de mandioca y agua destilada. Se ensayaron tres concentraciones de almidón: 3, 4 y 5 % p/v, de acuerdo a Luchese y col., (2017a). Como plastificante se utilizó una mezcla de glicerol (99,5 % glicerina anhidra, Cicarelli, Argentina) y miel, en diferentes proporciones en relación al total de plastificante incorporado en la matriz (1,5 % p/v, es decir 37,5 % p/v respecto del almidón). En la Figura 2.6 se muestran las formulaciones ensayadas:

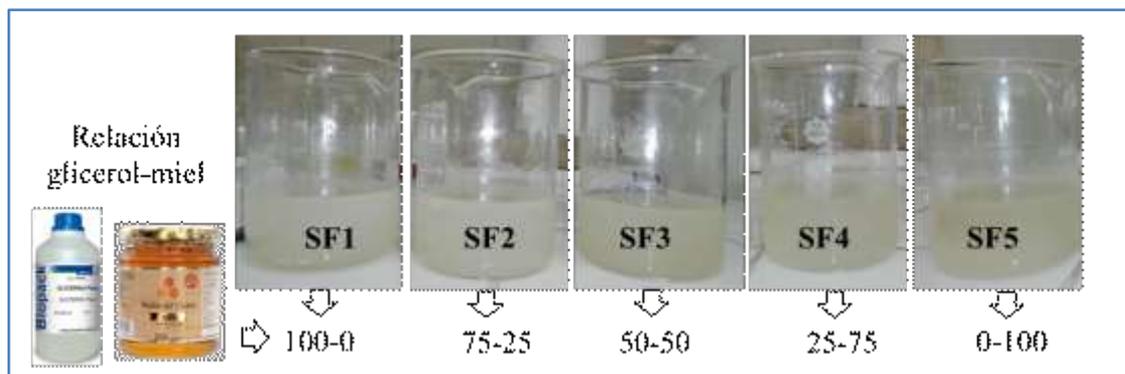


Figura 2.6. SF de las matrices base conteniendo almidón de mandioca (3, 4 y 5 % p/v) y diferentes proporciones de glicerol y miel (total de plastificante 1,5 % p/v).

Cada formulación se preparó mezclando el plastificante con agua destilada agitando durante 5 min en un agitador magnético (150 rpm) a temperatura ambiente. Luego, se añadió el almidón de mandioca con agitación hasta su completa disolución y se calentó a 90 °C durante 20 min para asegurar la completa gelatinización del almidón. Este proceso ocurre a temperaturas alrededor de 70 °C, en un rango entre 51,5 °C y 84,2 °C, en las suspensiones de almidón de mandioca (Luchese, 2017^a, López y García, 2012). Luego, se interrumpió el calentamiento y se continuó la agitación de la mezcla durante 5 min más para permitir la eliminación de las burbujas de aire. La mezcla se dejó en enfriamiento aproximadamente 1 h a temperatura ambiente. Se preparó un control (SF0), sin plastificantes.

Además, a fin de verificar la gelatinización completa del almidón de mandioca se observaron las modificaciones de los gránulos de almidón en un microscopio binocular (CETIEX30, Argentina) con cámara adaptada (OD300M). Para ello, se tomaron muestras de las suspensiones sin y con miel a diferentes tiempos durante el calentamiento y se

colocaron en portaobjetos diluyendo con una gota de agua estéril. Se registró la temperatura de las suspensiones con termómetro digital a cada tiempo ensayado y se obtuvieron las micrografías de los sistemas evaluados.

2.2.2.1.1. Preparación de películas a partir de las matrices de almidón, glicerol y miel

Las matrices base fueron ensayadas para la obtención de películas a través del método de “casting” o de moldeo. Para ello, se colocaron 20 g de las suspensiones gelatinizadas en placas de Petri y se secaron en la estufa de convección forzada a 37 °C durante 24 h para obtener las películas. Antes de cada ensayo, las películas se estabilizaron en recipientes cerrados conteniendo una solución saturada de nitrato de magnesio (a_w 0,529 a 20 °C) durante 5 días.

2.2.2.2. Matrices con agregado de jugo y pulpa de frutas

Con el objetivo de incorporar las frutas (mora: Mo, pomelo: Po, mamón: Ma) en las matrices desarrolladas a base de almidón, glicerol y miel, se ensayaron dos formas de agregado: jugo (5, 10, 15 % p/v) y pulpa (3, 6, 9 % p/v). Cabe aclarar que, como ya se mencionó, en el caso del mamón sólo se ensayó en formato de pulpa debido a la dificultad para separar su jugo. En ese caso, la matriz se formó mezclando jugo de pomelo al 10 % p/v y agregando la pulpa de mamón (3, 6, 9 % p/v). La Tabla 2.1 muestra la nomenclatura utilizada en las diferentes formulaciones.

Tabla 2.1. Nomenclatura utilizada para las matrices frutales

Fruta	Forma de agregado	Nomenclatura
Mora (Mo)	Jugo	F5JMo, F10JMo, F15JMo
	Pulpa	F3PMo, F6PMo, F9PMo
Pomelo (Po)	Jugo	F5JPo, F10JPo, F15JPo
	Pulpa	F3PPo, F6PPo, F9PPo
Mamón (Ma)	Pulpa	F3PMa, F6PMa, F9PMa

Se tomaron porciones de frutas almacenadas congeladas, se descongelaron a 25 °C durante 1 h y se trituraron durante 10 min en procesadora manual tipo mixer (ATMA, Argentina). Luego se realizó la separación de jugo y pulpa con colador de malla plástica. Las matrices con frutas se prepararon en forma similar a las formulaciones bases (sección

2.2.2.1.), reemplazando parte del agua por jugo (5, 10 y 15 % p/v) de moras o de pomelo, y por pulpa (3, 6 y 9 % p/v) de moras, pomelo o mamón. Estas frutas tienen alrededor de un 70 - 90 % de contenido de agua (Ercisli y Orhan, 2007, Vera-Guzmán y col., 2019), por ello jugo y pulpa se consideró como parte del agua de formación de la matriz. Las frutas se agregaron a la mezcla de almidón gelatinizado, glicerol y miel, en la etapa final luego de la eliminación de las burbujas de aire, a 25 °C para proteger los compuestos activos de las frutas. Luego, se continuó con el moldeo y secado de las matrices filmogénicas (denominadas anteponiendo la letra S a la nomenclatura descripta en la tabla 2.1, por ej. SF-5JMo) para generar las películas como se indicó en el caso de las matrices base (sección 2.2.2.1.1.).

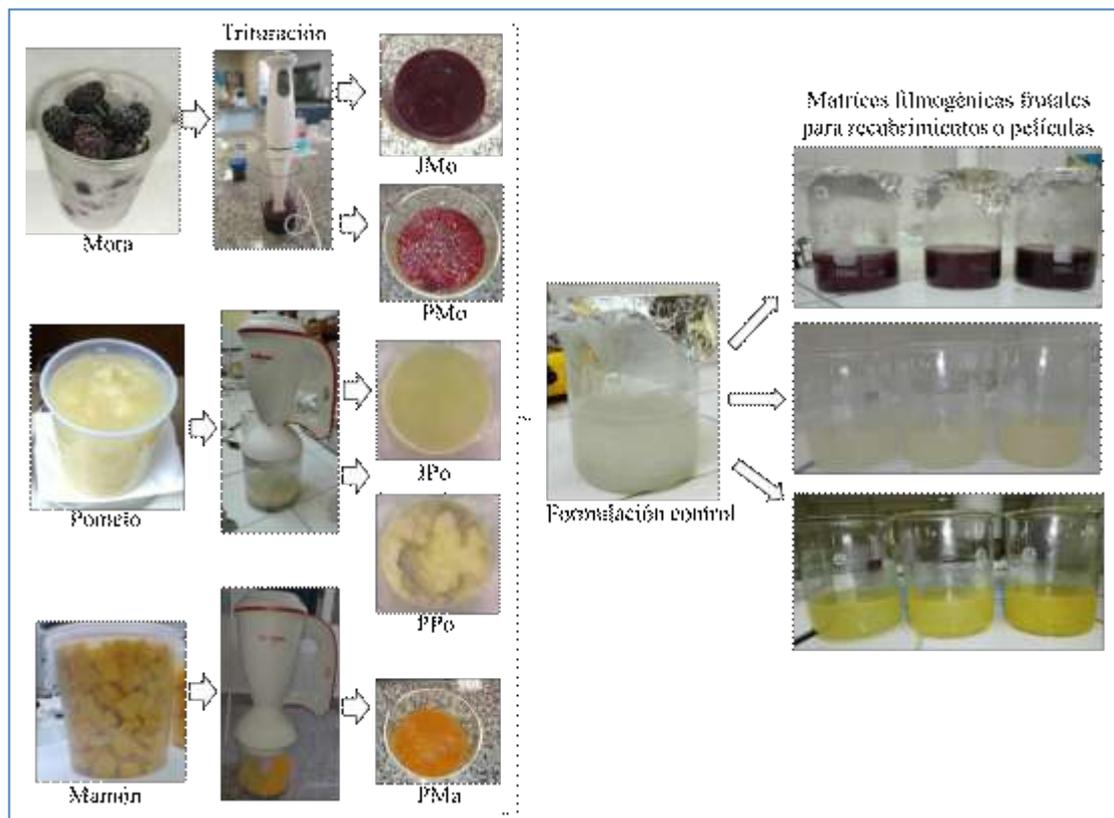


Figura 2.7. Proceso de incorporación de frutas de mora, pomelo y mamón a las matrices filmogénicas.

2.2.3. Caracterización fisicoquímica y funcional de las matrices

2.2.3.1. pH

La medida de pH de las suspensiones filmogénicas se realizó de acuerdo a lo descripto en la sección 2.2.1.1.4.

2.2.3.2. Propiedades reológicas

Desde el punto de vista del comportamiento mecánico del producto a desarrollar y del diseño de operaciones básicas, como el bombeo y el mezclado, el comportamiento de flujo constituye uno de los criterios más importantes utilizados en la industria.

Las características reológicas de las suspensiones filmogénicas se midieron en un reómetro Rheo Stress 600 ThermoHaake (Haake, Alemania) utilizando un sistema plato-plato PP35 (Figura 2.8) a temperatura controlada (20 °C) por un baño de agua circulante Haake (Karlsruhe, Alemania). El equipo se operó con el software Rheowin 4.0 Job Manager y los datos experimentales se analizaron con el software Rheowin 4.0 Data Manager.



Figura 2.8. Medida de comportamiento reológico de las suspensiones filmogénicas. Reómetro oscilatorio. Facultad de Ingeniería (UNLP).

Se realizaron ensayos transientes y dinámicos, como se describe a continuación:

2.2.3.2.1. Ensayos transientes

Se utilizó el modo rotacional del reómetro para investigar el comportamiento de flujo de las matrices desarrolladas. Para ello, se colocó la muestra en el sistema plato-plato y se dejó estabilizar 2 min a 20 °C. A través del software del equipo se programó la medida para registrar el esfuerzo de corte variando la velocidad de deformación desde 0 hasta 500 s⁻¹ durante 1 min, manteniendo a máxima velocidad durante ese mismo lapso y luego descendiendo con el mismo gradiente y tiempo. Todas las medidas se realizaron al menos por duplicado.

Las curvas de esfuerzo de corte en función de la velocidad de deformación obtenidas para cada sistema se modelaron, utilizando el software del equipo, a través del modelo de Ostwald-de Waele, también denominado ley de la potencia (Steffe, 1996):

$$\sigma = K \times \dot{\gamma}^n \tag{Ec. 2.12}$$

Donde σ es el esfuerzo de corte (Pa), $\dot{\gamma}$ es la velocidad de deformación (s⁻¹), K es el índice de consistencia (Pa.sⁿ) y n es el índice de comportamiento de flujo. Si n es igual a 1 el fluido es newtoniano, si $n > 1$ el fluido es dilatante y si $n < 1$ el fluido es pseudoplástico. En la Figura 2.9 puede observarse el comportamiento de flujo de diferentes tipos de fluidos.

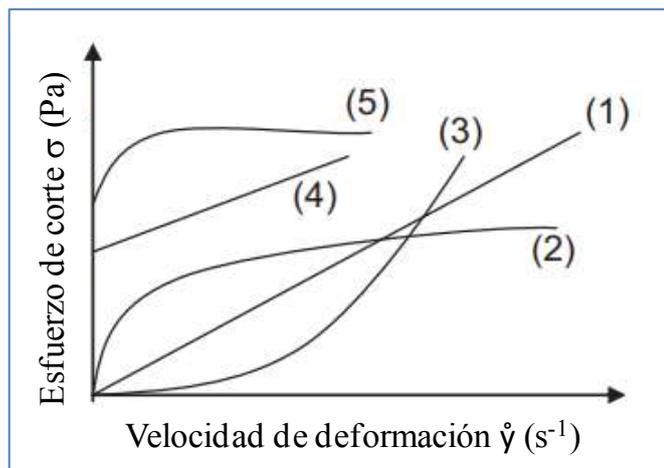


Figura 2.9. Esfuerzo de corte vs. velocidad de deformación de diferentes tipos de fluidos: (1) Newtoniano, (2) Pseudoplástico, (3) Dilatante, (4) Bingham, (5) Herschel-Bulkley.

A partir del modelo de la ley de la potencia se calculó la viscosidad aparente η_{ap} (mPa×s) de cada sistema a 500 s^{-1} , utilizando la siguiente ecuación:

$$\eta_{ap} = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

2.2.3.2.2. Ensayos dinámicos

A fin de caracterizar el comportamiento viscoelástico de las matrices se realizaron ensayos en el modo dinámico del reómetro. En primer lugar, se realizaron barridos de esfuerzo (0,01 - 1 Pa) a frecuencia constante (1 Hz) para determinar el rango de viscoelasticidad lineal, es decir, el rango donde la muestra se deforma sin sufrir ruptura estructural. En esta región, la relación entre el esfuerzo y la deformación sólo es función del tiempo o de la frecuencia, es decir que no depende de la magnitud del esfuerzo aplicado. Luego de obtenido dicho rango, se realizaron barridos de frecuencia (0,06 a 100 Hz) a un valor de esfuerzo constante dentro de los límites de la linealidad. Los espectros mecánicos se obtuvieron graficando el módulo de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'') en función de la frecuencia. Los resultados se tomaron como el promedio de dos determinaciones.

2.2.4. Caracterización fisicoquímica y funcional de las películas

2.2.4.1. Espesor

Se evaluó el espesor de cinco películas de cada formulación con un medidor de espesor (microprocessor CM-8826FN Coating Thickness Meter, EE.UU.) en cinco puntos diferentes en cada película: centro, lados superior e inferior y derecha e izquierda. Los valores informados corresponden al promedio de las mediciones.

2.2.4.2. Color superficial

La medición del color en diferentes puntos de las películas se realizó de acuerdo a lo descrito en la sección 2.2.1.2.2., colocando la película en un fondo blanco para su evaluación. Se informaron los valores promedio de luminosidad L^* y de las coordenadas de cromaticidad a^* y b^* de las películas.

2.2.4.3. Humedad

El contenido de agua de las películas se determinó de acuerdo a lo descrito en la sección 2.2.1.2.3. y se informó como g agua por cada 100 g de película (g/100 g).

2.2.4.4. Hinchamiento

El nivel de hinchamiento de las películas se determinó de acuerdo a Slavutsky y Bertuzzi (2014), con algunas modificaciones. Se cortaron discos de 20 mm de diámetro de cada film, se secaron en horno a 70 °C durante 2 h, se pesaron (masa seca inicial), y luego se sumergieron en un vaso de precipitados con 30 mL de agua destilada y se mantuvieron en esa condición a 25 °C durante 1 h. Antes de la pesada final (masa final) se eliminó el agua superficial con papel de filtro. El porcentaje de aumento de peso representó el porcentaje de hinchamiento por absorción de agua de las películas. Los resultados se tomaron como el promedio de tres determinaciones.

2.2.4.5. Solubilidad

La solubilidad de las películas se evaluó procediendo de la misma forma que en la determinación del grado de hinchamiento, con la diferencia de que el tiempo de inmersión de las muestras en agua fue de 24 h. Los trozos de película restantes después de la hidratación se filtraron con papel de filtro y se secaron nuevamente en un horno a 70 °C durante 2 h. El porcentaje de pérdida de peso se consideró como la solubilidad en agua de las películas.

2.2.4.6. Permeabilidad al vapor de agua

La velocidad de transmisión de vapor de agua o permeabilidad al vapor de agua (WVP, water vapor permeability, en inglés) se mide como la masa de agua que atraviesa una superficie determinada de un material en un tiempo determinado. Esta es una propiedad importante para los materiales destinados a packaging ya que está relacionada con la vida útil y estabilidad del producto envasado (Baschetti y Minelli, 2020).

La WVP de las películas se midió gravimétricamente según el método ASTM E96 (ASTM, 2000). En esta metodología se obtiene la permeabilidad indirectamente, cuantificando el índice de movimiento de vapor de agua a través de la película mediante los cambios de peso debido a la transferencia de humedad. Se utilizaron cajas de acrílico

conteniendo gel de sílice para producir un 0 % de humedad relativa por debajo de la película. Las muestras de film (5 cm de diámetro) se fijaron firmemente en las celdas de permeabilidad con abertura de área conocida, 0,0182992 m². Las cajas de permeabilidad, una vez ensambladas y con las películas correctamente selladas a las mismas, se pesaron y ubicaron en un ambiente de humedad relativa constante (75 % de humedad controlada con solución saturada de cloruro de sodio) y temperatura controlada (25 °C). La humedad relativa dentro de las cajas siempre fue menor que afuera y la diferencia de presión parcial de vapor de agua existente a ambos lados del film proporcionó la fuerza impulsora para el flujo de vapor a través de la película. El transporte de vapor de agua se determinó a partir de la ganancia de peso de la celda de permeabilidad. Se midió el aumento de peso de las cajas en intervalos de 2 h durante 8 h.

La velocidad de transferencia de vapor de agua se determinó a partir de la pendiente de la recta de ganancia de peso vs. tiempo (g/h) para cada caja. La velocidad de transmisión de vapor de agua de la película se calculó a partir de dicha pendiente por unidad de área de película expuesta (m²) y se expresó como (g/s×m×Pa). La WVP se calculó usando la siguiente fórmula:

$$WVP = (P \times e / A) / \Delta P \quad (Ec. 2.14)$$

Donde P es la pendiente, e es el espesor de la película (m), A es el área de contacto y ΔP es la diferencia parcial de la presión del vapor de agua (Pa) entre los dos lados de la película (3130 Pa, 25 °C). Los valores son el promedio de tres determinaciones.



Figura 2.10. Medida de WVP de películas.

2.2.4.7. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas se determinaron usando el método ASTM D 882-02 con un texturómetro (CT3-4500, Brookfield Engineering Laboratories, Middleboro, MA, EE. UU.) provisto de un sistema de agarres de tracción A/TG (sonda TA3/100, celda de voltaje de 100 N). Se realizaron ensayos de fuerza en tensión. Las películas se cortaron en trozos de 70 mm × 10 mm de área a 20 °C. Durante la prueba, se retuvieron 24 mm de las películas dentro de las mordazas del equipo (Figura 2.11). La longitud inicial (L) de la película se tomó como 46 mm. Se llevaron a cabo pruebas de medición de la fuerza de tensión, estirando la película a una velocidad de 1 mm/s, fuerza 0,1 N, velocidad post-prueba 5 mm/s, distancia 60 mm. La elongación a la ruptura se determinó utilizando datos del gráfico registrado por el equipo, mientras que el módulo elástico se obtuvo como el valor de la pendiente de la curva de esfuerzo de tensión frente al porcentaje de elongación (ϵ). El esfuerzo de tensión (σ) y la elongación al máximo esfuerzo ($\epsilon_{\text{máx}}$) se determinaron utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = \frac{F}{e} \text{ (MPa)} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

$$\epsilon_{\text{max}} = \frac{\epsilon_r}{L} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde F es la fuerza máxima (N) y e (m) es el espesor de la película, ϵ_r es la elongación a la ruptura, L es la longitud de ensayo entre las mordazas. Los valores de los parámetros informados son el promedio de al menos cinco determinaciones.



Figura 2.11. Ensayo de textura en tensión realizado en muestras de películas.
Universidad Nacional del Chaco Austral (UNCAUS).

2.2.4.8. Microestructura

2.2.4.8.1. Análisis a través de microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microestructura de las películas se evaluó con un microscopio electrónico de barrido (FEI modelo Quanta 200, Países Bajos) (Figura 2.12), utilizando un voltaje de aceleración de 10 kV. Las muestras se montaron en bloques de bronce con una cinta de doble faz y se cubrieron con una capa de oro (40 - 50 nm), permitiendo así la visualización de las superficies y secciones transversales a 300 ×, 600 ×, 1500 × y 2500 ×.



Figura 2.12. Microscopio electrónico de barrido. Facultad de Ingeniería (UNLP).

2.2.4.8.2. Análisis de textura por imágenes

Esta técnica permite obtener datos a partir de imágenes digitalizadas, proporcionando evaluaciones objetivas de las características morfo-colorimétricas de las muestras (Pieniazek y Messina, 2018). En la industria alimentaria el método más usado es la textura estadística calculada con el algoritmo de la matriz de co-ocurrencia de niveles de grises (GLCM, Gray Level Co-occurrence Matrix, por sus siglas en inglés). También suelen usarse los modelos basados en la textura donde se utilizan algoritmos fractales. En el Anexo de esta tesis se encuentran detallados ambos métodos. Las técnicas fractales pueden ser herramientas particularmente útiles para caracterizar la morfología de los alimentos porque las estructuras altamente irregulares de muchos materiales alimentarios eluden la cuantificación precisa por medios convencionales. Las dimensiones fractales medidas también se han relacionado con la funcionalidad del producto, el historial de procesamiento o las condiciones de almacenamiento.

En esta tesis se utilizaron los métodos de textura estadística (GLCM) y modelos basados en la textura (modelos fractales) para analizar la textura de imágenes de SEM. La dimensión fractal y lacunaridad se estimaron mediante un método de conteo de cajas con el complemento FracLac v2.5e del software ImageJ (software Java de código abierto versión 1.52a, National Institutes of Health, Bethesda, MD, EE.UU.). Se tomaron triplicados de imágenes de SEM, se convirtieron en escala de grises (8 bits) y se

transformaron en imágenes binarias para calcular la dimensión fractal y la lacunaridad. Se aplicó el algoritmo GLCM usando el software MATLAB ® (Versión R2007b, The Math Works Inc., EE.UU.), obteniéndose cinco parámetros de imagen (contraste, correlación, energía, homogeneidad y entropía).

2.2.4.9. Estabilidad en medio ácido-neutro-básico

Para evaluar la estabilidad de las películas en soluciones ácidas y alcalinas se realizó el método descrito por Medina Jaramillo y col. (2016) con algunas modificaciones. Se sumergieron trozos de película de 20 mm de diámetro en placas de Petri con 10 mL de soluciones estándar de ácido clorhídrico (pH = 3), agua destilada (pH = 7) e hidróxido de sodio (pH = 12). Las placas se sellaron y se mantuvieron a 25 °C durante 14 días. Los cambios en la apariencia de las muestras se registraron en tres días diferentes tomando fotografías con una cámara (Huawei Y6II-454E, China) a una resolución de 13 megapíxeles.

2.2.4.10. Biodegradabilidad en compost orgánico

La biodegradabilidad es el resultado de la degradación a partir de la susceptibilidad por la acción de microorganismos, en la biodegradación aeróbica los microorganismos tales como bacterias y hongos consumen el material orgánico, convirtiendo el carbono en parte de biomasa celular y otra parte en CO₂ y el hidrógeno en moléculas de agua. La biodegradabilidad no es sólo una función del origen sino también de la estructura química del polímero y de las condiciones de degradación en el medio ambiente (Mohanty y col., 2005).

Para la evaluación de la biodegradabilidad de las películas se cortaron muestras en discos de 40 mm de diámetro, se colocaron sobre un soporte de malla de plástico y se enterraron en recipientes a una profundidad de 4 cm desde la superficie para asegurar una degradación aeróbica. Como medio, se utilizó la propia microflora presente en el suelo utilizado, que tenía las siguientes características y composición: humedad: 20 - 25 %, cenizas: 35 - 40 %, relación C/N: 21, materia orgánica: 30 - 35 %, pH: 5,0 - 5,5 y conductividad eléctrica: 1,45 mmhos/cm. Los recipientes se acondicionaron a una temperatura controlada de 25 °C tomada como la condición ambiental media. Las películas se regaron una vez por semana con un rociador. Condiciones similares fueron

utilizadas por Medina Jaramillo y col. (2016) evaluando la biodegradabilidad de los envases compuestos de extractos de almidón y yerba mate. Una vez desenterradas las muestras y limpiadas cuidadosamente con un cepillo, se pesaron. La pérdida de peso (porcentaje) de las películas a diferentes tiempos (0, 7, 17, 40, 55, 85 y 100 días) se tomó como medida de la biodegradabilidad. En todos los casos, se realizaron inspecciones visuales de las películas después de haberlas extraído de los contenedores en los diferentes tiempos de prueba y se tomaron fotografías con una cámara (Huawei Y6II - 454E, China) a una resolución de 13 megapíxeles.

2.2.4.11. Determinación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante

Se determinaron las propiedades funcionales de las películas cuantificando los compuestos polifenólicos totales y flavonoides totales y la capacidad antioxidante por los métodos de DPPH• y ABTS, de acuerdo a los procedimientos descritos en la sección 2.2.1.1.8.

Para las muestras de películas se prepararon extractos etanólicos de acuerdo con el método utilizado por Piñeros - Hernández y col. (2016) con algunas modificaciones. Una muestra de 1 g de película se mezcló con 5 mL de solución etanólica al 20 % v/v preparada con etanol al 96 % y agua miliQ en un agitador magnético durante 30 min y luego se filtró con papel de filtro Whatman N°1. Los extractos se conservaron en frascos color ámbar al abrigo de la luz hasta el momento del análisis.

2.2.5. Análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos al menos por triplicado en cada ensayo fueron tabulados y evaluados a través de análisis de varianza ANOVA, empleando diferencias mínimas significativas del test de Tukey como método de comparación múltiple, con un nivel de confianza del 95,0 %. Dicho análisis se realizó con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo y col., 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**CAPÍTULO 3.
MATRICES DE
ALMIDÓN DE
MANDIOCA Y MIEL**

3. A. CARACTERIZACIÓN DE LA MIEL Y SU ROL EN MATRICES PARA RECUBRIMIENTOS

3. A. CARACTERIZACIÓN DE LA MIEL Y SU ROL EN MATRICES PARA RECUBRIMIENTOS

3.1. Desarrollo de matrices a base de almidón de mandioca, glicerol y miel

En este Capítulo se estudia y define la matriz base para la incorporación de los componentes de las frutas, evaluando la capacidad de formar películas estables al agregar cada ingrediente de la formulación. Los resultados de la investigación se dividieron en 2 secciones A y B.

En la presente sección A, se estudian las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la miel *Apis mellifera* de la región chaqueña y su efecto sobre el comportamiento reológico de suspensiones filmogénicas a base de almidón de mandioca, glicerol y miel.

Luego, en la sección B, se evalúa la influencia de la miel sobre las propiedades fisicoquímicas, mecánicas y sobre la microestructura de las películas generadas. Finalmente, a partir de dicha evaluación se define una formulación base que se utilizó en el siguiente capítulo para generar las matrices a base de frutas.

3.2. Caracterización fisicoquímica y funcional de la miel

El desarrollo de una matriz para uso como recubrimiento o película implica conocer la influencia que tendrá la composición y concentración de ingredientes sobre las características del producto final. En el caso de la miel producida por las abejas *Apis mellifera* de la región chaqueña, los resultados del análisis fisicoquímico (Tabla 3.1) muestran que cumple con los valores exigidos en el Capítulo X (Artículo 783 - Res 2256, 16.12.85) del Código Alimentario Argentino (CAA, 2023) en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas. Cabe destacar que la miel no sólo se utilizó en la formulación de las matrices sino que también se incluyó como ingrediente en el snack a desarrollar, por lo que es relevante su caracterización.

Tabla 3.1. Parámetros fisicoquímicos de la miel *Apis mellifera* utilizada en la formulación de las matrices y valores máximos permitidos según CAA.

Determinación	Resultado	Valores máximos según CAA
Color (mm Pfund)	99,0±0,7 (ámbar)	color variable desde casi incolora hasta pardo oscuro
Contenido de agua (%)	14,4±0,7	18
Acidez (meq/Kg de miel)	17,7±4,2	40
pH	3,9±0,2	-
HMF (mg/Kg de miel)	22,2±5,8	40
Cenizas (g/100g)	0,117±0,001	0,60

HMF: Hidroximetilfurfural

La miel producida por las abejas *Apis mellifera* presenta un color, un aroma y una textura distintivos según el néctar de la planta de la que procede y las condiciones ambientales. El color es un rasgo sensorial crítico para la tipificación de la miel y, junto con la consistencia, influye en las preferencias del consumidor. Además, puede incidir en el color del alimento, recubrimiento o película donde se la incorpore. Por ello, el precio de la miel en el mercado internacional se determina principalmente en función de su color. Las mieles con colores superiores a 114,0 mm Pfund se consideran oscuras y, por lo general, se comercializan con valores de precio inferiores. Salgado y Maidana (2014) analizaron diferentes mieles de la provincia del Chaco y encontraron una media de 67 mm Pfund (ámbar claro) en contraste con la media de 99 mm Pfund (ámbar) encontrada en esta tesis (Tabla 3.1). Las diferencias halladas pueden deberse no sólo a la región geográfica específica, sino también a la preferencia de las abejas por la flora, el procesamiento del néctar y el almacenamiento de la miel.

El contenido de agua en la miel depende de varios factores: las condiciones climáticas, la manipulación de la miel por parte del productor y el grado de madurez del producto. Su valor juega un rol importante en el procesamiento del alimento si supera 18 %. En estas condiciones, la miel puede fermentar, porque su concentración de azúcares no es suficiente para impedir el crecimiento de las levaduras presentes en ella. Por el contrario, si el contenido de agua es inferior al 15 % aumenta la viscosidad, lo cual dificulta la

extracción y además puede llegar a cristalizar (Salgado y Maidana, 2014). Si bien en la miel empleada en los ensayos se determinó un contenido de agua menor a 15 % (Tabla 3.1), no se evidenciaron dificultades en su manipulación. Salgado y Maidana (2014) informaron contenidos de agua entre 15,4 y 20 % en mieles de la región chaqueña, mientras que Silvano y col. (2014) obtuvieron un valor promedio de humedad de 17 % en mieles de la región sudeste de Buenos Aires.

Por otro lado, la acidez libre es un parámetro de calidad relacionado con la fermentación de la miel y puede incidir en la estabilidad de las matrices donde se la incorpore. Los ácidos de la miel (orgánicos e inorgánicos) son responsables de la acidez libre, mientras que el pH es consecuencia de la presencia de dichos ácidos y depende del néctar utilizado por las abejas. El valor de acidez libre de la miel utilizada fue mucho menor que el máximo permitido por el CAA (Tabla 3.1) y similar (17 meq/Kg) al hallado por Silvano y col. (2014) en mieles de la provincia de Buenos Aires. En el caso de las muestras de miel de diferentes regiones del Chaco, Salgado y Maidana (2014) reportaron un valor promedio de 24 meq/Kg pero hallaron gran variabilidad en dicho parámetro (8 - 68 meq/Kg miel). Asimismo, estos autores informaron un valor promedio de 4,1 en el pH de las muestras analizadas, cercano al valor de 3,9 hallado en esta tesis, debido probablemente a la vegetación similar de donde las abejas extraen el néctar para la elaboración de la miel.

En el caso del HMF, su contenido es un indicador relevante de la calidad y frescura de la miel. Este compuesto se forma por la degradación de los productos azucarados durante la reacción de Maillard y su aparición está relacionada directamente con la alteración del color y con el desarrollo de sabores y olores extraños. En condiciones normales, el HMF está ausente en la miel, o su contenido es muy bajo, sin embargo, diferentes condiciones como el origen floral, la fluctuación de la temperatura, el pH, el procesamiento o el almacenamiento influyen en su formación (Shapla y col., 2018). Si bien se halló este compuesto en la miel utilizada en este trabajo, su contenido cumple con las regulaciones del CAA (Tabla 3.1).

Por otro lado, el contenido de cenizas refleja los minerales presentes en la miel y puede ser usado como indicador para evaluar su valor nutricional. Es un parámetro de calidad relevante relacionado con el tipo de planta, las condiciones del suelo, el clima y la técnica de extracción de la miel (Baldi Coronel, 2010, Karabagias y col., 2014). El potasio, cuyo contenido varía entre 200 y 900 ppm, es el mineral con mayor contribución en la miel

seguido de otros minerales en menor cantidad (da Silva y col., 2016). De acuerdo al resultado obtenido (Tabla 3.1), el contenido de cenizas de la miel utilizada se ubica dentro del rango aceptado por el CAA.

Respecto a sus características funcionales, el contenido de compuestos activos como los polifenoles y flavonoides y la capacidad antioxidante total de la miel son parámetros relevantes para su uso en películas bioactivas y alimentos funcionales, como los que se desarrollan en esta tesis. La Tabla 3.2 muestra el contenido de dichos compuestos y la capacidad antioxidante total de la miel *Apis mellifera* utilizada en la formulación de las matrices.

Tabla 3.2. Contenido de compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante total de la miel *Apis mellifera* utilizada en la formulación de las matrices.

Determinación	Resultado
Fenoles totales (mg AG/100g)	170,16 ±3,95
Flavonoides totales (mg Q/100g)	15,76±0,76
DPPH (%)	15,63±0,24
ABTS (μmol Tx/100g)	143,38±1,71
Vitamina C (mg AA/100g)	0,36±0,01

AG: ácido gálico, Q: quercetina, Tx: Trolox, AA: ácido ascórbico

En la bibliografía se ha reportado variabilidad en los valores de compuestos antioxidantes informados para diferentes muestras de miel de una misma región geográfica. Cabrera y col. (2017) hallaron rangos de 40,18 - 118,82 mg AG/100g y de 6,94 - 67,76 mg Q/100 g en el contenido de fenoles totales y flavonoides totales de mieles de la región del Chaco húmedo (provincia de Formosa), mientras que la capacidad antioxidante evaluada por el método del radical DPPH varió entre 17,36 % y 56,53 %. Si bien el contenido de fenoles totales hallados en la miel utilizada para elaborar las matrices fue mayor que el reportado por este autor, los valores de flavonoides totales y capacidad antioxidante estuvieron dentro de dichos rangos (Tabla 3.2). Esto puede deberse probablemente a que la miel utilizada es de la misma región, ya que sus muestras fueron recolectadas en Formosa, provincia limítrofe con Chaco.

Por otro lado, varios estudios han informado una alta correlación entre los compuestos fenólicos y flavonoides y la capacidad antioxidante de las mieles (Cabrera y col., 2017,

Isla y col., 2011, Becerril - Sánchez y col., 2021). Cabrera y col. (2017) reportaron que la capacidad antioxidante de las mieles de la región del Chaco húmedo presentó una mayor correlación con el contenido fenólico que con el contenido de flavonoides.

Diversos estudios han demostrado que existe una estrecha correlación entre el color de la miel de *Apis mellifera* y el contenido mineral, el contenido de polen, el origen vegetal, el origen geográfico, el tipo de polifenoles y flavonoides, y la temperatura y el tiempo de almacenamiento (Cabrera y col., 2017, da Silva y col., 2016, Isla y col., 2011, Szabó y col., 2016). Cabrera y col. (2017) hallaron que las mieles color ámbar extra claro y ámbar claro tuvieron menores niveles de compuestos fenólicos totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante que las mieles color ámbar y oscuras. Además, estos autores observaron una mayor correlación entre color y flavonoides que entre color y fenoles totales. En otro estudio, Isla y col. (2011) compararon mieles multiflorales con monoflorales (algarrobo y limón) provenientes de la región noroeste de Argentina (Tucumán, Santiago del Estero, Jujuy y Salta) y hallaron valores de compuestos fenólicos entre 187,30 y 1073,21 $\mu\text{g AG/g}$, correspondiendo el mayor valor a las mieles multiflorales. Dichos autores también observaron una correlación positiva entre la intensidad del color y el contenido de flavonoides y compuestos fenólicos. Los flavonoides crisina y pinocembrina estaban presentes en todas las muestras analizadas, mientras que la hesperidina y la hesperetina eran numéricamente más importantes en la miel de limón, proporcionando un valioso marcador del origen botánico.

Al comparar las propiedades de la miel chaqueña utilizada en los ensayos con mieles de otras regiones del mundo, se halló que los valores hallados de humedad, cenizas y acidez libre son similares a los informados en mieles de Europa, África y Asia (da Silva y col., 2016). En general, todas las mieles presentan bajo contenido de HMF (rango 0 - 30 mg/Kg) como lo hallado para la miel chaqueña, denotando las buenas prácticas en su elaboración y almacenamiento. Las propiedades antioxidantes de la miel del presente estudio son comparables a las de mieles de otras regiones del mundo, de acuerdo a la compilación realizada por Becerril - Sánchez y col. (2021) sobre el contenido total de fenoles y flavonoides de mieles de diferente origen botánico, región y país. Por lo tanto, de lo expuesto se espera que las características fisicoquímicas y funcionales de la miel de la región chaqueña tengan un impacto positivo en las propiedades de las películas y recubrimientos a desarrollar, como así también en los alimentos donde se incorpore.

3.3. Elección del contenido de almidón en las matrices

Con el propósito de obtener una matriz base estable para la incorporación de las frutas, se estudiaron diferentes formulaciones de almidón de mandioca con mezclas de glicerol y miel como plastificantes. En forma preliminar, se formularon matrices al 3, 4 y 5 % p/v de almidón, agregando las mezclas de glicerol y miel (1,5 % respecto al peso total de la suspensión) en diferentes relaciones (0 - 100 % respecto al peso del plastificante), generando las suspensiones filmogénicas (SF): SF1 (100 - 0), SF2 (75 - 25), SF3 (50 - 50), SF4 (25 - 75) y SF5 (0 - 100). La Figura 3.1 muestra el aspecto de las diferentes matrices antes y luego del secado.

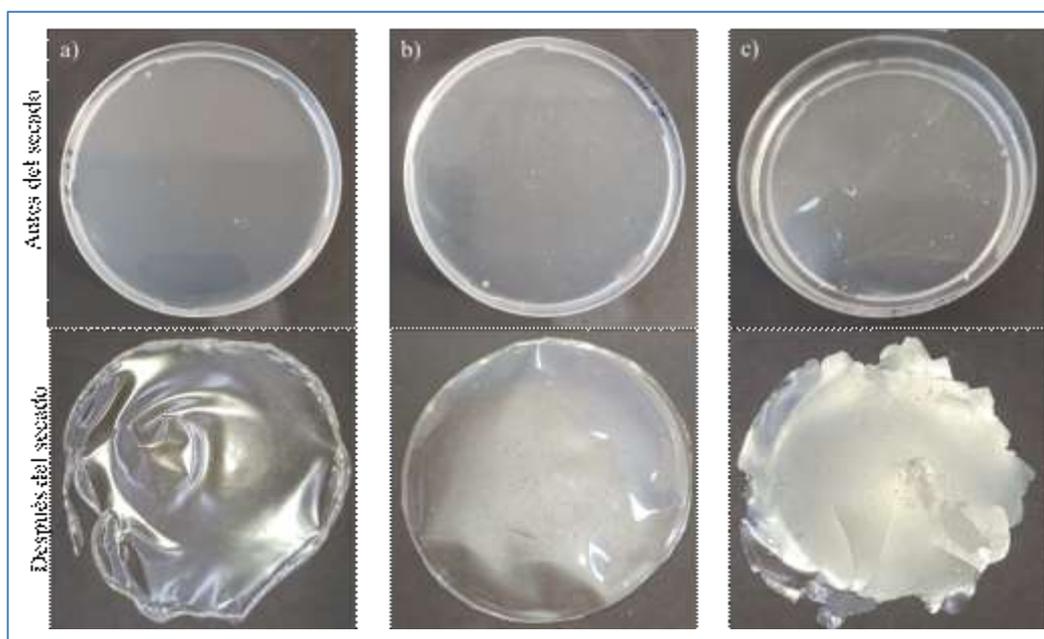


Figura 3.1. Matrices de almidón de mandioca a diferentes concentraciones: a) 3 % p/v, b) 4 % p/v, c) 5 % p/v, con glicerol - miel (25 - 75) como plastificantes, antes del secado (suspensión filmogénica) y luego del secado (película).

Todas las SF ensayadas tuvieron la capacidad de formar películas con características físicas diferenciadas. Las formulaciones preparadas con 3 % p/v de almidón no presentaron inconvenientes en el volcado de las suspensiones en las placas de Petri. Sin embargo, luego del secado las películas obtenidas se despegaban de la placa con dificultad, se encogían y presentaban valores de espesor bajos ($77,16 \pm 5,43 \mu\text{m}$). La formulación al 4 % p/v de almidón también se extendió sin inconvenientes en las placas

pero, a diferencia de las de 3% p/v, las películas obtenidas se despegaban correctamente y permitían su manipulación sin romperse. En cambio, las suspensiones formadas con 5 % p/v de almidón, debido a su alta consistencia, presentaban problemas al extenderse con dificultad durante el volcado en las placas. Esto conducía, luego del secado, a películas con espesores variables (60 - 200 μm), muy rígidas y quebradizas (Figura 3.1). Por lo tanto, las concentraciones de almidón de 3 y 5 % p/v fueron descartadas, seleccionándose la formulación al 4 % p/v de almidón de mandioca, coincidiendo la elección de esta concentración con otros autores (Luchese y col., 2017a, Slavutsky y Bertuzzi, 2014).

Con el propósito de asegurar la completa gelatinización del almidón durante el proceso de preparación de las matrices, se observaron los gránulos de almidón de mandioca en el microscopio, durante su calentamiento con agitación en presencia o ausencia de miel (Figura 3.2). Durante todo el proceso se observaron diferencias en la morfología y el tamaño de los gránulos entre las muestras sin plastificante (SF0) y con miel (SF5). Luego de 3 min de calentamiento los gránulos de almidón en presencia de miel mostraban mayor hinchamiento que el control, mientras que luego de 12 min ya se encontraban solubilizados en ambas muestras. Particularmente, a este tiempo se observaron gránulos de almidón erosionados en la suspensión con miel. Finalmente, luego de 20 min se observó la ruptura de los gránulos al completarse el proceso de gelatinización, formando así una dispersión homogénea (Figura 3.2).

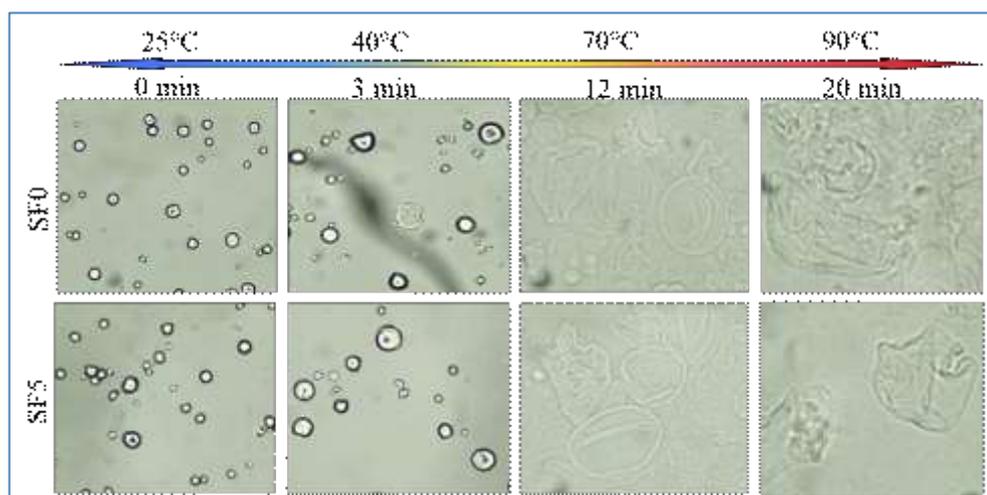


Figura 3.2. Micrografías del proceso de gelatinización en suspensiones al 4 % p/v de almidón de mandioca sin (SF0) y con 1,5 % p/v miel (SF5).

Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de un exceso de agua se produce un hinchamiento que provoca la alteración del orden molecular dentro de los gránulos. Al continuar el calentamiento, los enlaces de hidrógeno que mantienen unido el gránulo se debilitan y se produce un hinchamiento irreversible. Finalmente, los gránulos de almidón se rompen lo que permite la lixiviación de los componentes solubles, principalmente la amilosa, en el agua. Este componente del almidón es responsable de la capacidad formadora de películas. La viscosidad de la solución aumenta hasta un máximo y luego desciende a medida que los gránulos se rompen y se desintegran (BeMiller y Whistler, 1996). Debido a la composición compleja y variable de la miel, el proceso de gelatinización puede verse afectado y, como consecuencia, modificar el comportamiento reológico de las suspensiones. Torley y col. (2004) estudiaron la gelatinización de suspensiones de almidón de maíz en presencia de mieles de diferente origen y atribuyeron los cambios observados en la viscosidad máxima a la diferencia en el contenido de azúcares, el pH y la actividad de la enzima amilasa de las diferentes mieles. Esta enzima, presente naturalmente en la miel, hidroliza el almidón haciéndolo más susceptible a la ruptura, como se observó durante el calentamiento de la suspensión con miel F5.

3.4. Efecto de la miel sobre la estabilidad y comportamiento reológico de las suspensiones filmogénicas

Luego de seleccionar la concentración de almidón (4 % p/v) adecuada para lograr una película homogénea y con buena integridad estructural, se estudió la influencia de la miel en la formación de las SF y en su comportamiento reológico. Los ácidos presentes en la miel cumplen un rol en la calidad sanitaria de este producto, lo que podría incidir también en la estabilidad microbiológica de las matrices con miel y trasladarse luego este efecto a las películas y recubrimientos finales. La Figura 3.3 muestra que el carácter ácido de la miel (Tabla 3.1) influyó sobre el pH de las SF de almidón de mandioca, hallándose una disminución significativa ($p < 0,05$) de este parámetro al aumentar el contenido de miel.

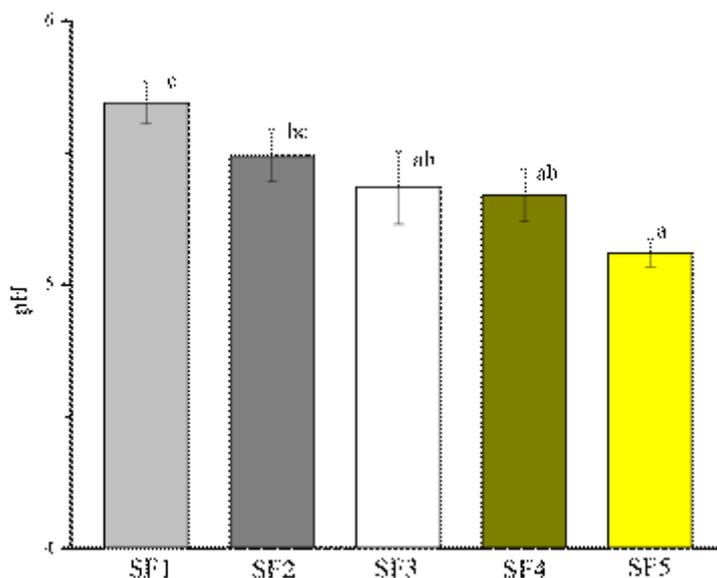


Figura 3.3. pH de suspensiones filmogénicas de almidón de mandioca con diferente contenido de glicerol y miel.

SF1 (100 - 0), SF2 (75 - 25), SF3 (50 - 50), SF4 (25 - 75) y SF5 (0 - 100).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

La influencia del agregado de ácidos sobre el comportamiento de gelatinización de almidones de maíz y mandioca ha sido estudiada por diversos autores (Ghanbarzadeh y col., 2011, Hirashima y col., 2005, Sriburi y col., 1999), los cuales encontraron que la presencia de ácidos como el cítrico, ascórbico, acético, láctico, málico o tartárico modificaron las características de viscosidad de las suspensiones de almidón y afectaron principalmente las propiedades mecánicas y de permeabilidad de las películas derivadas. Como ya se mencionó, la mayoría de estos ácidos están presentes en la miel y, por lo tanto, podrían tener impacto en el comportamiento reológico de las SF de almidón de mandioca y modificar las propiedades de las películas resultantes. Torley y col. (2004) informaron que los componentes minoritarios presentes naturalmente en la miel, como los ácidos y la enzima amilasa, modificaron la gelatinización y el comportamiento reológico de suspensiones de almidón de maíz en presencia de mieles de diferente origen.

El estudio del comportamiento de flujo de un producto es una herramienta utilizada en la industria alimentaria para maximizar la eficiencia de la producción y la rentabilidad. En el caso de las SF, el análisis reológico y las propiedades viscoelásticas de las suspensiones ayudan a determinar la idoneidad del método de recubrimiento de los alimentos (Zaritzky, 2010). La velocidad a la que el recubrimiento líquido viaja a través

de una tubería y el tiempo que tarda en recubrir el alimento y en secarse son factores a tener en cuenta en el diseño y escalado de procesos. Particularmente, los ensayos rotacionales permiten analizar el comportamiento reológico de los materiales viscosos en condiciones próximas a las del procesamiento industrial, donde ocurren esfuerzos de corte o cizallamiento elevados. La Figura 3.4 muestra el comportamiento de flujo de las suspensiones de almidón de mandioca al 4 % p/v gelatinizado con diferentes proporciones de glicerol y miel como plastificantes, mientras que en la Tabla 3.3 se observan los valores de parámetros de flujo y viscosidad aparente calculados de las curvas respectivas.

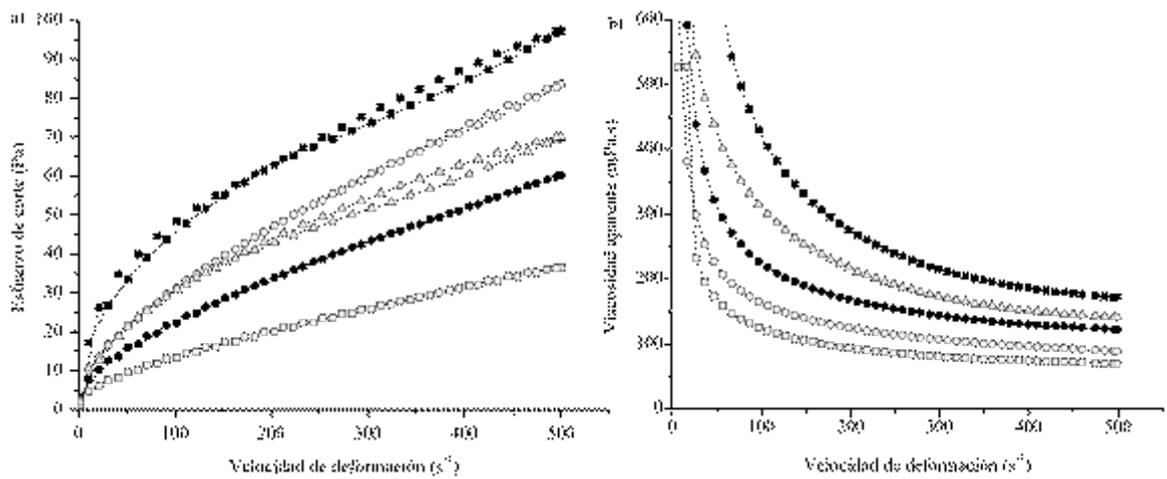


Figura 3.4. Comportamiento de flujo: a) esfuerzo de corte, b) viscosidad aparente, en función de la velocidad de deformación, correspondiente a las suspensiones de almidón de mandioca con glicerol y miel en diferentes relaciones.

SF1 (■), SF2 (Δ), SF3 (○), SF4 (□), SF5 (●).

Tabla 3.3. Valores de parámetros de índice de flujo n , índice de consistencia K y viscosidad aparente de las suspensiones de almidón de mandioca con glicerol y miel en diferentes relaciones.

Formulación	Relación glicerol-miel	n	K (Pa×s^{n})	Viscosidad aparente a 500 s⁻¹ (mPa×s)
SF1	100-0	0,44±0,00 ^a	6,01±1,06 ^d	172,00±17,54 ^d
SF2	75-25	0,53±0,01 ^b	2,62±0,12 ^c	140,00±1,41 ^c
SF3	50-50	0,63±0,01 ^d	0,69±0,08 ^a	83,51±6,60 ^a
SF4	25-75	0,65±0,05 ^d	0,67±0,13 ^a	73,13±6,58 ^a
SF5	0-100	0,58±0,02 ^c	1,65±0,20 ^b	120,50±2,12 ^b

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Todas las muestras presentaron un comportamiento pseudoplástico (Figura 3.4a), indicando una disminución de la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de corte o cizallamiento (Figura 3.4b). El comportamiento pseudoplástico se produce cuando n es menor que 1 (Tabla 3.3), y cuanto mayor es la diferencia con respecto a la unidad, mayor es la pseudoplasticidad del producto. Este comportamiento es típico de las suspensiones de almidón gelatinizado, aún con agregado de plastificantes como el glicerol (López y col., 2008). Cuando se aplica un esfuerzo de tensión a las dispersiones poliméricas, las macromoléculas se expanden en la dirección del esfuerzo de corte. Sin embargo, la velocidad a la que las macromoléculas se reorganizan depende de muchos factores, uno de los cuales es la presencia de otras sustancias que pueden facilitar este proceso, dando lugar a un menor esfuerzo de corte. En este caso, el agregado de miel a los sistemas con glicerol disminuyó la pseudoplasticidad de las suspensiones (aumento del valor de n en Tabla 3.3), sin diferencias significativas ($p > 0,05$) en las muestras SF3 y SF4 (50 y 75 % de miel).

Por otro lado, en la Figura 3.4a se observó comportamiento tixotrópico, denotado por la histéresis de las curvas de flujo, hasta un nivel de 50 % (SF1 - SF3). Este comportamiento de flujo, en el que la viscosidad disminuye con el tiempo de cizallamiento a una velocidad de deformación constante, no se manifestó en las muestras con mayor contenido de miel SF4 y SF5 (75 % y 100 % respectivamente). La tixotropía indica una ruptura progresiva de la estructura de gel de la red polimérica (Razavi y

Karazhiyan, 2009) y cuanto mayor es el área del bucle de histéresis, mayor es la inestabilidad reológica (Fan y col., 2022). El área que rodea las curvas ascendente y descendente es un indicador de la energía necesaria por unidad de tiempo y unidad de volumen para eliminar el efecto del tiempo en la tixotropía. Por lo tanto, la miel contribuiría a disminuir la tixotropía, dando sistemas más estables reológicamente (suspensiones SF4 y SF5). Si bien la proporción de miel utilizada en la formulación es baja (máximo 1,5 % p/v), sus propiedades fisicoquímicas (Tabla 3.1) influyeron en las características reológicas de las matrices ensayadas.

Desde un punto de vista mecánico, la miel, debido a su capacidad como plastificante (Soininen y col., 2013), reduce las fuerzas intermoleculares y aumenta la movilidad de las cadenas poliméricas. Este comportamiento podría facilitar las operaciones de alto cizallamiento, como el bombeo y el llenado, como las que tienen lugar en la industria de alimentos. Por otro lado, las propiedades reológicas de las SF pueden afectar el esparcido, el espesor y la uniformidad de la capa de recubrimiento y también el rendimiento de la película obtenida. Por ello ayudan a determinar el método más apropiado para el recubrimiento, por ejemplo, la pulverización requiere de bajas viscosidades mientras que la inmersión requiere de una solución de recubrimiento con mayor viscosidad (García y col., 2009). Las diferentes matrices desarrolladas podrían aplicarse en ambos casos para proteger frutas u otro tipo de alimento debido al rango amplio de viscosidades (70 - 170 mPa·s) que presentan (Tabla 3.3).

Desde el punto de vista de la composición de la miel (Tablas 3.1 y 3.2), el comportamiento reológico de las SF (Figura 3.4) podría explicarse por la presencia de los ácidos y los polifenoles al interactuar con el almidón. Durante la gelatinización de suspensiones de almidón de maíz en presencia de mieles de diferente origen, Torley y col. (2004) reportaron un aumento en la viscosidad máxima con algunas mieles y una disminución en otras. Estos autores atribuyeron este comportamiento a diferencias en la acidez y la actividad de la enzima amilasa de dichas mieles. Esta enzima atacaría a la amilopectina en la superficie del gránulo haciéndolo más susceptible a la ruptura y disminuyendo así la viscosidad de la suspensión. Por otro lado, Sriburi y col. (1999) hallaron una disminución en la viscosidad de suspensiones de almidón de mandioca con el agregado de ácido ascórbico. Respecto a los polifenoles de la miel, Torley y col. (2004) informaron que estos pueden modular las propiedades de la amilasa presente en la miel y, por lo tanto, podrían incidir en el comportamiento reológico de las suspensiones. En

cambio, Peng y col. (2015) reportaron que los polifenoles del té podrían unirse a las moléculas de almidón de maíz céreo modificado a través de interacciones hidrofóbicas. Estas interacciones cambiarían la conformación de las moléculas de almidón a una forma más esférica, lo que conduciría a un sistema menos viscoso y menos pseudoplástico, ya que este comportamiento es característico de las macromoléculas lineales. Sin embargo, son necesarios estudios más profundos para explicar el mecanismo de las interacciones entre el almidón y los compuestos bioactivos como los polifenoles.

Por otro lado, se evaluó el comportamiento viscoelástico de las SF a través de ensayos dinámicos oscilatorios en el rango de viscoelasticidad lineal donde la muestra no sufre daño estructural. Estos ensayos mostraron que el rango de viscoelasticidad lineal de todas las muestras se extendía hasta 0,1 Pa, por lo que se seleccionó este valor para los barridos de frecuencia (Figura 3.5). Giboreau y col. (1994) distinguen tres tipos de comportamiento viscoelástico, dentro del rango de la viscoelasticidad lineal, según el espectro mecánico: fluidos viscoelásticos o suspensiones macromoleculares diluidas, suspensiones macromoleculares semi-diluidas y materiales tipo gel. Ross-Murphy (1995) distingue tres tipos de comportamiento para materiales viscoelásticos: suspensiones entrelazadas, geles débiles y geles fuertes.

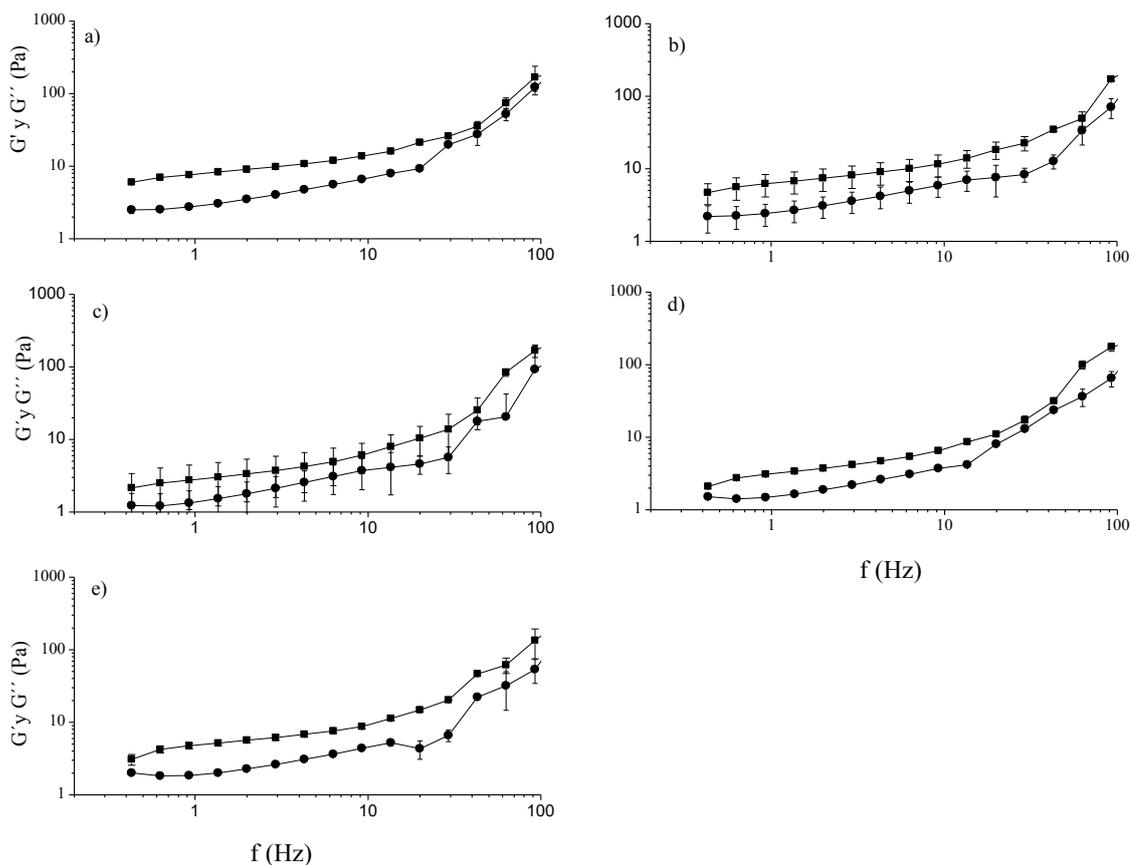


Figura 3.5. Espectros mecánicos de las suspensiones de almidón de mandioca con glicerol y miel en diferentes relaciones.

SF1 (a), SF2 (b), SF3 (c), SF4 (d), SF5 (e).

(■) G' , (●) G'' .

Los valores de G' fueron ligeramente superiores a los de G'' en todas las formulaciones analizadas a bajas frecuencias (por debajo de 10 Hz), según los modelos de Giboreau y col. (1994) y Ross-Murphy (1995), muestran un comportamiento similar al de un gel débil. A medida que aumentó el contenido de miel, los valores de ambos módulos disminuyeron en todo el rango de frecuencias ensayadas, observándose este efecto particularmente a bajas frecuencias. Este comportamiento se correlacionó con los valores de viscosidad aparente hallados para cada formulación (Tabla 3.3).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis reológico de las SF, las matrices desarrolladas resultarían aptas para su utilización en recubrimientos comestibles. En particular, las formulaciones con mayor contenido de miel presentaron mejores características reológicas debido a su baja viscosidad, menor pseudoplasticidad y menor tixotropía, respecto a aquellas con mayor contenido de glicerol.

3. B. PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN Y MIEL

3. B. PELÍCULAS A BASE DE ALMIDÓN Y MIEL

3.5. Caracterización de las películas a base de almidón de mandioca con miel y glicerol como plastificantes

Como ya se mencionó, todas las formulaciones ensayadas empleando almidón de mandioca al 4 % p/v con agregado de glicerol y miel tuvieron la capacidad de formar películas (F1 - F5). El análisis de las propiedades fisicoquímicas de las películas obtenidas aporta información para estudiar su comportamiento bajo diferentes condiciones ambientales y de manipulación. Tanto los parámetros físicos como mecánicos de las películas dependen directamente de su formulación y estos impactan en la aplicación final sobre el alimento. A continuación, se presentan los resultados obtenidos sobre la caracterización de las películas formuladas con miel y glicerol como plastificantes.

3.5.1. Propiedades fisicoquímicas de las películas

3.5.1.1. Aspecto visual y color superficial de las películas

Desde el punto de vista de los consumidores, el aspecto visual cumple un rol importante en la selección de un alimento que se encuentre protegido con un recubrimiento o un envase. La Figura 3.6 muestra la apariencia de las películas (F) obtenidas a partir de las SF ensayadas. Todas las formulaciones compartían un aspecto homogéneo similar, a excepción de la muestra F5 (solo miel como plastificante), que tenía una superficie más rugosa y plegable, era más opaca y ligeramente amarillenta debido al mayor contenido de miel. Pająk y col. (2022) también observaron esta característica de color en sus películas con extractos de miel.

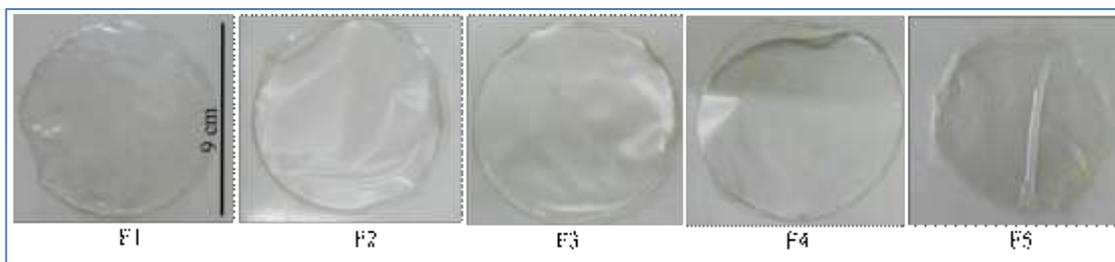


Figura 3.6. Aspecto visual de las películas de almidón de mandioca con glicerol y miel como plastificantes:

F1 (100 - 0), F2 (75 - 25), F3 (50 - 50), F4 (25 - 75) y F5 (0 - 100).

El color superficial de las películas representado por las coordenadas de Hunter $L^*a^*b^*$ se muestra en la Tabla 3.4. La luminosidad de las películas no se vio afectada

significativamente ($p > 0,05$) por la adición de miel. Sin embargo, en las muestras F4 y F5, los valores de a^* y b^* disminuyeron y aumentaron, respectivamente, indicando tonos menos rojizos y más amarillentos en estas muestras, debido a la incorporación de la miel. Estos valores correlacionan con el color ámbar de la miel utilizada en la preparación de las matrices, de acuerdo a la escala de Pfund (Tabla 3.1).

Tabla 3.4. Coordenadas de color superficial de las películas plastificadas con diferentes proporciones de glicerol y miel.

Formulación	Relación glicerol-miel	L^*	a^*	b^*
F1	100-0	91,40±0,07 ^a	-0,39±0,02 ^b	5,06±0,31 ^a
F2	75-25	91,10±0,47 ^a	-0,36±0,01 ^b	4,96±0,36 ^a
F3	50-50	92,02±0,84 ^a	-0,38±0,01 ^b	4,93±0,27 ^a
F4	25-75	91,49±0,29 ^a	-0,45±0,00 ^a	5,48±0,01 ^b
F5	0-100	91,84 ±0,49 ^a	-0,48±0,01 ^a	6,57±0,34 ^c

Letras minúsculas diferentes indican, para cada coordenada de color, diferencias significativas ($p < 0,05$).

3.5.1.2. Espesor

El espesor y la uniformidad de las películas y recubrimientos comestibles son algunos de los parámetros que afectan a las propiedades biológicas y a la vida útil de los alimentos recubiertos. Estos parámetros dependen de las propiedades de la solución formadora (densidad, viscosidad, tensión superficial) y del método utilizado para producir las películas y recubrimientos (Kocira y col., 2021). La Figura 3.7 muestra los espesores de las películas obtenidas a partir de las formulaciones F1 - F5. No se hallaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras con diferente contenido de glicerol, las cuales presentaron un espesor promedio de $100,14 \pm 4,56 \mu\text{m}$. En forma similar, Pająk y col. (2022) no hallaron diferencias en los espesores de películas de almidón de papa con agregado de igual relación glicerol: miel (1:1) que la muestra F3, respecto al control sin plastificantes. Lim y col. (2020) tampoco hallaron diferencias en los espesores de películas de almidón de mandioca con agregado de mezclas glicerol-sorbitol. En cambio, la muestra F5 (que sólo contenía miel como plastificante) presentó un espesor significativamente ($p < 0,05$) inferior al resto de muestras (Figura 3.7), probablemente

debido a la disminución del volumen libre del sistema que se produce a un mayor contenido de miel.

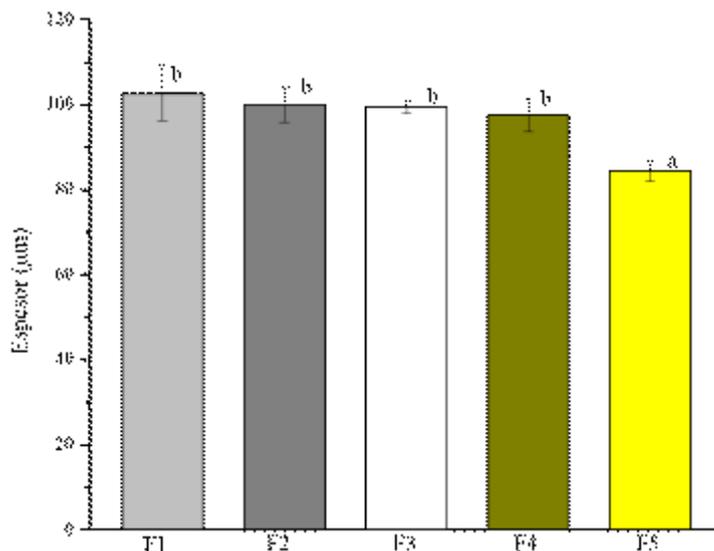


Figura 3.7. Espesor de las películas de almidón de mandioca con glicerol y miel:

F1 (100 - 0), F2 (75 - 25), F3 (50 - 50), F4 (25 - 75) y F5 (0 - 100).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

3.5.1.3. Humedad, hinchamiento y solubilidad

La Tabla 3.5 muestra los resultados de los parámetros de afinidad con el agua hallados en las muestras ensayadas. Respecto al contenido de agua de las películas, se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) de este parámetro a mayor contenido de miel hasta la muestra F3 (50/50), luego se mantuvo sin cambios significativos ($p > 0,05$). Otros autores (Tarique y col., 2021, Gao y col., 2021) también informaron que un incremento en el contenido de plastificantes, como el glicerol, en las formulaciones aumentaba la humedad de las películas. Debido a su estructura química, el glicerol tiene la capacidad para retener moléculas de agua mediante uniones del tipo puente de hidrógeno. La miel, debido a su alto contenido en azúcares, también tiene la capacidad de retención de agua; por lo tanto, la humedad de las películas no debería verse muy afectado cuando se sustituye el glicerol por miel. Sin embargo, la disminución observada en el contenido de agua podría estar relacionada con efectos estéricos durante la formación de la película. Los componentes de la miel (principalmente azúcares) tendrían una mayor miscibilidad con el almidón respecto al glicerol. Esto conduciría a una disminución del volumen libre

y de los espacios adyacentes que permiten la difusión molecular, expulsando así agua durante la formación de la película.

Tabla 3.5. Parámetros fisicoquímicos de las películas de almidón de mandioca con glicerol y miel como plastificantes.

Formulación	Relación glicerol-miel	Humedad (g/100g)	Hinchamiento (%)	Solubilidad (g/100g)
F1	100-0	25,9±0,5 ^c	118,5±4,8 ^a	25,8±0,3 ^a
F2	75-25	17,2±1,0 ^b	167,8±10,4 ^b	28,4±5,5 ^a
F3	50-50	12,8±0,7 ^a	237,7±3,8 ^c	26,0±1,2 ^a
F4	25-75	11,0±0,1 ^a	229,6±5,3 ^c	25,0±2,1 ^a
F5	0-100	10,9±0,2 ^a	243,2±7,4 ^c	26,4±0,8 ^a

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro, diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el caso del hinchamiento de las películas, se observó un aumento significativo ($< 0,05$) con el incremento del contenido de miel hasta la sustitución del 50 % del glicerol (Tabla 3.5), luego el hinchamiento se mantuvo sin modificaciones significativas ($p > 0,05$). Este resultado se opondría a la hipótesis que explica los resultados anteriores (espesor y contenido de humedad) por la reducción del volumen libre. Sin embargo, una posible razón de este resultado estaría dada por la naturaleza del ensayo de hinchamiento. Para observar el hinchamiento (o su ausencia), la película se sumerge en agua, la cual llena las cavidades de la película y se adsorbe en su superficie. El hecho de que se produzca una reducción del volumen libre al aumentar el contenido de miel no implica que la película no pueda absorber agua, al menos parcialmente. En los ensayos de hinchamiento, la película experimenta un proceso diferente a los otros ensayos. Además, este resultado concuerda con los obtenidos por Pająk y col. (2022), quienes reportaron un aumento del hinchamiento de películas de almidón de papa con extractos de miel. Tarique y col. (2021) también hallaron un incremento en la absorción de agua al reducir el contenido de glicerol en películas de almidón de arrurruz. Otros autores (Chantawee y Riyajan, 2019, Sahari y col., 2012) también observaron resultados similares en diferentes películas a base de almidón y glicerol.

Respecto a la solubilidad en agua, las aplicaciones potenciales de las películas a base de almidón vienen determinadas en parte por este parámetro. Los envases insolubles en agua pueden ser necesarios para ciertas aplicaciones alimentarias, mientras que para otras puede requerirse una alta solubilidad en agua (Onyeaka y col., 2022). Por ejemplo, en el caso de las frutas, su elevada actividad acuosa conduce a un rápido deterioro, por lo que es importante que el film que las recubra posea baja o nula solubilidad a fin de asegurar la integridad del alimento durante su procesamiento y almacenamiento. Por otro lado, este parámetro es importante en la biodegradación de las películas ya que una alta solubilidad puede acelerar dicho proceso (Oluwasina y col., 2019). La Tabla 3.5 muestra que el aumento del contenido de miel en las películas no modificó significativamente ($p > 0,05$) su solubilidad en agua, probablemente debido a la solubilidad similar del glicerol y de la miel en agua.

3.5.1.4. Permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua (WVP) es un parámetro clave en el desarrollo de un envase alimentario adecuado. Para proteger un alimento las películas deben tener un WVP bajo, independientemente de que el producto sea o no sensible al agua. Varios parámetros influyen en la WVP de las películas, como la hidrofiliidad y la hidrofobicidad de los materiales poliméricos, la movilidad de las cadenas poliméricas, la presencia de cavidades, el tipo y la concentración de plastificante y el espesor, entre otros (Lee y col., 2020). La sustitución del glicerol por miel en la formulación de las películas produjo una disminución significativa ($p < 0,05$) de la WVP (Figura 3.8). Esto sugiere que la miel aumentó la resistencia de las moléculas de agua para atravesar los poros de las películas. Otros autores (Caicedo y col., 2022, Tarique y col., 2021, Gao y col., 2021) también encontraron una reducción de la WVP al disminuir el contenido de glicerol en las formulaciones de las películas. El carácter higroscópico del glicerol produce un aumento del volumen libre del sistema, incrementando en consecuencia la transferencia de masa a través de la película lo que afecta negativamente a la WVP (Bangyekan y col., 2006), como se observó en las formulaciones con mayor contenido de glicerol (Figura 3.8).

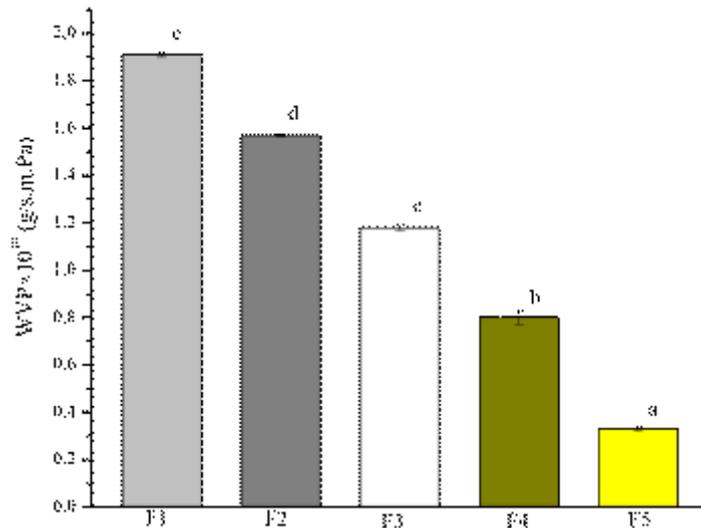


Figura 3.8. Permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas de almidón de mandioca con glicerol y miel como plastificantes en diferentes relaciones:

F1 (100 - 0), F2 (75 - 25), F3 (50 - 50), F4 (25 - 75) y F5 (0 - 100).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El fenómeno de permeabilidad a través de los materiales depende de varios procesos fisicoquímicos, como la solubilidad y la difusión. La WVP es atribuida al comportamiento de absorción, difusión y desorción del vapor de agua, por lo que, tanto la hidrofobicidad de la superficie de la película como la difusión molecular (en toda la película) tienen un impacto significativo en la permeabilidad (Wongphan y Harnkarnsujarit, 2020). Debido a su afinidad por el agua, la presencia de azúcares en la miel facilitaría la absorción/solubilidad de las moléculas de agua y, en consecuencia, aumentaría la WVP; sin embargo, se observó el efecto contrario (Figura 3.8). La explicación radica probablemente en el fenómeno de la difusión, que se vería afectado por una reducción del volumen libre del sistema en presencia de miel, limitando severamente la permeación del agua. Como se ha indicado anteriormente, los azúcares de la miel interactuarían más fuertemente con el almidón que el glicerol, reduciendo el volumen libre. Otros autores también observaron una disminución de la WVP con el agregado de miel a sistemas diferentes al almidón de mandioca. Osuna y col. (2022) en su estudio de films con aislado proteico de suero lácteo observaron que dicho parámetro disminuyó respecto al valor hallado en el sistema con glicerol. Singh y col. (2018) en films a base de dextrano y quitosano atribuyeron este comportamiento a posibles

interacciones entre los componentes y la miel que redujeron la biodisponibilidad de los grupos hidrofílicos en el quitosano, disminuyendo así las interacciones con el agua.

3.5.2. Propiedades funcionales

Como ya se mencionó en el Capítulo 1 Introducción, la inclusión de antioxidantes en las películas comestibles las transforma en los denominados envases "activos" o "inteligentes", los cuales también pueden considerarse como componentes del alimento. La Figura 3.9 muestra, como era de esperar de acuerdo a la Tabla 3.2, que el contenido de polifenoles en las películas aumentó significativamente ($p < 0,05$) con la adición de miel. De esta forma la miel utilizada en los ensayos aportó sus compuestos antioxidantes a las matrices de almidón y contribuyó a la actividad antioxidante de las películas. Velásquez y col. (2022) también hallaron un aumento del contenido total de polifenoles al agregar miel a películas de k-carragenano plastificadas con polietilenglicol y glicerol. En dicho estudio, las películas con miel atenuaron significativamente la oxidación de carne vacuna recubierta por la película durante dos semanas de almacenamiento.

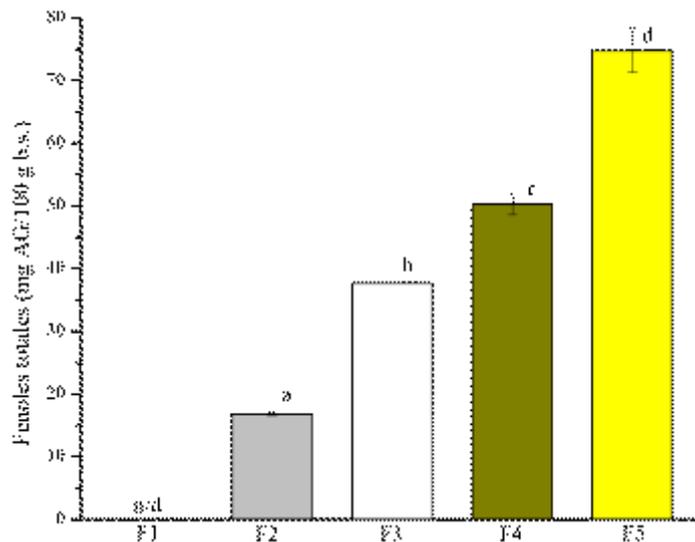


Figura 3.9. Contenido total de polifenoles (calculado como proveniente de la miel) de las películas de almidón de mandioca con glicerol y miel: F1 (100 - 0), F2 (75 - 25), F3 (50 - 50), F4 (25 - 75) y F5 (0 - 100). AG: ácido gálico.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

3.5.3. Propiedades mecánicas

Uno de los requisitos básicos para las películas comestibles es tener buenas propiedades mecánicas, ya que una falta de flexibilidad o resistencia puede causar grietas o fallas durante la producción, la manipulación, el almacenamiento o la aplicación en alimentos como las frutas (Sothornvit y Rodsamran, 2008). Las propiedades mecánicas de las películas o recubrimientos dependen de la naturaleza filmogénica del material utilizado, la cual está directamente relacionada con su cohesión estructural. Por lo tanto, los ensayos mecánicos son críticos al momento de evaluar el material.

A partir de las curvas de fuerza vs. deformación obtenidas en el texturómetro es posible obtener los parámetros mecánicos característicos: esfuerzo de tensión a la ruptura, la elongación a la ruptura y el módulo elástico. Estos parámetros brindan información sobre la resistencia de la película para proteger de daños mecánicos al producto envasado (Sartika y col., 2022). Las propiedades mecánicas de esfuerzo de tensión y módulo elástico están correlacionadas: el esfuerzo es una medida de la capacidad máxima de un material para resistir antes de romperse bajo tensión de tracción, mientras que el módulo elástico es la pendiente de la curva de tensión-deformación y constituye una medida de la rigidez. Cuanto mayor sea el valor de este último parámetro, más rígido y más elástico será el material. Por otro lado, la ductilidad de la película puede examinarse mediante la elongación a la ruptura ya que es una medida de la deformación (en términos de longitud en porcentaje) antes de la fractura bajo un estiramiento constante (Ben y col., 2022).

La Figura 3.10 muestra el comportamiento mecánico de las películas formuladas con almidón de mandioca y diferentes relaciones de miel y glicerol como plastificantes. En la Figura 3.10a se incluye la película sin plastificantes (F0) a fin de comparar el efecto de ambos componentes, miel y glicerol, por separado, mientras que en la Figura 3.10b se analizan sólo los sistemas con miel. Asimismo, la Tabla 3.6 muestra los parámetros mecánicos para todas las formulaciones ensayadas F0 - F5.

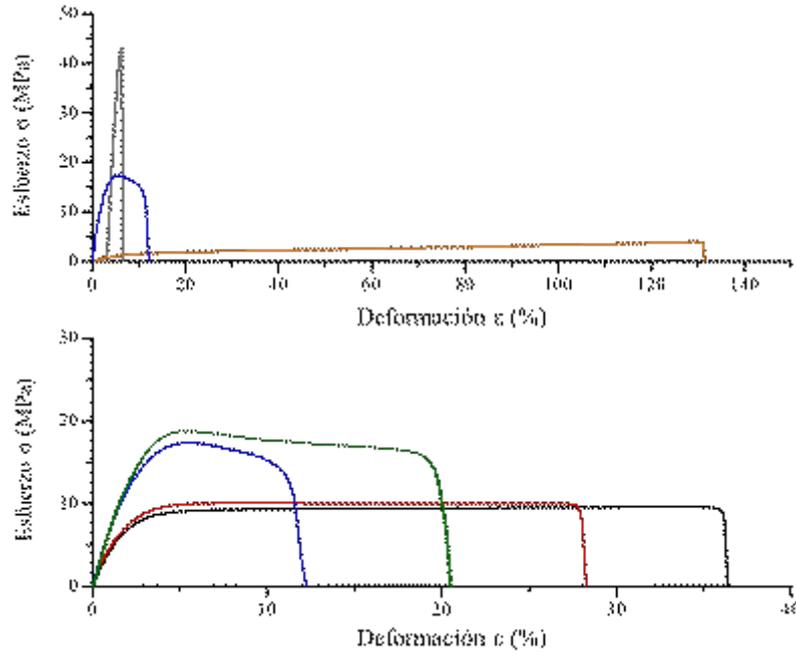


Figura 3.10. Comportamiento mecánico de las películas de almidón de mandioca al 4 % p/v: a) control F0 (■), con glicerol F1 (■) y miel F5 (■) como plastificantes (1,5 % p/v), b) con diferentes relaciones de glicerol - miel: F2 (■), F3 (■), F4 (■), F5 (■). Relación glicerol: miel F1: 100 - 0, F2: 75 - 25, F3: 50 - 50, F4:25 - 75, F5: 0 - 100, respectivamente.

Tabla 3.6. Parámetros mecánicos correspondientes a las formulaciones de películas de almidón de mandioca sin plastificantes y con diferentes relaciones de glicerol y miel como plastificantes.

Formulación	Relación glicerol-miel	Esfuerzo (MPa)	Elongación (%)	Módulo elástico (MPa)
F1	100-0	4,54±0,91 ^a	129,11±3,26 ^d	0,31±0,09 ^a
F2	75-25	9,41±1,41 ^b	37,37±0,15 ^c	2,75±0,60 ^b
F3	50-50	10,07±0,59 ^b	33,54±3,54 ^c	3,38±0,11 ^b
F4	25-75	20,35±1,40 ^d	23,25±2,65 ^b	6,87±0,06 ^c
F5	0-100	17,41±1,73 ^c	11,14±0,95 ^a	6,57±0,44 ^c
Película sin plastificantes	0-0	41,00±4,89	6,64±0,13	11,07±1,48

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro, diferencias significativas ($p < 0,05$).

El efecto plastificante de la miel sobre las películas de almidón de mandioca se pone de manifiesto comparando las propiedades mecánicas (Figura 3.10a y Tabla 3.6) de la muestra conteniendo 100 % miel (F5) con las muestras con 100 % glicerol (F1) y sin plastificantes (F0). Al igual que el glicerol, la miel disminuyó la resistencia a la tracción y la rigidez y aumentó la elongación respecto al sistema sin aditivos, generando un material dúctil y mejorando así el rendimiento mecánico de las películas. Sin embargo, el efecto plastificante de la miel resultó mucho menor que el del glicerol debido al menor incremento observado en la flexibilidad de las películas. Como característica positiva y a diferencia de la formulación con glicerol (F1), la película con miel (F5) demostró ser más fuerte, como lo evidenció su valor de esfuerzo mayor (Tabla 3.6). El efecto plastificante de la miel se basaría en sus azúcares, que pueden competir con el almidón por las moléculas de agua disponibles en la formación de enlaces de hidrógeno. De forma similar, Pająk y col. (2022) hallaron que la incorporación de extractos de miel a películas de almidón de papa disminuyó los valores de esfuerzo y aumentó los de elongación. Caicedo y col. (2022) también encontraron una mejora en el efecto plastificante en películas a base de almidón de maíz utilizando sorbitol (una molécula químicamente similar a los azúcares de la miel).

Los resultados de la Figura 3.10b y la Tabla 3.6 muestran que el aumento del contenido de miel (y disminución del glicerol) incrementó el esfuerzo y el módulo elástico, lo que sugiere un aumento de su resistencia a la tracción y de su rigidez. Por lo tanto, el efecto de la miel sería positivo ya que uno de los principales problemas de las películas de almidón es su escasa resistencia a la tracción. Este comportamiento podría atribuirse a los componentes de la miel que aumentarían las fuerzas de cohesión que mantienen unidas las moléculas. Como ya se mencionó, este hecho también explica el efecto de la miel sobre la WVP y el contenido de humedad de las películas.

Por otro lado, en la Figura 3.10b y en la Tabla 3.6 se observa que un mayor contenido de miel disminuyó la elongación de las películas, indicando su menor capacidad para deformarse antes de romperse. Cabe destacar que, a pesar de que los estudios reológicos de las suspensiones formadoras de películas (sección 3.1.3.), indicaban un mayor efecto plastificante al sustituir el glicerol por la miel (Figura 3.4a), en las películas se observó el efecto contrario. Otros autores (Liu y col., 2020, Martins y col., 2012) también observaron diferentes comportamientos macromoleculares en sistemas de polímeros según se hallaran en solución acuosa (solución formadora de película) o en estado sólido (película).

De los resultados obtenidos en el análisis del comportamiento mecánico, se deduce que se requiere un compromiso entre el contenido de miel y la resistencia, rigidez y flexibilidad deseadas en la película. Una opción podría ser la elección de la formulación F3 con igual contenido de glicerol y miel (50 - 50), o bien F2 (75 - 25), ya que ambas películas presentaron una menor rigidez y resistencia a la tracción y una mayor elongación sin romperse comparadas con F4 y F5. Sin embargo, es importante tener en cuenta la WVP y el contenido de compuestos antioxidantes de los ingredientes para obtener una película activa que brinde mayor protección al alimento. Por ello, se seleccionó la formulación F4 ya que mostró menor permeabilidad que F3 (Figura 3.8) y además un mayor contenido de polifenoles (Figura 3.9) provenientes de la miel. Asimismo, el análisis de sus propiedades mecánicas mostró que son películas más fuertes, capaces de soportar mayor tracción y con una ductilidad intermedia, respecto al resto de formulaciones con miel (Figura 3.10b). Además, desde el punto de vista de las suspensiones filmogénicas, la formulación F4 resultó un sistema estable reológicamente ya que no presentó tixotropía. Por lo tanto, la incorporación de las frutas se realizó tomando como formulación base aquella que contenía 4 % p/v de almidón de mandioca con una relación de glicerol-miel de 25 - 75 (F4).

3.5.4. Microestructura

3.5.4.1. Análisis por microscopía electrónica de barrido

La Figura 3.11 muestra las micrografías SEM de las películas donde se observa su microestructura a diferentes aumentos. Las superficies de las muestras presentaron una matriz continua con ausencia de defectos, sin poros ni grietas, lo que demuestra la integridad estructural de las películas en todas las condiciones ensayadas. La muestra F1, conteniendo sólo glicerol como plastificante, presentó una superficie lisa y homogénea en todos los aumentos observados. En forma similar, Tarique y col. (2021) mostraron que las películas con alto contenido de glicerol eran más homogéneas. En cambio, el uso de miel en reemplazo de glicerol dio lugar a una microestructura más rugosa en las muestras F2, F4 y F5. Caicedo y col. (2022) reportaron observaciones similares en la rugosidad de películas de almidón de maíz con concentraciones crecientes de sorbitol como plastificante.

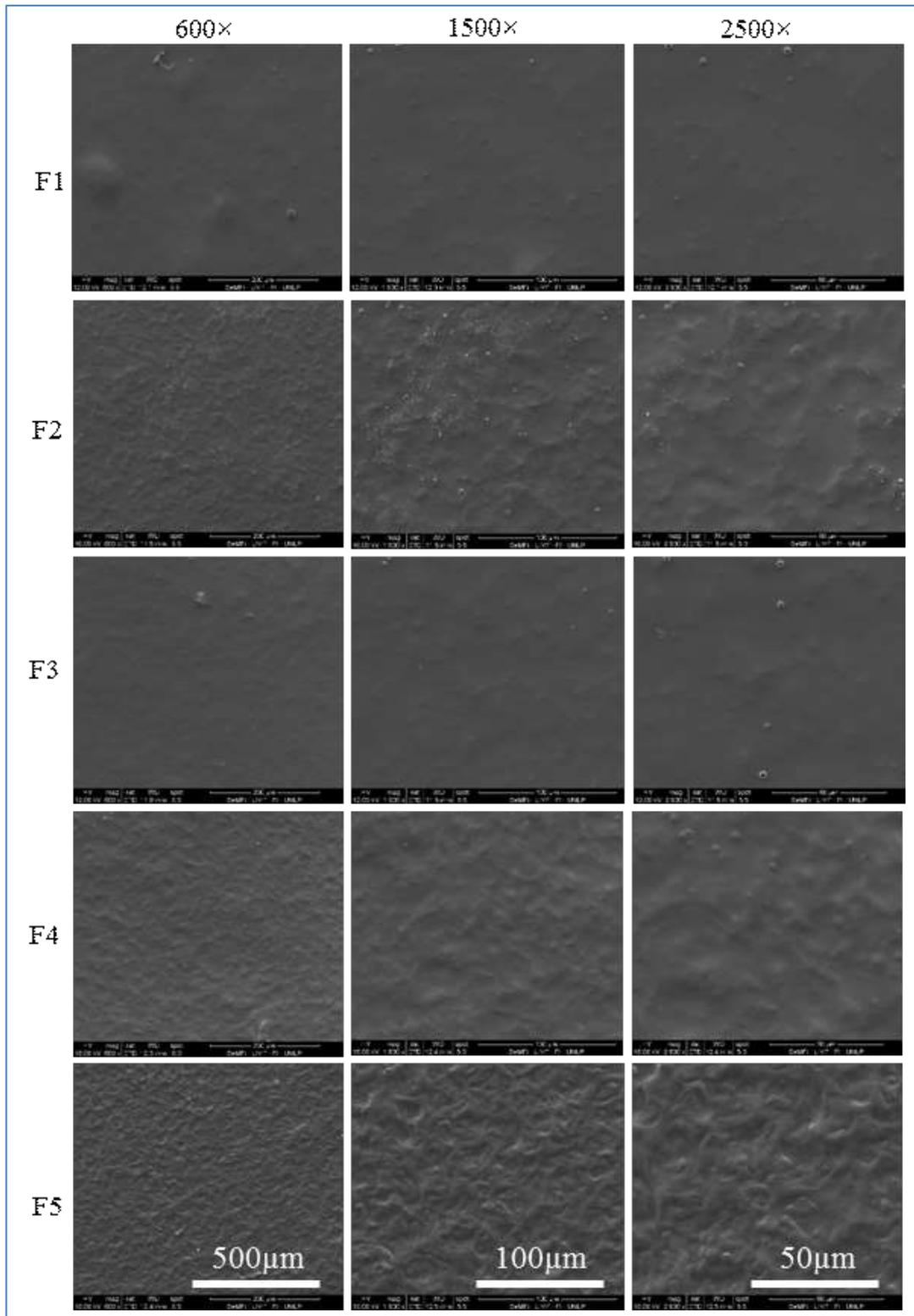


Figura 3.11. Micrografías SEM de la superficie de películas de almidón de mandioca con glicerol y miel a diferentes aumentos.

F1 (100 - 0), F2 (75 - 25), F3 (50 - 50), F4 (25 - 75) y F5 (0 - 100).

A diferencia del resto de las películas con miel, la Figura 3.11 muestra que la microestructura de la película F3 (50/50) se mantuvo similar a la de la muestra F1 (sólo glicerol como plastificante). Gao y col. (2021) también observaron una microestructura lisa y uniforme en películas de almidón con igual contenido de plastificante (50/50 glicerol/agua). Estos autores sugirieron que el agua y el glicerol pueden tener un efecto plastificante sinérgico cuando se utilizan en proporciones iguales, lo que da lugar a una microestructura homogénea.

La Figura 3.12 muestra las secciones transversales de las películas con la combinación glicerol-miel 25 - 75 (F4) y con miel (F5).

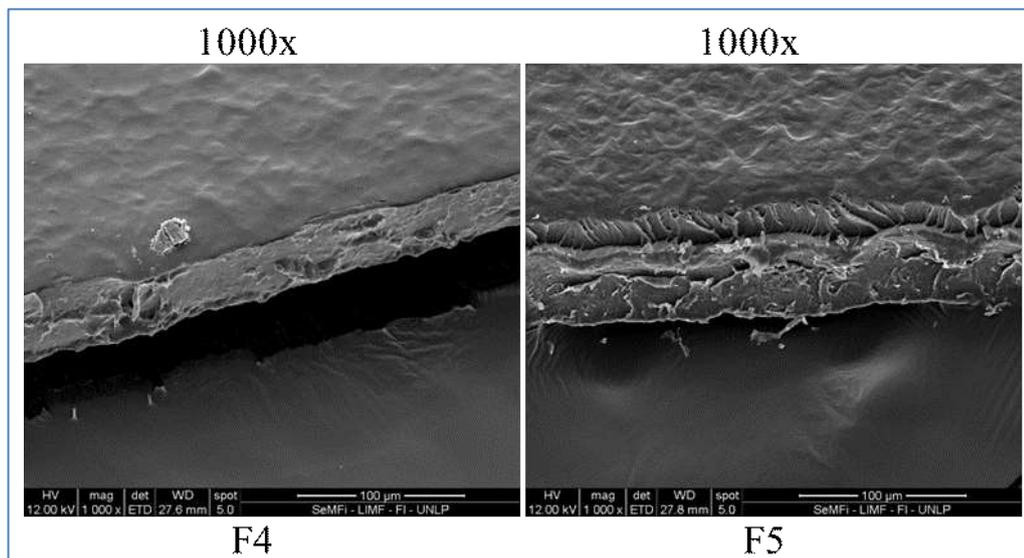


Figura 3.12. Micrografías SEM de la sección transversal de películas de almidón de mandioca con glicerol y miel.

F4 (25 - 75) y F5 (0 - 100).

Los sistemas con miel presentaron cortes menos homogéneos. La muestra F4 presentó una estructura más densa y compacta respecto a la muestra F5. Esta observación indicaría una buena compatibilidad polímero-plastificantes en la película F4, probablemente derivada del efecto sinérgico del glicerol y el agua con la miel. En el caso de la muestra con miel F5 (sin glicerol), se observó mayor heterogeneidad, por lo que podría inferirse que el aporte del glicerol es relevante en la homogeneidad de la microestructura de las películas desarrolladas.

3.5.4.2. Análisis de textura por imágenes

El análisis de imágenes es una herramienta útil para evaluar la morfología de los alimentos, a pesar de las estructuras irregulares de los materiales que los componen. Este tipo de análisis es más cuantitativo y menos sesgado que el método común de percepción visual y ha sido aplicado en diversos alimentos como galletitas, frutas y masas (Gagneten y col., 2023, Pieniazek y Messina, 2018, Yamul y Navarro, 2020).

La textura de una imagen refleja cambios en la intensidad del valor de los píxeles, los cuales contienen información sobre la estructura geométrica de objetos de la imagen. También se puede entender a la textura como patrones repetitivos o estructuras visuales que aparecen en la imagen y que afectan la percepción visual. Algunos ejemplos de textura en una imagen pueden ser rugosidad, suavidad, granularidad, líneas, puntos, manchas, entre otros (Bharati y col., 2004).

La Tabla 3.7 muestra los parámetros hallados en el análisis de textura a partir de las imágenes de SEM de las películas desarrolladas (Figura 3.11). La dimensión fractal (DF) es un parámetro clave de las imágenes fractales, ya que contiene información sobre su estructura geométrica. Está relacionada con la complejidad del patrón de la imagen: un valor de DF más alto corresponde a un patrón más intrincado o rugoso, mientras que valores bajos de DF pueden indicar imágenes más suaves (Yamul y Navarro, 2020).

Tabla 3.7. Dimensión fractal y lacunaridad de micrografías (1500×) obtenidas por microscopía electrónica de barrido.

Formulación	Dimensión fractal	Lacunaridad
F1	1,825±0,008 ^a	0,392±0,106 ^a
F2	1,838±0,003 ^{ab}	0,303±0,021 ^a
F3	1,827±0,009 ^{ab}	0,482±0,142 ^a
F4	1,834±0,008 ^{ab}	0,431±0,027 ^a
F5	1,863±0,003 ^b	0,264±0,006 ^a

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Los resultados de la Tabla 3.7 muestran un aumento significativo ($p < 0,05$) de la DF en la muestra con mayor contenido de miel, lo que indica características más rugosas. Los

valores obtenidos (entre 1 y 2) significan que el conjunto de puntos de la imagen es demasiado para ser unidimensional, pero no lo suficiente para ser bidimensional, es decir, los puntos ocupan más espacio que una línea, pero menos que un plano. La lacunaridad se considera una medida de la heterogeneidad de las imágenes digitales y está relacionada con la distribución del tamaño de los poros o huecos. Se obtuvieron valores de lacunaridad bajos en todas las muestras analizadas (Tabla 3.7), ya que no se observaron poros ni huecos en las micrografías (Figura 3.11). Además, se observó una ligera disminución de los valores de lacunaridad con el mayor contenido de miel, si bien no fue significativa ($p > 0,05$). Varela y col. (2023) informaron valores similares en geles de gelatina, carragenina y pectina con miel.

Por otro lado, las imágenes de SEM de las películas (Figura 3.11) fueron evaluadas a través del método de textura estadística calculada con el algoritmo de la matriz de co-ocurrencia de niveles de grises (GLCM). Este algoritmo estadístico de segundo orden describe la variación espacial de los niveles de gris dentro de una imagen. El contraste es una medida de la variación del valor de gris de los píxeles vecinos. Si estos píxeles son muy similares en sus valores de nivel de gris, entonces el contraste en la imagen es muy bajo (cercano a cero), como muestran los resultados de la Tabla 3.8. La miel, especialmente en los niveles más altos, aumenta el contraste, produciendo texturas más pesadas.

Tabla 3.8. Parámetros de textura por análisis de imagen a partir de micrografías (1500×) obtenidas por microscopía electrónica de barrido.

Muestra	Contraste×10⁻³	Correlación	Energía	Homogeneidad	Entropía
F1	1,0±0,4 ^a	0,832±0,075 ^a	0,995±0,051 ^b	0,999±0,013 ^a	3,321±0,351 ^a
F2	0,8±0,2 ^a	0,739±0,058 ^a	0,909±0,021 ^{ab}	0,985±0,025 ^a	4,744±0,124 ^b
F3	23,6±1,3 ^b	0,816±0,065 ^a	0,997±0,032 ^b	0,999±0,007 ^a	3,339±0,174 ^a
F4	25,5±2,1 ^b	0,750±0,078 ^a	0,852±0,017 ^a	0,987±0,017 ^a	4,740±0,246 ^b
F5	38,9±2,8 ^c	0,859±0,081 ^a	0,824±0,031 ^a	0,988±0,009 ^a	5,454±0,089 ^c

Los valores con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

La correlación es la dependencia lineal del nivel de gris en la imagen, si la correlación es 0, no hay correlación lineal entre los niveles de gris. Los resultados muestran que la miel no modificó significativamente ($p < 0,05$) la característica textural de correlación, pero todos los valores obtenidos fueron superiores a 0,7000, lo que sugiere una direccionalidad en el patrón de textura de la imagen. Por su parte, la energía es una característica de la imagen que proporciona información sobre el grado de uniformidad de la textura. El rango de valores de la energía es [0,1], donde la energía es 1 para una imagen constante. Los valores de energía mostrados en la Tabla 3.8 indican imágenes constantes, pero que disminuyen significativamente ($p < 0,05$) con el contenido de miel más alto.

Las imágenes con alta homogeneidad se refieren a texturas que contienen estructuras repetitivas ideales, mientras que la baja homogeneidad se refiere a grandes variaciones tanto en los elementos de la textura como en su disposición espacial (Yamul y Navarro, 2020). Los valores del rango de homogeneidad fueron los mismos que los de energía, por lo que todas las imágenes analizadas presentaban estructuras repetitivas y el agregado de miel no modificó esta condición. Por su parte, la entropía mide el grado de aleatoriedad de una imagen. Una distribución completamente aleatoria tendría una entropía muy alta. Los resultados de la Tabla 3.8 muestran valores de entropía más elevados para las imágenes con mayor contenido de miel, lo que sugiere un aumento del desorden espacial y de variaciones locales en la imagen (Figura 3.11). El efecto contrario se observó en un trabajo anterior (Varela y col., 2023) con el agregado de miel a geles de gelatina, donde la entropía disminuyó debido al efecto suavizante y homogeneizante de la miel en dichos geles.

3.5.5. Estabilidad

La determinación de la estabilidad de las películas en diferentes medios es un factor decisivo para seleccionar las formulaciones base que estarán en contacto con alimentos de diferentes pH. Además, los cambios en la película pueden ser un indicativo del deterioro del alimento por los cambios en acidez que éste sufre en dicho proceso. Por otro lado, existen varios factores que tienen un impacto significativo en la descomposición de las películas a base de almidón, entre ellos la presencia de hongos, bacterias y otros microorganismos. A través de un proceso enzimático, el polímero se descompone en

moléculas más pequeñas, debilitando así la estructura de la película (Kyrikou y Briassoulis, 2007).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de inmersión de las películas en diferentes medios y de biodegradabilidad en compost vegetal.

3.5.5.1. Inmersión en soluciones ácidas, neutras y alcalinas

La Figura 3.13 muestra imágenes de las diferentes películas luego de la inmersión en un medio ácido, neutro o alcalino, al inicio del ensayo y luego de 7 y 14 días. En soluciones ácidas, el diámetro de las películas aumentó alrededor de 5 mm durante el tiempo del ensayo. Además, no se registró crecimiento de moho, mostrando así una gran estabilidad en este medio hasta el final del ensayo. Cabe destacar que la mayoría de los alimentos tienen pH ácido, por lo que las películas desarrolladas serían aptas para utilizarse como envase o recubrimiento debido a su estabilidad en este medio.

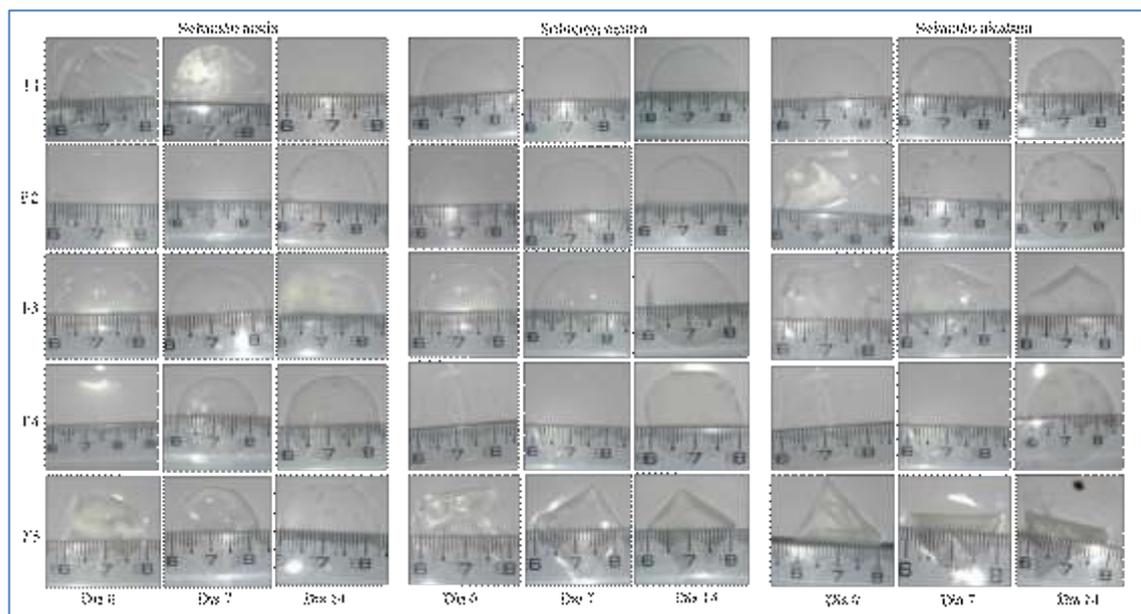


Figura 3.13. Estabilidad en soluciones ácidas, neutras y alcalinas de películas de almidón, glicerol y miel a distintos tiempos de inmersión.

En soluciones de agua destilada (pH neutro), las muestras presentaron un aumento de diámetro de 3 mm aproximadamente (Figura 3.13). La película F5 con solo miel como plastificante mostró pliegues al entrar en contacto con el medio neutro, revelando también

un mayor hinchamiento. Las muestras con mayor contenido de glicerol (F1 y F2) mostraron una mayor transparencia, derivada del menor hinchamiento en dicho medio. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en las propiedades fisicoquímicas (Tabla 3.5).

Al contacto con la solución alcalina, el diámetro de las muestras se redujo aproximadamente entre 1 y 3 mm. En forma similar a lo observado en el medio neutro, la muestra F5 formó pliegues en los bordes al contacto con el medio básico (Figura 3.13). Estos cambios en la película en medio básico o neutro son de importancia para detectar el crecimiento de microorganismos patógenos, los cuales crecen en alimentos de pH neutro a alcalino (Fennema y col., 2008). La desintegración y disolución de las películas en el medio alcalino podría deberse a la reacción del hidróxido de sodio con los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón. Esto destruye y reduce las interacciones de enlace de hidrógeno y las interacciones intra e intermoleculares entre las macromoléculas de almidón, facilitando así el hinchamiento. Además, los iones de sodio pueden reaccionar con los grupos carboxilo para formar grupos carboxilato que aumentarían la hidrofiliidad y la solubilidad del almidón (Gutiérrez y col., 2015).

Por otro lado, se observó hinchamiento en las películas F4 principalmente en los días 7 y 14 y en F5 desde el día 1, ya que el aumento del contenido de miel incrementó la hidratación de las películas en cualquier rango de pH. Al día 14 del ensayo, se observó crecimiento de moho en las películas inmersas en el medio alcalino (Figura 3.13).

3.5.5.2. Biodegradabilidad en compost vegetal

La Figura 3.14 muestra el aspecto y la disminución del área de las películas durante su biodegradación en compostaje. Luego de 7 días de ensayo, se observaron cambios principalmente en el color de las muestras (Figura 3.14a). También se observó una reducción de alrededor del 20 % en el área de la muestra F4, mientras que las demás permanecieron sin cambios significativos (Figura 3.14b). En el día 17, el proceso de biodegradación comenzó a tener lugar principalmente en las muestras con contenido decreciente de glicerol, siguiendo un patrón de disminución del área remanente de película con el aumento del contenido de miel (Figura 3.14b). Tarique y col. (2021) también hallaron que las muestras con alto contenido en glicerol presentaban una mayor conservación tras 20 días de ensayo de degradación.

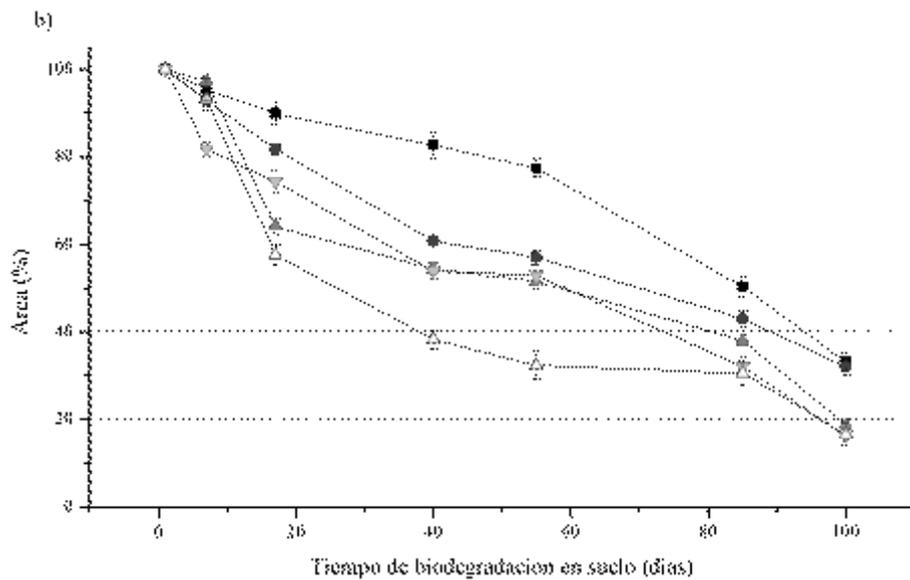
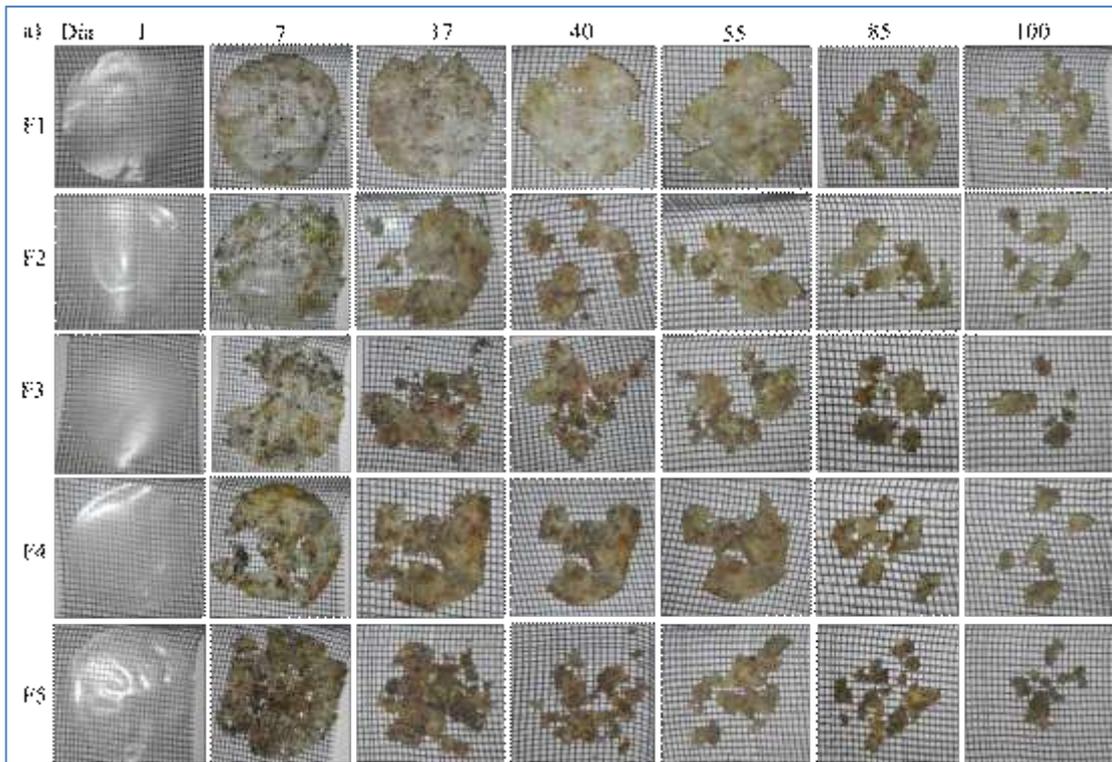


Figura 3.14. Aspecto (a) y degradación estimada como área restante (%) (b) de películas de almidón con glicerol y miel durante la biodegradación en el suelo. F1 (100 - 0) (■), F2 (75 - 25) (●), F3 (50 - 50) (▲), F4 (25 - 75) (▼) y F5 (0 - 100) (Δ).

Luego de 40 y 55 días, la muestra F1 (sólo glicerol) exhibió una biodegradación mínima (Fig. 3.14a) y retuvo aproximadamente el 80 % de su área inicial (Fig. 3.14b).

Por el contrario, las otras muestras presentaron un grado significativo de degradación, especialmente F5, que retuvo menos del 40 % de su área original. Este hecho podría explicarse por la presencia de azúcares en la miel, que son sin duda el sustrato preferido por los microorganismos degradadores. Esta mayor y más rápida degradación hace que las películas enriquecidas con miel sean muy prometedoras para seguir las últimas tendencias en el desarrollo de envases respetuosos con el medio ambiente. Al día 100, las formulaciones con alto contenido de miel (F3, F4 y F5) mostraron una degradación estructural del 80 % (área remanente 20 %, Fig. 3.14b).

Los resultados obtenidos demuestran una rápida degradación de las películas con miel. Según Santos y col. (2011), las películas pueden considerarse biodegradables cuando al menos el 90 % de los materiales se degradan por acción biológica en menos de 180 días. Así, el corto tiempo de degradación observado confirma el potencial de las películas con miel como materiales biodegradables, lo cual constituye una alternativa para sustituir a los polímeros sintéticos.

3.6. Conclusiones parciales

Se generaron matrices biodegradables a base de almidón de mandioca incorporando diferentes relaciones de glicerol y miel como co-plastificantes, con potencial en las áreas de recubrimientos y películas para alimentos. La sustitución de parte del glicerol por miel influyó en el comportamiento reológico de las suspensiones filmogénicas, dando lugar a sistemas con menor tixotropía y pseudoplasticidad, lo que es favorable en los procesos de llenado, bombeo y esparcido del recubrimiento. Todas las formulaciones ensayadas formaron películas con buenas características físicas.

Al incrementarse el contenido de miel, las películas obtenidas exhibieron mejores propiedades de barrera al agua y una mayor capacidad de soportar el esfuerzo antes de romperse bajo tensión de tracción. Sin embargo, la inclusión de miel en las películas redujo su ductilidad, aunque los valores de deformación antes de la ruptura fueron aceptables dependiendo de las aplicaciones finales de las mismas.

El análisis de la microestructura mostró características de homogeneidad en todas las películas, sin bien aquellas con mayor concentración de miel presentaban una microestructura más rugosa, como lo confirmó el análisis de textura de imágenes. Además, la evaluación de las películas en medios de diferente pH mostró su mayor estabilidad en medio ácido como el que presentan la mayoría de los alimentos, demostrando su aptitud de uso como envase o recubrimiento. Asimismo, los cambios físicos observados en las películas en medios neutro o alcalino permitirían detectar el crecimiento de microorganismos patógenos en alimentos de dicho pH. Por otro lado, el incremento de miel en las formulaciones aceleró el proceso de biodegradación de las películas en el compost vegetal, si bien todas las muestras presentaron un grado similar de degradación después de 100 días de ensayo.

Las combinaciones de miel y glicerol ensayadas condujeron a la obtención de sistemas con propiedades diferenciadas que podrían adaptarse a los requisitos específicos de cada producto donde se apliquen. Además, la miel podría aportar sus características al producto final, como el sabor y el valor nutricional debido a los compuestos antioxidantes.

**CAPÍTULO 4.
MATRICES DE
ALMIDÓN DE
MANDIOCA, MIEL Y
FRUTAS**

4. A. CARACTERIZACIÓN DE LAS FRUTAS Y SU FUNCIONALIDAD EN MATRICES PARA RECUBRIMIENTOS

4.A. CARACTERIZACIÓN DE LAS FRUTAS Y SU FUNCIONALIDAD EN MATRICES PARA RECUBRIMIENTOS

4.1. Desarrollo de matrices funcionales con frutas

En este capítulo se presenta el estudio de las matrices con la incorporación de los compuestos bioactivos de las frutas regionales a la matriz de almidón de mandioca, glicerol y miel seleccionada en el capítulo anterior. La investigación realizada está dividida en 3 secciones, A, B y C.

En la sección A, se describen los resultados del efecto de la congelación como tratamiento de conservación sobre las características fisicoquímicas y el contenido de compuestos bioactivos de las frutas. Luego, se analiza el efecto del agregado del jugo y de la pulpa de cada fruta sobre las propiedades reológicas de la suspensión filmogénica seleccionada en el capítulo 3 a fin de evaluar su aptitud para recubrimientos.

En la parte B, se evalúa el efecto de la composición de las matrices frutales sobre las características fisicoquímicas y funcionales y las propiedades mecánicas y de microestructura de las películas formadas, como así también su estabilidad en diferentes medios y su biodegradación en suelo.

Finalmente, en la parte C se presenta una aplicación de las películas activas obtenidas como envase de un alimento cárnico. Se consideró la carne como modelo de un producto crítico desde los puntos de vista microbiológico y de rancidez oxidativa, donde puede verse la aptitud de las películas para actuar como antimicrobianas y antioxidantes.

4.1.1. Parámetros fisicoquímicos de calidad de las frutas

4.1.1.1. Dimensiones, rendimiento y color

La Figura 4.1 muestra las características físicas de las frutas y su rendimiento luego del procesamiento. Se observa que el rendimiento en pulpa y jugo de fruta fue casi total en moras, elevado en mamones (sólo pulpa) y relativamente bajo en pomelos. Cabe destacar que en las moras se incluyeron, además, las semillas debido a que también poseen compuestos bioactivos y su separación de la pulpa involucraría una etapa más de procesamiento. Como ya se mencionó, los extractos de semillas de mora demostraron tener actividad microbiana y un rol importante en la inhibición de peróxidos e hidroperóxidos lipídicos (Gómez-Mejía y col., 2021). Por lo tanto, la utilización de la

mora entera, incluyendo sus semillas, puede tener impacto positivo en las películas desarrolladas en esta tesis debido a sus compuestos y propiedades bioactivas.

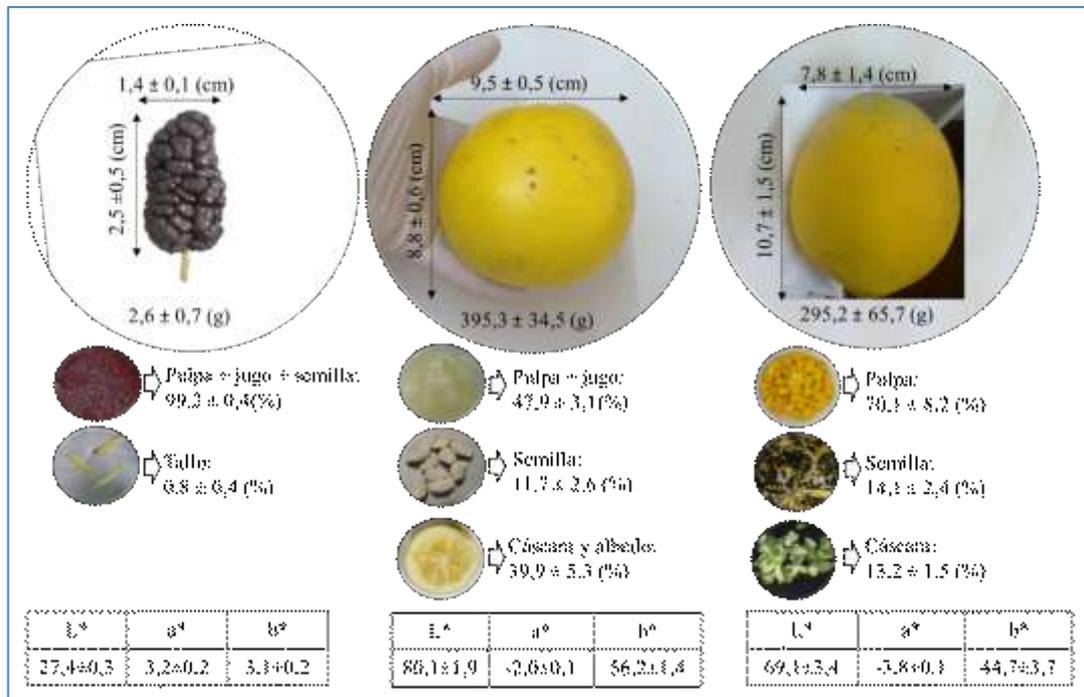


Figura 4.1. Dimensiones de las frutas ensayadas y rendimiento obtenido luego de su procesamiento.

En cuanto al tamaño de las moras, Kattil y col. (2024), en su revisión bibliográfica sobre variedades de mora roja, blanca y negra, informó valores de 4,09 - 22,05 mm de ancho y 12,0 - 32,63 mm de largo para *Morus nigra*. La variedad utilizada en esta tesis se encuentra en el rango medio de tamaño de acuerdo a lo informado por dichos autores.

En el caso del pomelo, su rendimiento fue bajo en pulpa y jugo ya que presentó 51,6 % de material de descarte como semillas, albedo y flavedo o cáscara. Por otro lado, en el mamón se obtuvo un rendimiento mayor de pulpa que incluía el jugo ya que, debido a la característica densa de esta fruta, no fue posible extraer el jugo con la metodología empleada. En cambio, Han y col. (2018) utilizaron una prensa hidráulica para la obtención del jugo a partir del puré de pulpa. Como ya se mencionó, tanto las semillas y cáscaras de pomelo como las cáscaras de mamón y sus extractos pueden ser revalorizados para su inclusión como materiales activos en recubrimientos, películas y otros sistemas de vehiculización como cápsulas.

Respecto al color, la Figura 4.1 muestra las coordenadas L^* , a^* y b^* para las frutas estudiadas. En las moras, el valor de a^* positivo indica el tono rojizo, mientras que el valor de b^* bajo indica menor componente amarillo y más azul, sumados a un valor de luminosidad L^* bajo generan el color púrpura oscuro de esta variedad. En cambio, en pomelo, b^* aumenta indicando tonos amarillos junto a un L^* alto. El mamón se caracteriza por presentar valores de L^* , a^* y b^* altos, es decir alta luminosidad con tonos rojo y amarillo, combinación que genera el color anaranjado característico de esta fruta.

Los colores de las frutas están relacionados con el tipo y concentración de compuestos bioactivos. A medida que el estado de madurez avanza de verde a maduro, los pigmentos cambian su concentración y se forman otros nuevos. Por ello, el color se utiliza como índice de maduración junto a la medida de sólidos solubles y acidez de las frutas, permitiendo estimar la fecha de cosecha y predecir los tiempos de almacenamiento y comercialización (Lado y col., 2014). Las moras adoptan diferentes tonalidades durante el período de maduración, desde blanquecina, pasando por roja y finalmente púrpura oscuro (Figura 4.2a), de acuerdo al nivel de antocianinas formadas en el fruto y la disminución de clorofilas y carotenoides (Saensouk y col., 2022). En cambio, las cáscaras del pomelo sufren menos modificaciones en el color durante la maduración (Figura 4.2b), adoptando el color verde característico de la clorofila al inicio y transformándose en amarillo en su estado maduro debido a los carotenoides. A pesar de que el color de la cáscara está relacionado con los cambios internos del fruto, en el caso de los cítricos no siempre es buen indicador de madurez ya que el proceso de maduración en la pulpa y en la cáscara no es coordinado y fisiológicamente ambos tejidos maduran en forma autónoma e independiente (Tadeo y col., 2008). En el caso del mamón, esta fruta pasa por colores que van desde el verde al naranja amarillento en el estado final maduro (Figura 4.2c), principalmente debido al contenido de clorofila que va disminuyendo y el de carotenos que va aumentando en el tiempo (Barragán-Iglesias y col., 2018).

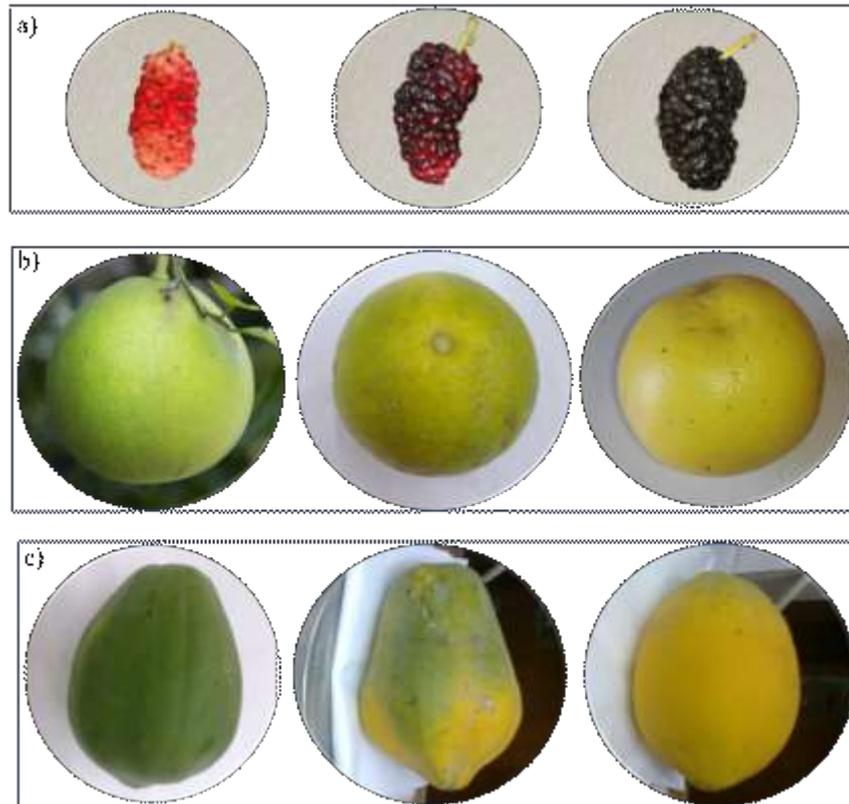


Figura 4.2. Imágenes de los frutos de a) mora, b) pomelo y c) mamón en diferentes estados de madurez.

Una variable importante a tener en cuenta en el procesamiento de las frutas es su estacionalidad. Los pomelos y mamones alcanzan su estado de maduración en el invierno (junio-julio), mientras que las moras en primavera (septiembre-noviembre). Si bien es posible encontrar mamones todo el año, estas frutas son altamente perecederas en la planta, además de sufrir lesiones por pájaros durante el alcance de madurez total. Al tratarse de frutas climatéricas, los mamones pueden ser cosechados en estado verde-maduro y alcanzar la madurez deseada en poscosecha. A fin de poder disponer de las frutas durante todo el año para el desarrollo de las matrices, se estudió previamente el efecto de la congelación como método de conservación de la materia prima.

La Figura 4.3 muestra el aspecto de las frutas luego de permanecer almacenadas a -20°C . Tanto las moras como el pomelo mostraron pérdida de sus jugos al descongelarse. En el caso del mamón, la congelación daña las células del tejido ocasionando la pérdida de presión de turgencia y a nivel de la pared celular una pérdida de componentes de la pared lo que causa la pérdida de la integridad y el colapso celular (Phothiset y Charoenrein, 2014).

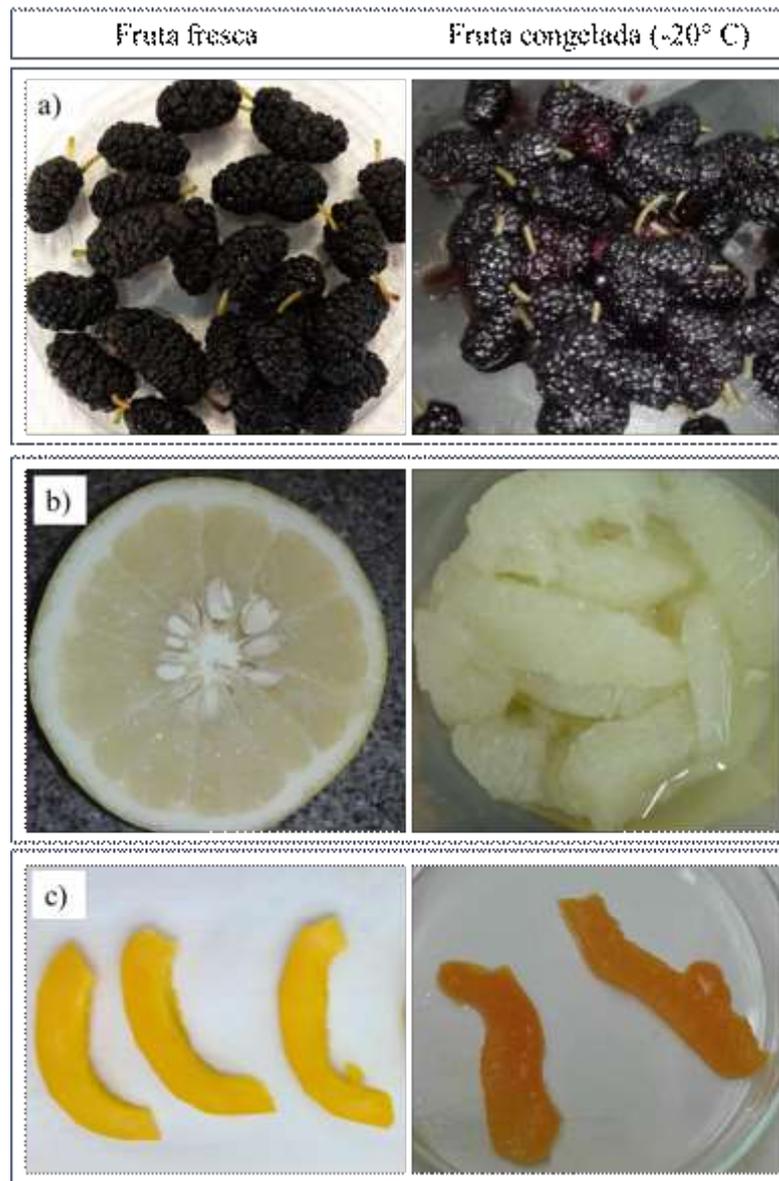


Figura 4.3. Imágenes de los frutos de a) mora, b) pomelo y c) mamón antes y después del almacenamiento congelado.

La Tabla 4.1 muestra que el color de las pulpas se vio afectado por el proceso de congelación de las frutas durante 30 d. La pulpa de mora fue la que presentó menos alteraciones en el color debido a la congelación, ya que sólo su valor de luminosidad L^* disminuyó significativamente ($p < 0,05$). En cambio, la pulpa de pomelo se tornó más clara luego del almacenamiento en estado congelado debido a los cambios significativos ($p < 0,05$) en las coordenadas de color (aumento de L^* y disminución de a^* y b^*). En el caso de la pulpa de mamón se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) de L^* , a^* y b^* como consecuencia de la congelación. Si bien esta pulpa presentó el mayor ΔE , su color sigue siendo atractivo, aunque con un tono más anaranjado que el de la pulpa de la

fruta fresca. La disminución de los tonos rojos y amarillos de las pulpas de frutas se debe a la degradación de pigmentos por el efecto de la congelación en el tejido (Veberic y col., 2014). A excepción del mamón, la mora y el pomelo no sufrieron una degradación significativa del color luego de la congelación, lo que podría implicar que la mayoría de sus compuestos bioactivos se conservarían tras dicho proceso.

Tabla 4.1. Coordenadas L*, a* y b* de pulpas de mora (Mo), pomelo (Po), mamón (Ma). (F) Frutas en estado fresco y (C) Frutas en estado congelado durante 30 d a -20 °C.

Fruta	L*	a*	b*	ΔE
MoF	27,4±1,2 ^b	3,2±1,0 ^a	1,1±0,4 ^a	
MoC	23,3±2,2 ^a	2,3±1,3 ^a	0,7±0,3 ^a	4,32±1,34 ^a
PoF	49,2±0,1 ^a	-2,9±0,2 ^b	8,6±0,2 ^b	
PoC	55,2±0,7 ^b	-4,1±0,4 ^a	6,4±0,8 ^a	6,51±0,37 ^a
MaF	66,9±2,0 ^b	15,7±1,0 ^b	58,5±3,8 ^b	
MaC	46,0±0,6 ^a	5,3±0,4 ^a	30,4±1,3 ^a	36,58±3,21 ^b

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro y para cada tipo de fruta, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las propiedades de color de las antocianinas son altamente dependientes de la estructura y del pH (Giusti y Wrolstad, 2003). Los pH bajos estabilizan la estructura y conducen a una apariencia más oscura de la fruta. Veberic y col. (2014) observaron que el almacenamiento congelado alteró la composición del color en zarzamoras (berry similar a la mora), donde registraron una disminución del porcentaje de color rojo y un aumento en el de los colores amarillo y azul. En las moras del presente trabajo se observó una tendencia similar, si bien las diferencias de las coordenadas a* y b* no fueron significativas ($p > 0,05$) respecto a la fruta fresca (Tabla 4.1).

El clima de la región de cultivo es un factor importante que influye en la madurez de los frutos y en el desarrollo de los pigmentos. La región del Chaco es una zona subtropical con altas temperaturas (superiores a 30 °C desde octubre a marzo) que favorecen el proceso de maduración. Por lo tanto, el mamón y la mora de esa región deberían cosecharse cuando están parcialmente maduros para soportar la manipulación, el

almacenamiento y el transporte y llegar con buena calidad de consumo a los consumidores. Por otro lado, el clima con veranos secos y altas temperaturas e inviernos fríos y húmedos puede favorecer la calidad de cítricos como el pomelo al producir frutas con cáscaras más gruesas y brillantes (Tadeo y col., 2008).

4.1.1.2. Efecto de la congelación sobre los parámetros fisicoquímicos

La Tabla 4.2 muestra los valores de pH, acidez titulable total (ATT), sólidos solubles totales (SST) y relación azúcares/acidez (índice de madurez) de las frutas frescas y luego de la congelación. Los resultados muestran que los valores de pH, ATT y SST de las frutas no fueron afectados significativamente ($p > 0,05$) por el proceso de congelación. La variedad, el estado de madurez y las condiciones climáticas durante el desarrollo del fruto son algunos de los factores que influyen en el contenido de azúcares totales (SST) disueltos en el jugo celular (Lado y col., 2018). Este parámetro se incrementa con el grado de madurez debido a la conversión de ácidos orgánicos en azúcares o a la reserva de carbohidratos de la planta por la baja capacidad fotosintética del fruto. El sabor y las características de palatabilidad de las frutas están determinados principalmente por la relación entre los niveles de azúcar y ácido, lo cual impacta en la percepción de los consumidores (Jayasena y Cameron, 2008). Una relación SST/ATT alta corresponde a frutos de sabor dulce, mientras que una relación baja a aquellos de sabor agrio. En el presente trabajo, tanto la acidez como el contenido de sólidos solubles de las frutas determinarán el comportamiento reológico y las propiedades de las matrices para ser usadas como recubrimientos o películas.

Tabla 4.2. Características fisicoquímicas de mora (Mo), pomelo (Po) y mamón (Ma) en estado fresco y luego de congeladas a -20 °C durante 30 d.

Fruta	pH	ATT (%)	SST (°Bx)	SST/ATT	Humedad (%)	Cenizas (%)
MoF	4,83±0,19 ^a	0,10±0,01 ^a	12,3±0,3 ^a	120,9±2,8 ^a	82,4±1,8 ^a	0,70±0,03 ^a
MoC	4,67±0,30 ^a	0,11±0,02 ^a	12,9±0,5 ^a	119,8±4,6 ^a	87,1±3,2 ^a	0,68±0,01 ^a
PoF	3,27±0,07 ^a	0,78±0,05 ^a	9,3±0,4 ^a	11,9±0,5 ^a	86,6±0,3 ^a	0,42±0,03 ^a
PoC	3,23±0,12 ^a	0,80±0,04 ^a	9,5±0,7 ^a	11,6±0,9 ^a	88,0±0,4 ^a	0,44±0,01 ^a
MaF	5,59±0,06 ^a	0,09±0,02 ^a	13,5±0,7 ^a	151,1±3,2 ^a	89,4±0,2 ^a	0,72±0,09 ^a
MaC	5,48±0,13 ^a	0,10±0,01 ^a	12,7±2,3 ^a	130,3±4,7 ^a	89,3±0,2 ^a	0,76±0,06 ^a

ATT: acidez titulable total, SST: Sólidos solubles totales, a_w: actividad acuosa.

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro y para cada tipo de fruta, diferencias significativas (p < 0,05).

Los valores de los parámetros obtenidos en moras (Tabla 4.2) están en el rango de los reportados por otros autores (Kattil y col., 2024) para especies de esta variedad: pH (3,79 - 6,79), ATT (0,01 - 0,21 %) y SST (12,11 - 20,10 %). Los azúcares más abundantes en la mora negra son la glucosa y la fructosa, y en menor contenido se encuentran la arabinosa, galactosa, xilosa y manosa. De acuerdo a los valores de SST/ATT, el sabor de la mora de la región chaqueña es dulce, sin embargo, el dulzor de la mora negra es menor al de las variedades blanca y roja que pueden alcanzar valores de SST de 30 % y 19 % y ATT de 0,14 % y 0,68 %, respectivamente (Kattil y col., 2024). Por lo tanto, en general la variedad negra no se consume como fruta fresca, siendo importante su aprovechamiento para extraer sus compuestos bioactivos e incluirlos en alimentos funcionales. Respecto al tratamiento de congelación, Wu y col. (2010) observaron que el pH de zarzamoras se mantenía constante luego de la congelación, mientras que Veberic y col. (2014) hallaron diferencias mínimas en los valores antes y después de congelar el mismo tipo de fruta.

En pomelos, el pH y el contenido de SST fueron similares a los hallados por La Cava y Sgroppo (2015) en la fruta almacenada durante 30 días a 4 °C. Sin embargo, el valor de ATT (Tabla 4.2) fue menor que el informado por estos autores (1,6 %). Cabe destacar que dichos autores utilizaron la misma variedad (*Citrus paradisi* Macf.) usada en el

presente estudio, la cual provenía de Corrientes, provincia limítrofe con Chaco. El bajo pH del pomelo es debido a los ácidos presentes en la fruta, como el ascórbico, cítrico, málico y tartárico, los que contribuyen al sabor de la fruta junto a la naringina, flavonoide responsable de su sabor amargo. La relación SST/ATT fue mucho menor que para mora o mamón, denotando su sabor agrio. Para cítricos se acepta una relación SST/ATT mayor o igual a 6 para su comercialización, sin embargo, depende de la especie y variedad, como así también de la región productora (Lado y col., 2014).

En el caso del mamón, los valores de los parámetros obtenidos (Tabla 4.2) se encuentran en el rango de los informados por Barragán-Iglesias y col. (2018) en papayas variedad Maradol con grados de maduración 5 (madurez de consumo) y maduro: valores de ATT (0,088 - 0,114), SST (11,39 - 12,87 %) y relación SST/ATT (129,52 - 112,64). La disminución en este último parámetro observada por dichos autores indicaría un deterioro en el sabor y aroma del fruto en el estado maduro. Por otro lado, durante el proceso de maduración, el pH aumenta debido a la conversión de ácidos orgánicos en azúcares, si bien los valores reportados por estos autores para ambos grados de madurez (4,75 - 4,87) fueron menores a los hallados en el presente trabajo (Tabla 4.2).

Por otro lado, el contenido de humedad y las cenizas no presentaron variaciones significativas ($p > 0,05$) luego de la congelación de las frutas (Tabla 4.2). Los contenidos de cenizas hallados en mora y mamón fueron similares y más elevados que en pomelo, indicando un mayor contenido de minerales en dichas frutas. Los valores de a_w estuvieron en el rango 0,939 - 0,954 \pm 0,003, siendo valores típicos de frutas tanto para el estado fresco como congelado. Para aumentar su vida útil, las frutas necesitan ser deshidratadas para tener un a_w bajo y así disminuir el riesgo microbiológico ($a_w < 0,6$). Ello es posible a través de procesos de secado como se verá en el Capítulo 5A donde las frutas son recubiertas con las matrices desarrolladas y sometidas a secado para obtener un snack frutal.

4.1.1.3. Efecto de la congelación y almacenamiento sobre el contenido de compuestos bioactivos de las frutas

Los resultados de la Tabla 4.3 indican que la congelación y posterior almacenamiento redujo significativamente ($p < 0,05$) el contenido de polifenoles y flavonoides de las moras con la consecuente reducción de la actividad antioxidante. Esto podría deberse a que la congelación afectaría la estructura celular del tejido de las moras exponiendo a los

polifenoles específicos de este fruto a degradación. Por el contrario, el contenido de antocianinas aumentó luego de la congelación.

El pomelo y el mamón tuvieron un comportamiento opuesto ya que luego del almacenamiento congelado mostraron un aumento significativo ($p < 0,05$) del contenido de polifenoles y flavonoides y de la actividad antioxidante. Sin embargo, el contenido de carotenoides en el mamón disminuyó.

Tabla 4.3. Efecto de la congelación sobre el contenido de compuestos bioactivos de mora (Mo), pomelo (Po) y mamón (Ma). (F) Estado fresco y (C) Estado congelado.

Muestra	Fenoles totales (mg AG/100g bs)	Flavonoides totales (mg Q/100g bs)	DPPH (%)	ABTS (μ MTx/100g bs)
MoF	3568,7 \pm 107,6 ^b	408,5 \pm 1,3 ^a	90,5 \pm 0,5 ^b	60882,9 \pm 1521,2 ^b
MoC	1641,4 \pm 75,3 ^a	581,3 \pm 5,3 ^b	81,9 \pm 0,9 ^a	42293,1 \pm 104,0 ^a
PoF	731,3 \pm 10,6 ^a	15,6 \pm 0,3 ^a	40,3 \pm 2,5 ^a	7764,7 \pm 91,5 ^a
PoC	857,6 \pm 18,6 ^b	19,3 \pm 0,4 ^b	47,5 \pm 0,1 ^b	10167,6 \pm 47,4 ^b
MaF	431,5 \pm 18,8 ^a	44,1 \pm 0,1 ^b	68,9 \pm 0,2 ^b	12126,6 \pm 157,6 ^b
MaC	640,5 \pm 12,6 ^b	46,8 \pm 0,5 ^a	17,40 \pm 1,7 ^a	5714,4 \pm 707,8 ^a

Muestra	Antocianinas (mg Cyd-3-glu/100 g bs)	Muestra	Carotenoides (μ g/g b.s)
MoF	2,5 \pm 0,1 ^a	MaF	311,9 \pm 15,9 ^b
MoC	3,6 \pm 0,1 ^b	MaC	141,8 \pm 7,1 ^a

Muestra	Vitamina C (mg AA/100g b.s)
MoC	7,1 \pm 1,3
PoC	402,6 \pm 11,0
MaC	644,8 \pm 27,1

AG: ácido gálico, Q: quercetina, Tx: Trolox, AA: ácido ascórbico. Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro y tipo de fruta, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Pehlivan y col. (2015) hallaron una disminución en compuestos fenólicos como rutina y ácido clorogénico durante el almacenamiento congelado de moras, si bien observaron fluctuaciones a lo largo de los 5 meses del ensayo, atribuidas a la alta reactividad de estas moléculas. En cambio, Wu y col. (2010) reportaron que la congelación resultó ser la tecnología de conservación menos destructiva de los compuestos fenólicos de zarzamoras, comparada con otras tecnologías de conservación como secado, liofilización o enlatado en almíbar. Sin embargo, si bien la congelación aumenta la vida útil de este tipo de frutas, los productos descongelados pueden presentar colapso estructural y cambios en su composición nutricional (Wu y col., 2010). En este trabajo de tesis se aplicó una velocidad de congelación lenta lo que permitió conservar las moras en buen estado hasta su utilización en la formulación de las matrices. Veberic y col. (2014) hallaron que la mayoría de los compuestos fenólicos, azúcares y ácidos orgánicos de zarzamoras tenían una mayor extracción después del almacenamiento, especialmente en el tratamiento a velocidad de congelación lenta debido al alto grado de daño en la estructura celular producido por los grandes cristales de hielo formados. Por lo tanto, podría inferirse que los compuestos bioactivos de las frutas utilizadas en esta tesis tendrían mayor disponibilidad luego de la congelación.

En estudios sobre otra fruta similar a las moras, las frambuesas, de Ancos y col. (2000) informaron que la estabilidad de las antocianinas en condiciones de congelación y después del almacenamiento congelado depende del período estacional de cosecha, el grado de maduración y la duración del almacenamiento congelado a largo plazo. Estos autores hallaron que los cultivares de maduración temprana fueron menos afectados por el procesamiento, mientras que en los frutos de maduración tardía se producía una disminución en las antocianinas y particularmente en la cianidina 3-glucósido que se degradaba más fácilmente durante el procesamiento y durante el año de almacenamiento.

Es interesante destacar que la pulpa de mora utilizada en la presente tesis contenía las semillas de la fruta, ya que por la metodología empleada no fue posible separarlas y además resultaría un paso adicional de procesamiento. Recientemente, Gómez-Mejía y col. (2021) caracterizaron los compuestos bioactivos (ácidos orgánicos, tocoferoles y polifenoles) y las propiedades funcionales (actividades antioxidantes, antihemolítica, citotóxica y antimicrobiana) de extractos de semillas de mora. Entre los compuestos hallados por dichos autores están los derivados del ácido elágico que juegan un rol importante en la inhibición de peróxidos e hidroperóxidos lipídicos y en la actividad microbiana. De esta forma, en el presente trabajo, las matrices formuladas con la pulpa

de mora tendrían compuestos con potencial como conservantes para extender la vida de útil de alimentos.

Respecto a la vitamina C, Veberic y col. (2014) hallaron una disminución en el contenido de este compuesto luego de la congelación de zarzamoras, si bien la reducción fue más pronunciada en aquellas congeladas rápido respecto al tratamiento de congelación lento. Estos autores también observaron una dependencia del cultivar ya que aquellos que tenían menor contenido de vitamina C en la cosecha presentaron reducciones de hasta 50 %, mientras que en aquellos con mayor concentración fue de hasta 80 %.

4.1.1.4. Caracterización de residuos del procesamiento: semillas de mamón

Con el objetivo de mostrar la potencialidad de uso de las semillas descartadas en el procesamiento del mamón, se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Como se observa en la Figura 4.4, el fruto de mamón posee gran cantidad de semillas que pueden ser revalorizadas como lo han demostrado las investigaciones sobre otras variedades de papaya (Han y col., 2018, Parniakov y col., 2015). La semilla de mamón es de forma ovoide y de color marrón oscuro en la madurez (Santana y col., 2019). Posee tamaños entre 4 y 6 mm y se une a la parte carnosa de la fruta por medio de hilos, de color amarillo claro.



Figura 4.4. Semillas de mamón (SMa).

La evaluación del color mostró valores bajos de luminosidad ($36,30 \pm 0,97$) indicando tonos oscuros en la coloración de la semilla. La coordenada b^* presentó valores de $7,00 \pm 1,08$ debido al tono amarillento de los hilos que unen la semilla a la pulpa, los cuales son considerados también como desechos. Los valores de la coordenada a^* ($1,10 \pm 0,10$)

indicaron una tonalidad más cercana a los tonos verdosos, correlacionando con lo hallado visualmente. Las semillas presentaron valores de pH ($5,82 \pm 0,08$) cercanos a los hallados para la pulpa (Tabla 4.1). En cambio, la humedad ($67,81 \pm 0,28$ %) de las semillas fue mucho menor que la de la pulpa, probablemente por las características estructurales de la semilla que aportan mayor contenido de sólidos.

Al igual que las frutas, las semillas fueron congeladas para su conservación y luego se extrajeron sus compuestos bioactivos (Tabla 4.4). Los valores de polifenoles totales fueron 3,5 veces mayores a los hallados en la pulpa (Tabla 4.3), lo que posiciona a este desecho como ventajoso para incorporarlos como extractos en matrices bioactivas. Zhou y col. (2011) realizaron estudios con diferentes solventes de extracción y hallaron elevado contenido de polifenoles y flavonoides en las muestras tratadas con acetato de etilo y n-butanol. En el presente estudio, los valores de flavonoides y capacidad antioxidante por DPPH fueron similares a los obtenidos para la pulpa, mientras que el contenido de vitamina C fue menor (Tabla 4.3). En el caso del ácido ascórbico, los valores concuerdan con los reportados por otros autores (Santana y col., 2019).

Tabla 4.4. Contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante total de extractos etanólicos de semillas de mamón.

Determinación	Resultado
Fenoles totales (mg AG/100g _{bs})	1480,38 ± 35,41
Flavonoides totales (mg Q/100g _{bs})	54,76 ± 5,01
DPPH (%)	65,30 ± 2,70
ABTS (μmol Tx/100g _{bs})	3959,29 ± 38,62
Vitamina C (mg AA/100g _{bs})	20,91 ± 1,41

AG: ácido gálico, Q: quercetina, Tx: Trolox, AA: ácido ascórbico

De acuerdo a Han y col. (2018), las semillas de mamón pueden representar una porción significativa de los desechos (hasta el 30 % del volumen del fruto) y contienen un alto porcentaje de lípidos (25 - 30 % en peso seco) que pueden ser aprovechados. Por ello, dichos autores extrajeron el aceite de la semilla el cual resultó fuente de carbono y energía para cultivar ciertos microorganismos con el fin de obtener productos de alto valor. Por otro lado, Parniakov y col. (2015) lograron extraer elevadas cantidades de compuestos bioactivos (proteínas, compuestos fenólicos, carbohidratos e isotiocianatos) presentes en

las semillas de mamón utilizando metodologías de energía eléctrica pulsada (campo eléctrico pulsado y descarga eléctrica de alto voltaje). Por lo tanto, es relevante la revalorización de estos residuos del procesamiento de las frutas.

4.1.1.5. Efecto de la congelación sobre las propiedades de textura de las pulpas de fruta

El tratamiento de congelación de las frutas afectó la estructura de éstas como se observó en la Figura 4.3. Los ensayos de punción permiten analizar la firmeza, la cual puede interpretarse como una respuesta mecánica intrínseca a la estructura de la fruta, esta se ve influenciada por el estado de desarrollo fisiológico, el grado de madurez, daños, fibrosidad y turgencia. En la Figura 4.5 se muestran los perfiles de fuerza de las frutas antes y después del almacenamiento congelado durante 30 días a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el caso de las moras (Figura 4.5a), la fuerza máxima disminuyó significativamente ($p < 0,05$) luego de la congelación (de $3,2 \pm 0,9\text{ N}$ a $0,2 \pm 0,1\text{ N}$), indicando que el almacenamiento congelado debilitó su estructura. Las moras son frutas de textura delicada por lo que la congelación y posterior descongelación causa una pérdida de turgencia y firmeza. Valores similares de fuerza máxima de punción fueron hallados por Sousa y col. (2007) en zarzamoras de variedad *Rubus fruticosus* L. congeladas con nitrógeno líquido a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. El almacenamiento congelado en pomelos y mamones, al igual que las moras, también debilitó su estructura. En la Figura 4.5b se observa que, en pomelos los valores de fuerza máxima disminuyeron después de la congelación desde $1,2 \pm 0,5\text{ N}$ a $0,3 \pm 0,08\text{ N}$. Por otro lado, la fuerza máxima en los mamones (Figura 4.5c) disminuyó de $7,5 \pm 0,2\text{ N}$ para frutas en estado fresco a $4,3 \pm 1,8\text{ N}$ para frutas congeladas.

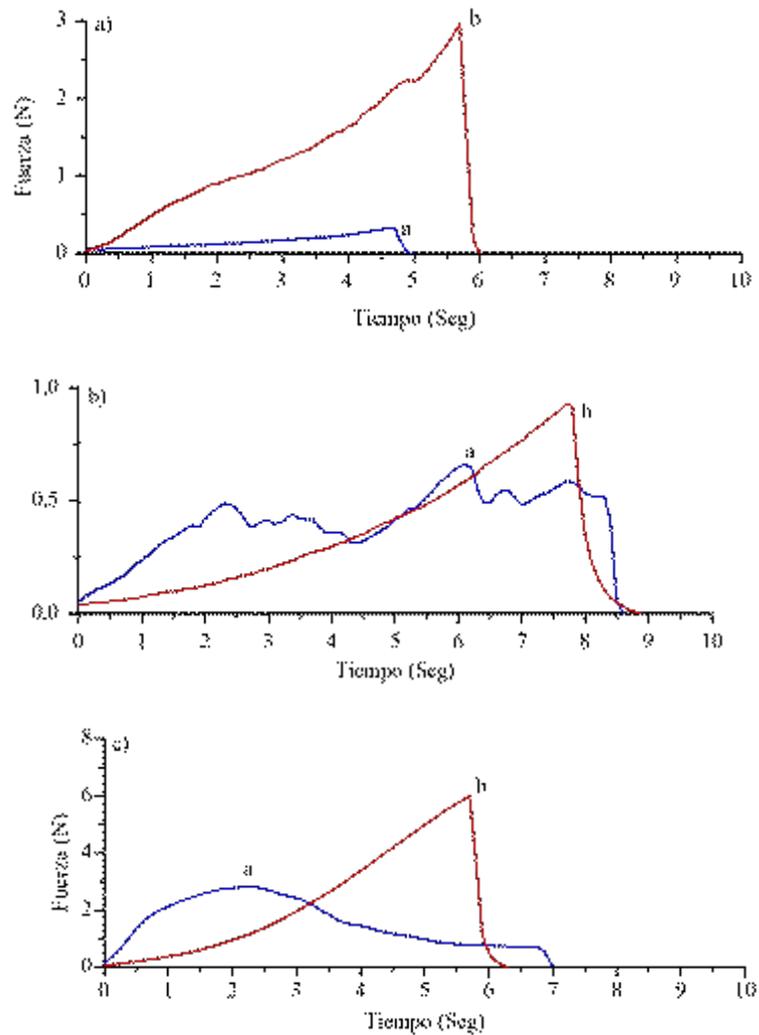


Figura 4.5. Curvas obtenidas en los ensayos de punción de las pulpas de las frutas: a) mora, b) pomelo y c) mamón. Frutos en estado fresco (■) y en estado congelado (■).

En la Tabla 4.5 se observan el efecto del almacenamiento congelado de las frutas sobre los valores de los parámetros hallados en el análisis de perfil de textura. Se observa que el almacenamiento produjo una disminución ($p < 0,05$) en la dureza de las frutas, es decir en la resistencia que opone a la penetración. La cohesividad es la propiedad relativa al grado de deformación de un producto antes de romperse, ésta aumentó sus valores en el mamón congelado. La congelación produjo un aumento de la elasticidad en todas las frutas, lo que se traduce como una mayor rapidez de recuperación de la deformación después de la aplicación de una fuerza en las frutas congeladas.

Tabla 4.5. Valores de los parámetros del análisis de perfil de textura de las frutas: mora (Mo), pomelo (Po), mamón (Ma) en estado fresco (F) y congelado (C).

Fruta	Dureza	Cohesividad	Elasticidad	Adhesividad	Resiliencia	Consistencia
MoF	3,20±0,91 ^b	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a	-0,04±0,01 ^a	0,05±0,01 ^a	7,88±2,34 ^b
MoC	0,23±0,06 ^a	0,00±0,00 ^a	0,05±0,03 ^b	-0,01±0,00 ^b	0,05±0,02 ^a	0,46±0,17 ^a
PoF	1,20±0,51 ^b	0,54±0,20 ^a	0,85±0,07 ^a	-0,06±0,03 ^a	0,24±0,03 ^a	2,92±1,30 ^b
PoC	0,30±0,08 ^a	0,49±0,22 ^a	0,97±0,02 ^b	-0,04±0,03 ^a	0,73±0,56 ^a	0,87±0,18 ^a
MaF	7,54±1,00 ^b	0,21±0,05 ^a	0,32±0,18 ^a	-0,10±0,12 ^a	1,16±0,16 ^a	15,13±0,10 ^b
MaC	4,38±1,80 ^a	0,61±0,01 ^b	0,80±0,06 ^b	-0,19±0,30 ^a	0,34±0,01 ^a	5,97±2,13 ^a

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro y tipo de fruta, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Por otro lado, la adhesividad, relacionada con el esfuerzo requerido para separar la superficie del alimento de otra superficie, disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en la mora congelada, mientras que en mamones y pomelos este parámetro no se modificó por el tratamiento (Tabla 4.5). La resiliencia a la recuperación del material no presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre las frutas antes y después de la congelación. Por el contrario, la consistencia disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en todas las frutas después de la congelación.

Debido al deterioro provocado por el almacenamiento congelado, se pueden plantear alternativas como procesar las frutas en formato jugo y pulpa para incorporarlas en matrices. Otra opción es utilizarlas como frutas cortadas o en láminas, debido a sus formas irregulares, que pueden ser destinadas a los snacks frutales, como se verá en el capítulo 5A, utilizando la fruta para recubrirla con las matrices y deshidratarla.

4.2. Incorporación de las frutas a las matrices de almidón, glicerol y miel

Se estudió la incorporación de jugo y pulpa de frutas a la matriz base seleccionada en el Capítulo 3, que correspondió a la formulación F4 con una proporción 25 - 75 de glicerol y miel como co-plastificantes. Se evaluó los parámetros fisicoquímicos y reológicos de las suspensiones filmogénicas.

4.2.1. Efecto de las frutas sobre la formación de las suspensiones filmogénicas

El aporte de acidez de la fruta en la matriz de almidón puede influir en el pH de la suspensión formadora de película y modificar la reticulación, o no, de los enlaces poliméricos del almidón (Gutiérrez y col., 2015). La Figura 4.6 muestra que las moras agregadas en formato de jugo o pulpa disminuyeron el pH de la matriz control (5,34) a valores entre 4 y 5 (promedio $4,4 \pm 0,1$), debido al carácter ácido de esta fruta (Tabla 4.2). Por otro lado, el JPo y la PPo disminuyeron aún más el valor de pH (promedio $2,7 \pm 0,2$) debido a su contenido de ácido cítrico, lo que constituye un aporte importante de acidez en la suspensión filmogénica.

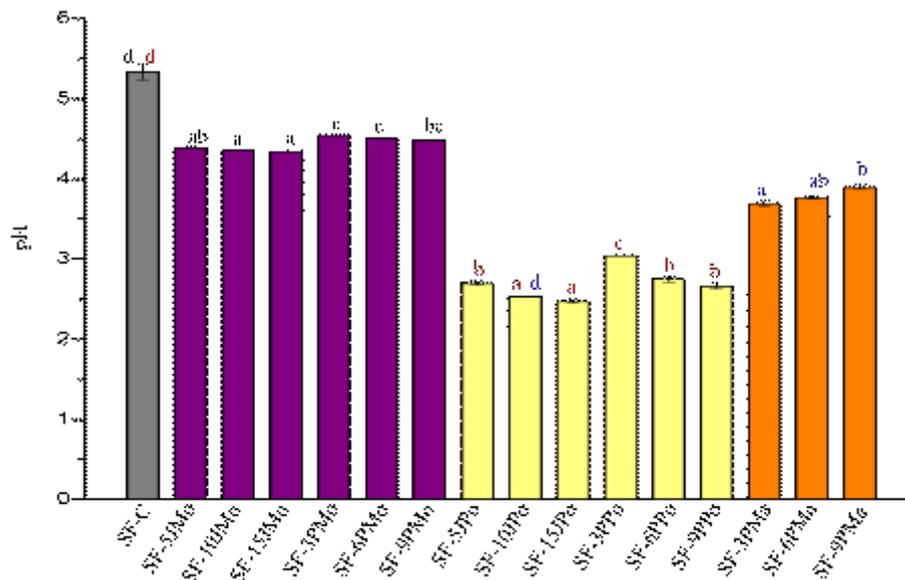


Figura 4.6. pH de soluciones formadoras de películas con jugo y pulpa de frutas.

SF: Suspensión filmogénica, JMo y PMo: Jugo y pulpa de mora, JPo y PPo: Jugo y pulpa de pomelo, PMa: Pulpa de mamón. Los números denotan la concentración.

Letras diferentes en las barras indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Para cada tipo de fruta y su control, las letras minúsculas tienen igual color.

A diferencia de la mora y el pomelo, el mamón es una fruta poco ácida, como se desprende de sus valores de pH y acidez total titulable (Tabla 4.2). Los ácidos orgánicos del mamón son principalmente ácido málico y cítrico, en igual proporción, con cantidades menores de ácido ascórbico y α -cetoglutárico (Moy, 2003). Debido a su baja acidez, la PMa agregada en diferentes concentraciones (3, 6 y 9 % p/v) a las formulaciones base no permitían la unión de los componentes de la suspensión filmogénica. Estas dieron lugar a películas con grietas, quiebres y baja estabilidad. Por ello, se optimizaron las formulaciones de PMa tomando como control la formulación al 10 % p/v de JPo, lo que disminuyó el pH de la suspensión filmogénica a $3,8 \pm 0,1$ (Figura 4.6, con control 10 % JPo). Ello originó películas estables, sin grietas y fáciles de despegar de las placas de Petri.

4.2.2. Comportamiento reológico de las suspensiones filmogénicas con frutas

4.2.2.1. Sistemas con jugo y pulpa de moras

Las curvas de comportamiento de flujo de las suspensiones con diferente contenido de jugo y pulpa de moras se muestran en la Figura 4.7. El agregado de la fruta en ambos formatos no modificó el comportamiento pseudoplástico respecto al control, observándose una disminución de la viscosidad aparente con la velocidad de corte. Sin embargo, se observó mayor tixotropía en las muestras con las frutas respecto al control (Figura 4.7a y 4.7c).

En el caso de las muestras con jugo se observaron valores de esfuerzo de corte menores que el control para concentraciones de 5JMo y 10JMo y mayores para 15JMo, a velocidad de corte constante (Figura 4.7a). En cambio, a medida que aumentó la concentración de PMo (Figura 4.7b) los valores de esfuerzo de corte fueron mayores que el control para la misma velocidad de corte, lo que indica que la pulpa de este fruto fortaleció la estructura de las suspensiones formadoras de películas. Resultados similares obtuvieron Silva-Weiss y col. (2013) al evaluar los parámetros reológicos de recubrimientos de quitosano-almidón de maíz con extractos de hojas de murta.

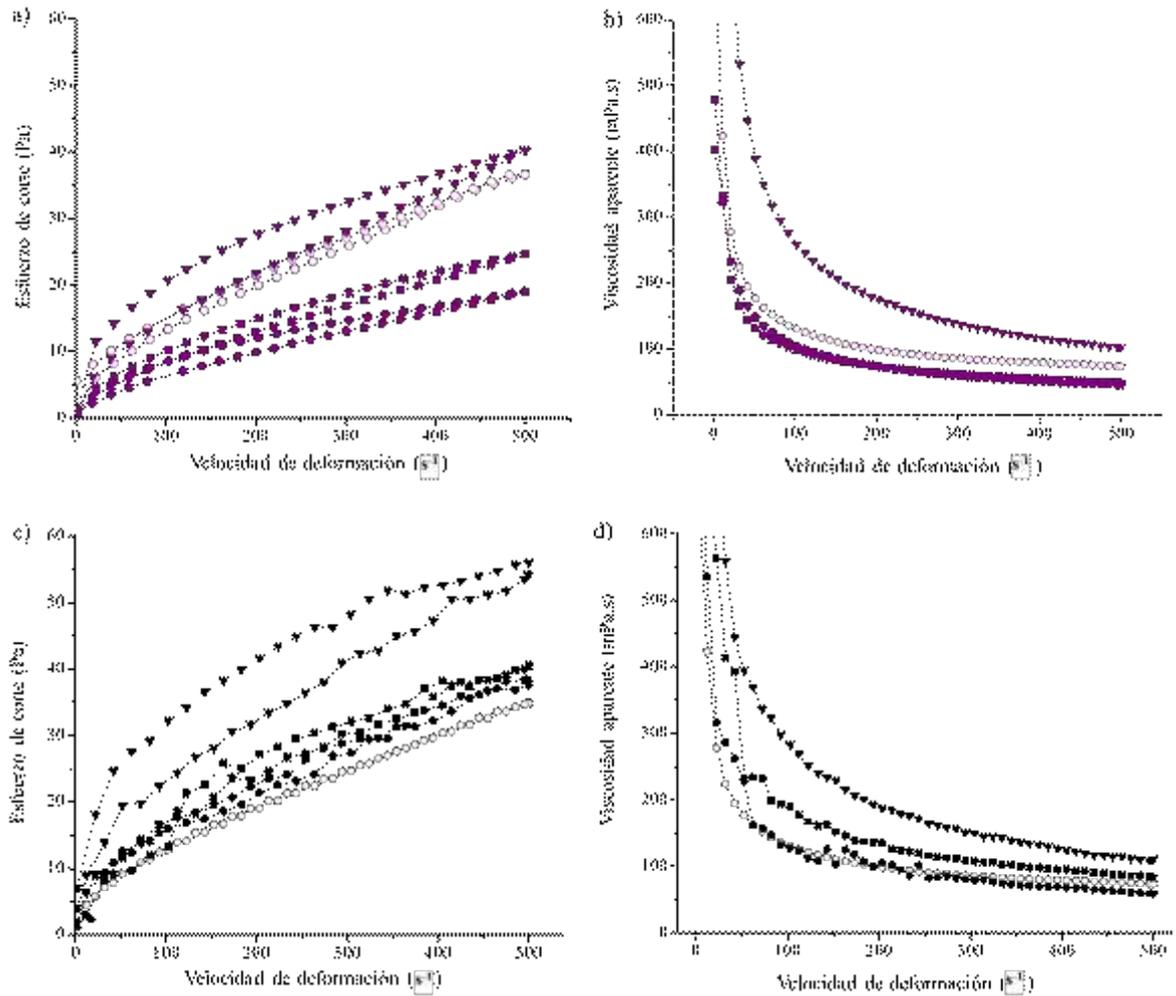


Figura 4.7. Comportamiento de flujo: a) y c) esfuerzo de corte, b) y d) viscosidad aparente, en función de la velocidad de deformación, correspondiente a las suspensiones de almidón de mandioca con jugo (a y b) y pulpa (c y d) de mora. Control (○), 5JMo (■), 10JMo (●) 15JMo (▼) 3PMo (■), 6PMo (●), 9PMo (▼).

Los resultados se ajustaron al modelo de la ley de potencia ya que permite describir variados fluidos que contienen sólidos solubles con alto peso molecular (Salazar y col., 2022). A partir de los resultados ajustados se obtuvieron n y K . La Tabla 4.6 muestra que la adición de jugo o pulpa de mora a la suspensión filmogénica incrementó el comportamiento pseudoplástico (menor n) siendo este efecto mayor en los sistemas con pulpa. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las diferentes concentraciones de pulpa ensayadas. El parámetro K es equivalente a la viscosidad de los fluidos newtonianos y aumentó (Tabla 4.6) con el agregado de jugo o pulpa.

Tabla 4.6. Índice de flujo (n), índice de consistencia (K) y viscosidad aparente a 500 s^{-1} de las suspensiones filmogénicas con jugo y pulpa de mora.

Formulación	n	K (Pa×sⁿ)	Viscosidad aparente a 500 s^{-1} (mPa×s)
SF-C	0,65±0,05 ^c	0,67±0,13 ^a	73,13±6,58 ^b
SF-5JMo	0,55±0,01 ^b	0,80±0,04 ^a	64,56±0,76 ^a
SF-10JMo	0,50±0,04 ^b	0,86±0,43 ^a	62,82±0,92 ^a
SF-15JMo	0,40±0,01 ^a	3,85±0,48 ^c	148,00±2,83 ^e
SF-3PMo	0,44±0,04 ^a	2,59±0,46 ^b	84,39±0,49 ^c
SF-6PMo	0,43±0,02 ^a	2,04±0,09 ^b	113,50±0,71 ^d
SF-9PMo	0,40±0,02 ^a	4,12±0,22 ^c	160,00±2,56 ^f

Valores con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Por otro lado, se evaluó el comportamiento viscoelástico de las suspensiones filmogénicas con JMo y PMo a través de ensayos dinámicos oscilatorios en el rango de viscoelasticidad lineal donde la muestra no sufre daño estructural. Estos ensayos mostraron que el rango de viscoelasticidad lineal fue de 0,3 Pa para las muestras con JMo y de hasta 0,1 Pa para las que contenían la pulpa de esta fruta. Por lo tanto, se realizaron barridos de frecuencia a dichas deformaciones. La Figura 4.8 (c-f) muestra el espectro mecánico (G' y G'' vs frecuencia de oscilación) de suspensiones filmogénicas preparadas con diferentes concentraciones de JMo y PMo. Las formulaciones que contienen solo jugo muestran valores de ambos módulos menores que las formulaciones con pulpa, excepto a frecuencias superiores a 30 Hz en las que los valores son similares. Los resultados indican que, con excepción de las formulaciones con 10JMo y 15JMo, G' fue mayor que G'' en todo el rango de frecuencias ensayado. Al igual que lo observado en las matrices base del Capítulo anterior, todas las muestras se comportarían como materiales tipo gel o geles fuertes ($G' > G''$), de acuerdo a los modelos de Giboreau y col. (1994) y Ross-Murphy (1995). Las muestras con 10JMo y 15JMo muestran valores similares de G' y G'' , lo que sugiere un comportamiento de gel similar al débil. Además,

los valores de G' y G'' de las muestras de JMo son menores que el control dentro del rango de 0,4 a 40 Hz.

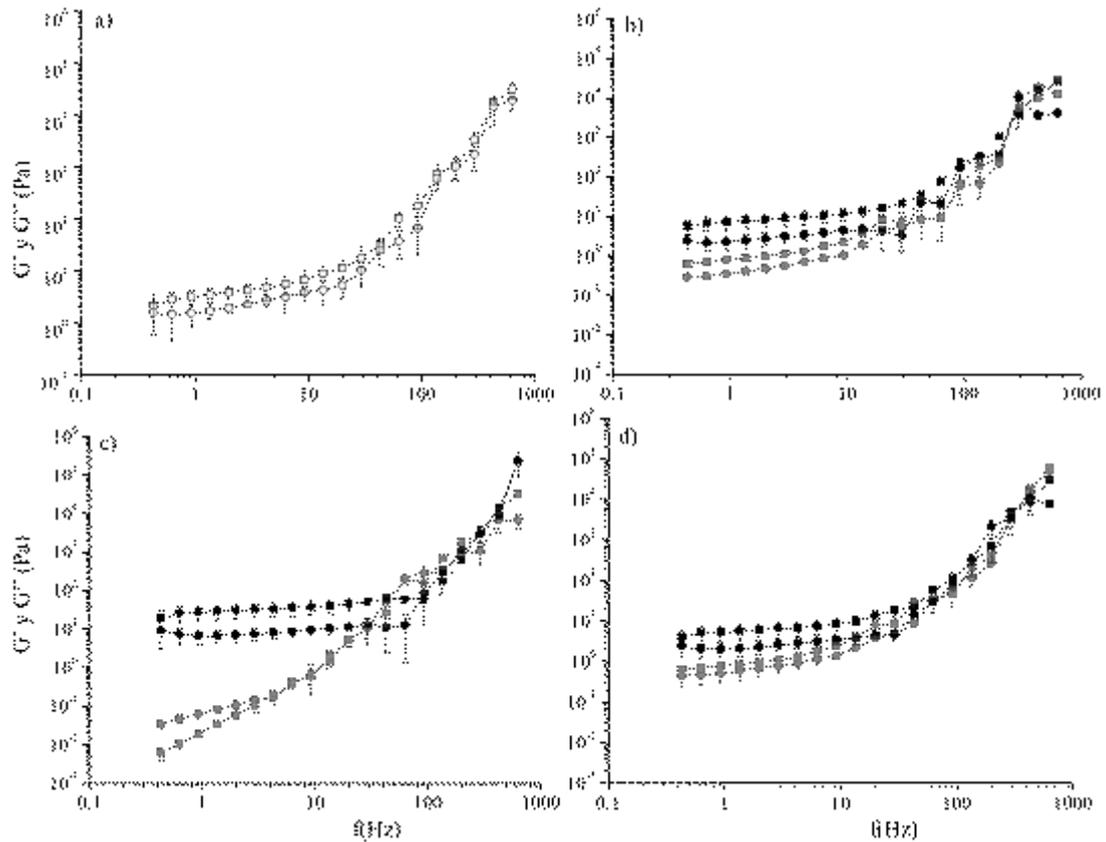


Figura 4.8. Espectros mecánicos de las suspensiones de almidón de mandioca con jugo (gris) y pulpa de mora (negro). SF-C (a), SF-5JMo y SF-3PMo (b), SF-10JMo y SF-6PMo (c), SF15JMo y SF9PMo (d). (■) G' , (●) G'' .

4.2.2.2. Sistemas con jugo de pomelo

En la Figura 4.9a se observan las curvas de comportamiento de flujo de las suspensiones filmogénicas sin y con distintas concentraciones de JPo. Todas las muestras revelaron un comportamiento no Newtoniano, pseudoplástico, confirmado por los resultados de la Tabla 4.7.

Se observa que a medida que aumentó la concentración de jugo en la formulación los valores de esfuerzo de corte se incrementaron para una misma velocidad de deformación. El esfuerzo de corte fue significativamente menor ($p < 0,05$) en la formulación control indicando que el JPo refuerza la estructura de las suspensiones formadoras de películas.

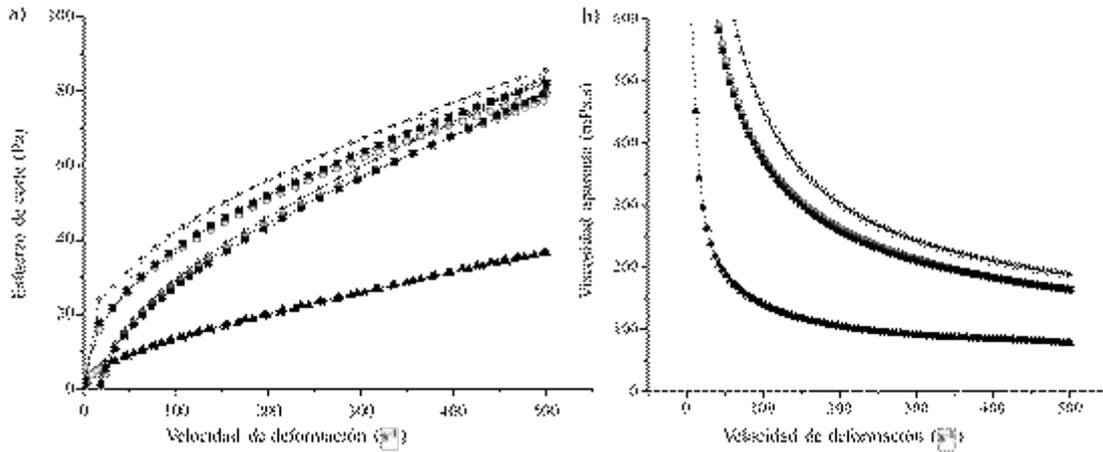


Figura 4.9. Comportamiento de flujo: a) esfuerzo de corte, b) viscosidad aparente, en función de la velocidad de deformación, correspondiente a las suspensiones de almidón de mandioca con jugo de pomelo. SF-C (▲), SF-5JPo (○), SF-10JPo (■) y SF-15JPo (*).

El agregado de JPo no modificó significativamente ($p > 0,05$) el índice de flujo respecto del control, a diferencia de lo que sucedió con el índice de consistencia y la viscosidad aparente a 500 s^{-1} (Tabla 4.7).

Tabla 4.7. Índice de flujo (n), índice de consistencia (K) y viscosidad aparente a 500 s^{-1} de las suspensiones filmogénicas con JPo.

Formulación	n	K ($\text{Pa}\times\text{s}^n$)	Viscosidad aparente a 500 s^{-1} ($\text{mPa}\times\text{s}$)
SF-C	$0,65\pm 0,05^{\text{ab}}$	$0,67\pm 0,13^{\text{a}}$	$73,13\pm 6,58^{\text{a}}$
SF-5JPo	$0,61\pm 0,00^{\text{a}}$	$1,85\pm 0,08^{\text{c}}$	$159,00\pm 7,07^{\text{b}}$
SF-10JPo	$0,67\pm 0,01^{\text{b}}$	$1,31\pm 0,04^{\text{b}}$	$164,00\pm 0,00^{\text{b}}$
SF-15JPo	$0,66\pm 0,04^{\text{ab}}$	$1,44\pm 0,18^{\text{b}}$	$172,00\pm 22,63^{\text{b}}$

Valores con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes

($p > 0,05$).

En la Figura 4.10 se representan los espectros mecánicos de las suspensiones de la formulación control sin y con la incorporación de diferentes proporciones de JPo. Se observa que la formulación control se comportó como un gel ($G' > G''$) y que el JP no modificó este comportamiento en ninguna de las concentraciones ensayadas.

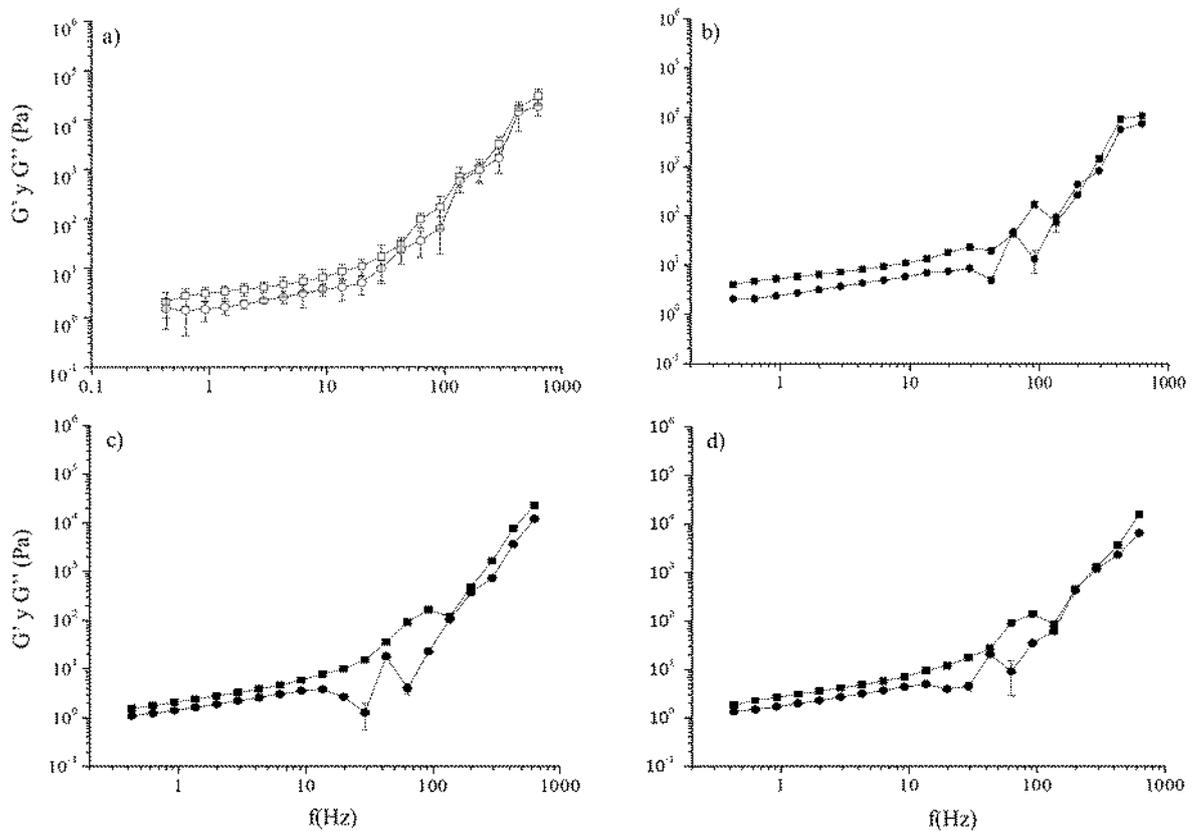


Figura 4.10. Espectros mecánicos de las suspensiones de almidón de mandioca con jugo de pomelo. SF-C (a), SF-5JPo (b), SF-10JPo (c), SF-15JPo (d). (■) G' , (●) G'' .

4.2.2.3. Sistema con pulpa de mamón

Se estudiaron las curvas de comportamiento de flujo de las suspensiones filmogénicas con una concentración de 9 % de PMA. Los valores de esfuerzo de corte fueron menores que el control para la misma velocidad de deformación, indicando que la pulpa de este fruto debilitó la estructura de la suspensión control (con 10 % de JPo) a valores de velocidad de deformación superiores a 100 s^{-1} (Figura 4.11a). La suspensión formadora con PMA no modificó el comportamiento pseudoplástico del control observándose una disminución de la viscosidad aparente con la velocidad de deformación (Figura 4.11b).

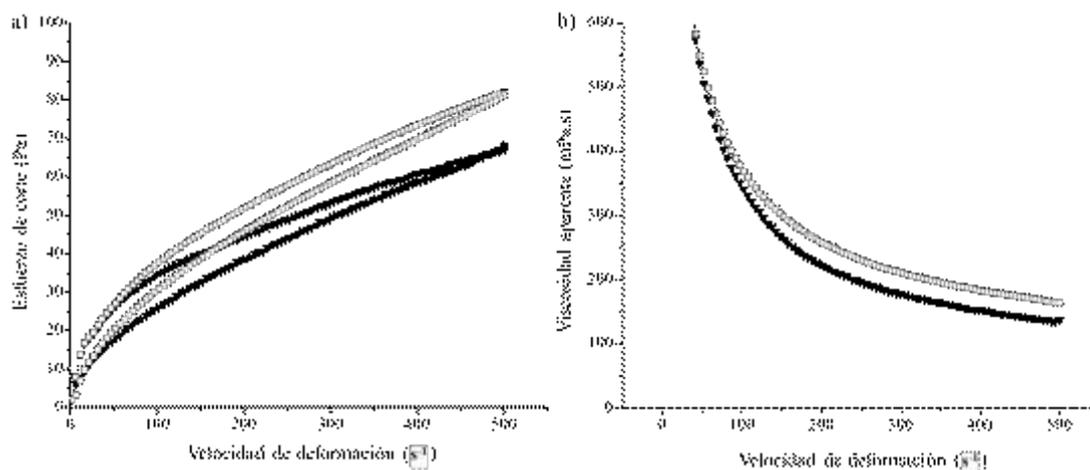


Figura 4.11. Comportamiento de flujo: a) esfuerzo de corte, b) viscosidad aparente, en función de la velocidad de deformación, correspondiente a las suspensiones de almidón de mandioca con PMA. SF-10JPo (Control) (□), SF-9PMA (▼).

El agregado de PMA disminuyó el índice de flujo y la viscosidad aparente, sin embargo, no modificó significativamente ($p > 0,05$) el índice de consistencia (Tabla 4.8).

Tabla 4.8. Índice de flujo (n), índice de consistencia (K) y viscosidad aparente a 500 s^{-1} de las suspensiones de almidón de mandioca con PMA.

Formulación	n	K ($\text{Pa} \times \text{s}^n$)	Viscosidad aparente a 500 s^{-1} ($\text{mPa} \times \text{s}$)
SFC-10JPo	$0,67 \pm 0,01^b$	$1,31 \pm 0,04^a$	$164,00 \pm 0,00^b$
SF-9PMA	$0,61 \pm 0,01^a$	$1,49 \pm 0,16^a$	$128,50 \pm 7,78^a$

Valores con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

En la Figura 4.12 se representan los espectros mecánicos de las suspensiones de la formulación control (Figura 4.12a) sin y con la incorporación de PMA (Figura 4.12b). En ambas figuras G' fue levemente mayor que G'' . La PMA no modificó este comportamiento.

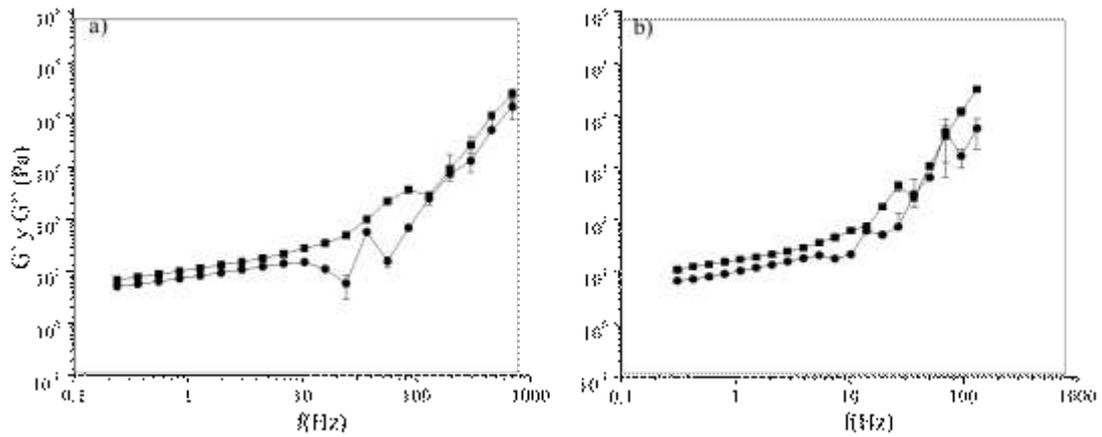


Figura 4.12. Espectros mecánicos de las suspensiones de almidón de mandioca con 9 % pulpa de mamón. Control SF-10JPo (a), SF-9PMa(b). (■) G' , (●) G'' .

El estudio del comportamiento reológico fue necesario para evaluar la estabilidad física de los recubrimientos después de su aplicación sobre las superficies a tratar. En cuanto a las suspensiones de almidón-plastificante, las formulaciones almidón-miel y almidón-miel-fruta, modificaron el comportamiento reológico de las muestras, como era de esperar, debido a la presencia de miel y extractos frutales.

4. B. PELÍCULAS A BASE DE MATRICES FRUTALES

4.B. PELÍCULAS A BASE DE MATRICES FRUTALES

4.3. Películas a base de jugo y pulpa de frutas

Todas las películas (Figura 4.13) se observaron íntegras, sin grietas, fáciles de manipular y no pegajosas. Las que contienen jugo o pulpa de mora, Figura 4.13a, presentaron un color que puede ser atractivo para la preparación de ciertos envases de alimentos (Nogueira y col., 2018), y que aumentó con la adición de jugo o pulpa. El aumento en el contenido de JMo produjo películas no uniformes con distribuciones desiguales de espesor y color. Por otro lado, el aumento en el contenido de PMo produjo películas de bordes frágiles al desmoldar. La adición de pulpa hizo que la estructura fuera menos uniforme y más rugosa.

El agregado de JPo (Figura 4.13b) condujo a películas más transparentes y heterogéneas respecto a las que contenían PPo. En estas últimas se observa los pequeños fragmentos de pulpa. Todas las formulaciones con pomelo se mostraron como una sola película sin grietas, fáciles de manipular y no pegajosas. El aumento en el contenido de PPo produjo películas más rugosas y de coloración más blanquecina.

Las películas con PMa presentaban un buen aspecto (Figura 4.13c), no presentaron grietas y fueron poco pegajosas y fáciles de manipular. La adición de pulpa aumentó la coloración y produjo películas no uniformes con distribuciones desiguales de espesor y coloración.

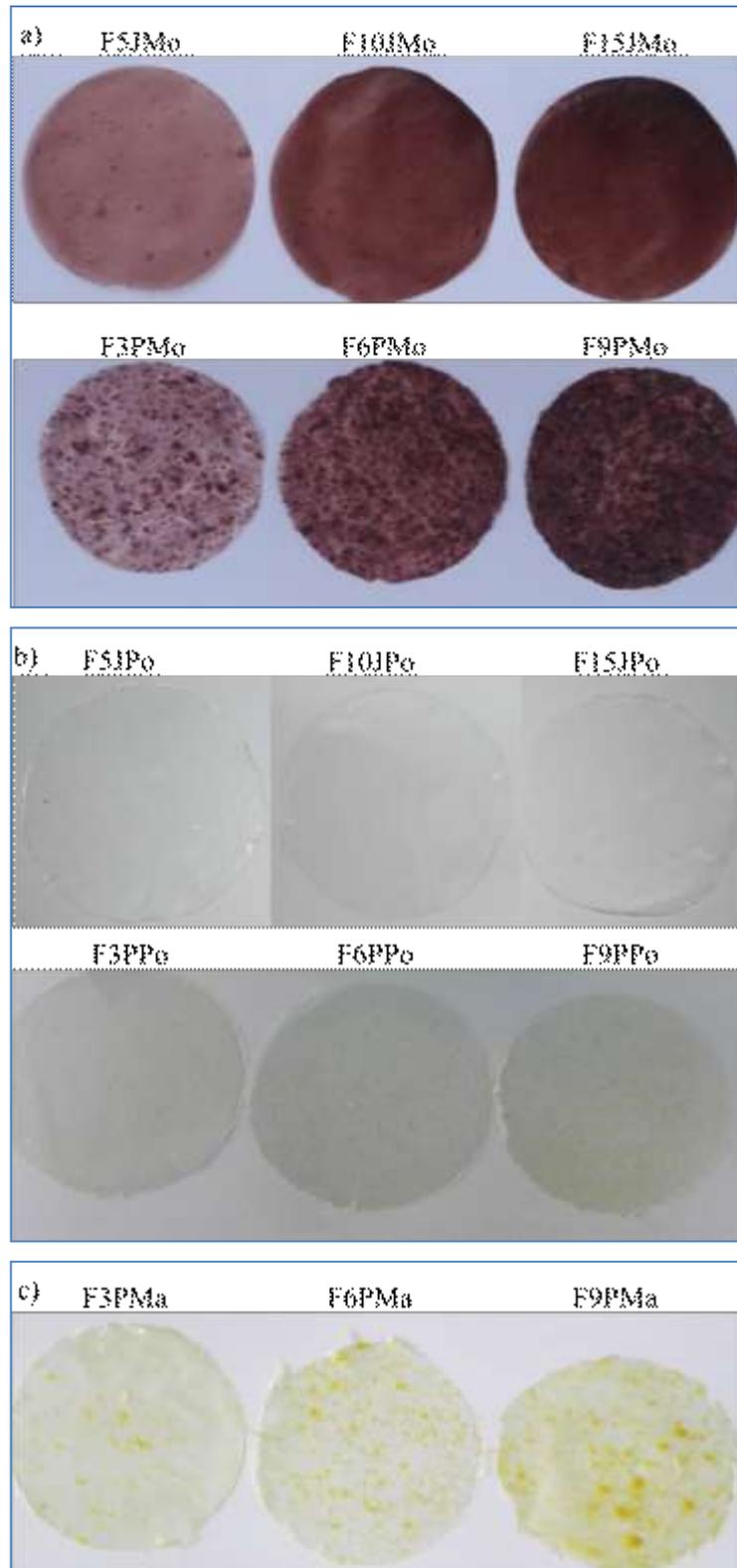


Figura 4.13. Fotografías de películas con frutas de: a) mora, b) pomelo y c) mamón.

4.3.1. Parámetros fisicoquímicos de las películas

4.3.1.1. Color

Todas las películas con jugo o pulpa de mora presentaron una coloración notoria con tonalidades del violeta al magenta, a diferencia de la muestra control que fue transparente e incolora. La Tabla 4.9 muestra que la adición de jugo o pulpa disminuyó la luminosidad (L^*) y tornó las películas menos amarillentas (disminución de b^*). Sin embargo, la coordenada a^* no se modificó significativamente ($p > 0,05$) por la adición de jugo, pero disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en las muestras de PMo, lo que hizo que las películas fueran menos rojizas, probablemente por la interferencia de las tonalidades de las semillas presentes en la pulpa. Otros autores, Nogueira y col. (2018) y Luchese y col. (2017b) encontraron un comportamiento colorimétrico similar en películas con pulpa de zarzamora y arándano, respectivamente.

Respecto al color de las películas de JPo y PPo se observó que la coordenada b^* , asociada al color amarillo, aumentó significativamente ($p < 0,05$) con la incorporación de 15% de JPo y de 6 % y 9 % y PPo dando una tonalidad levemente amarilla por la presencia de la fruta. Asimismo, las muestras con mayores porcentajes de jugo y pulpa presentaron valores de a^* y L^* más altos y más bajos, respectivamente, que el control.

En las formulaciones con mamón ambas coordenadas, a^* y b^* , aumentaron con el contenido de pulpa, poniendo en evidencia el aporte de los tonos rojizo y amarillo de la fruta. Excepto los valores de a^* , tanto los correspondientes a b^* como a la luminosidad L^* disminuyeron respecto al control, que en este caso fue la película con 10% p/v de jugo de pomelo.

Tabla 4.9. Coordenadas de color de películas con jugo y pulpa de frutas.

Muestra	L*	a*	b*
FC	91,5±0,3 ^e	-0,5±0,0 ^a	5,5±0,0 ^d
F5JMo	62,0±0,9 ^d	18,2±0,5 ^{bc}	7,6±0,1 ^c
F10JMo	37,1±2,1 ^a	19,6±0,4 ^{bc}	3,7±0,2 ^a
F15JMo	39,0±2,2 ^{ab}	21,0±2,9 ^c	4,7±0,3 ^b
F3PMo	51,3±1,2 ^c	25,0±1,6 ^d	5,2±0,2 ^{cd}
F6PMo	42,8±3,1 ^b	21,0±2,1 ^c	4,4±0,2 ^b
F9PMo	38,7±0,5 ^a	16,2±1,7 ^b	3,3±0,5 ^a
FC	91,5±0,3 ^b	-0,5±0,0 ^a	5,5±0,0 ^a
F5JPo	91,1±0,8 ^b	-0,5±0,0 ^a	6,7±0,5 ^b
F10JPo	90,7±0,4 ^b	-0,1±0,0 ^a	7,6±0,2 ^{bc}
F15JPo	87,6±1,4 ^a	1,2±0,3 ^b	11,4±0,6 ^d
F3PPo	91,4±1,0 ^b	-0,5±0,1 ^a	6,7±0,4 ^b
F6PPo	90,4±1,0 ^b	-0,1±0,1 ^a	8,2±0,7 ^c
F9PPo	87,0±1,4 ^a	1,3±0,5 ^b	10,6±0,5 ^d
FC-F10JPo	90,7±0,4 ^b	-0,1±0,0 ^a	7,6±0,2 ^d
F3PMa	44,8±0,2 ^a	0,2±0,0 ^{ab}	0,4±0,1 ^a
F6PMa	45,5±0,1 ^a	0,1±0,1 ^b	1,2±0,3 ^b
F9PMa	45,3±1,0 ^a	0,7±0,3 ^c	2,3±0,5 ^c

Letras minúsculas diferentes en la misma columna indican, para cada parámetro, diferencias significativas ($p < 0,05$).

En la Figura 4.14 se muestran los valores de ΔE , los cuales representan la distancia entre dos colores, en este caso entre las películas con frutas y su respectivo control. Se observa que esta diferencia fue más notoria en el caso de las películas con mora y mamón, respecto a las de pomelo. Además, el valor de ΔE aumentó con el agregado de jugo y pulpa de mora y de pomelo, mientras que no mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) al incrementar el contenido de la pulpa de mamón en la formulación control.

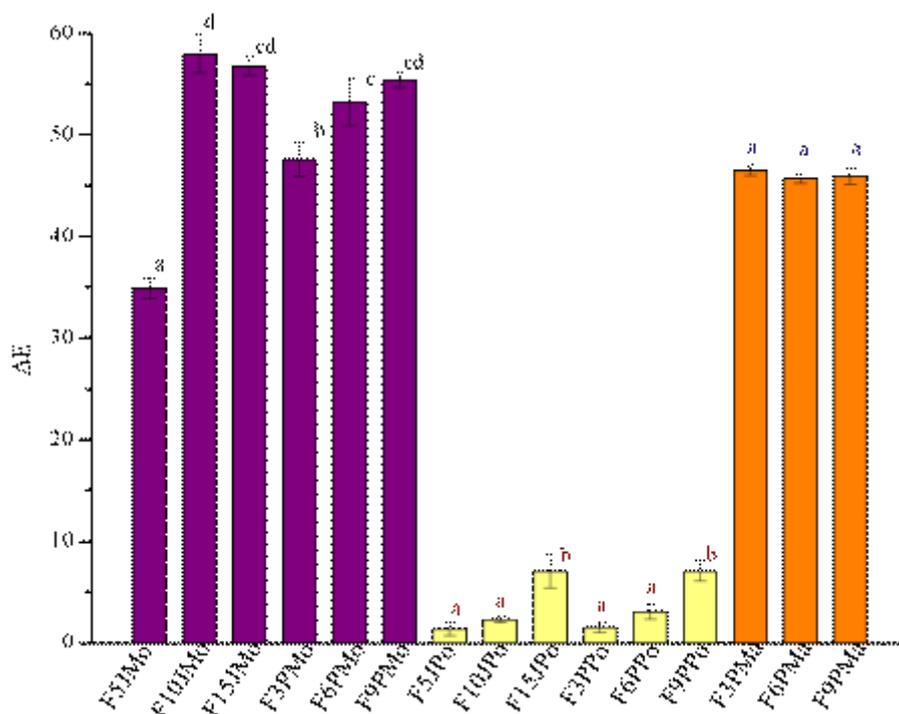


Figura 4.14. ΔE en películas con jugo y pulpa de frutas.

Letras minúsculas diferentes en las barras indican, diferencias significativas ($p < 0,05$). Para cada tipo de fruta y su control, las letras minúsculas tienen igual color.

4.3.1.2. Espesor

La Figura 4.15 muestra que el espesor de las películas base aumentó significativamente ($p < 0,05$) cuando se agregó la pulpa de mora y el jugo y la pulpa de pomelo. En cambio, este parámetro se mantuvo sin cambios significativos ($> 0,05$) para el jugo de mora y la pulpa de mamón, respecto a sus respectivos controles sin fruta (FC y F10JPo). En general, el espesor de todas las películas se incrementó al aumentar la concentración de jugo y pulpa de fruta, debido probablemente al contenido de fibras y de las semillas trituradas en el caso de la mora.

Un comportamiento similar fue encontrado por Nogueira y col. (2018), Luchese y col. (2017b) y Zhai y col. (2017) en películas de almidón con frutas. Es importante señalar que el espesor que presentan las películas estaría directamente influenciado por la cantidad de sólidos en la solución filmogénica depositada sobre las placas de soporte (Nogueira y col., 2018).

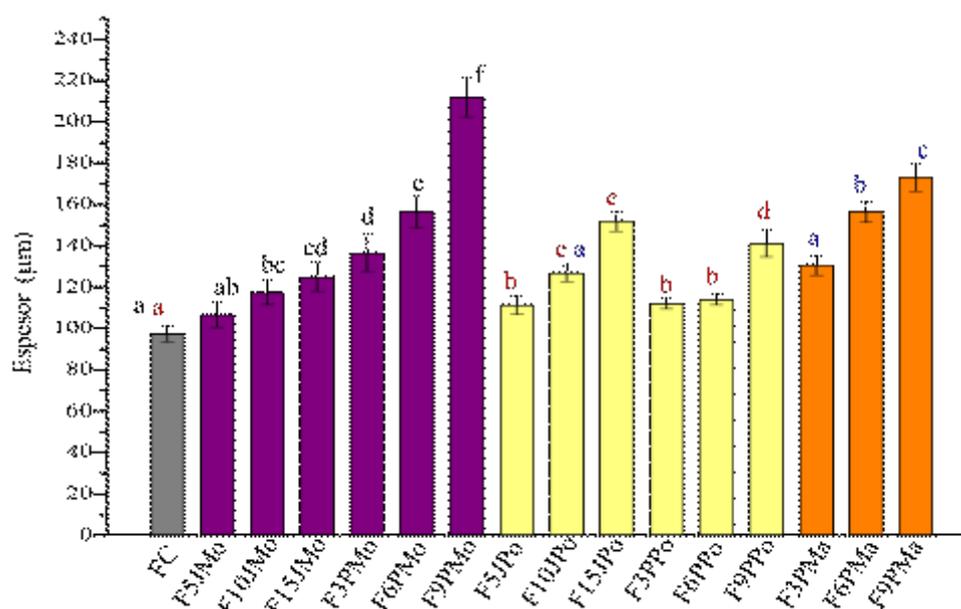


Figura 4.15. Espesores en películas con jugo y pulpa de frutas. Letras diferentes en las barras indican, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Letras minúsculas diferentes en las barras indican, diferencias significativas ($p < 0,05$).

Para cada tipo de fruta y su control, las letras minúsculas tienen igual color.

4.3.1.3. Humedad, hinchamiento y solubilidad

La adición del jugo o la pulpa de las frutas estudiadas no modificó significativamente ($p > 0,05$) la humedad de las películas base, excepto el jugo de mora que produjo un incremento en dicho parámetro (Tabla 4.10). Por otro lado, al aumentar la concentración de jugo o de pulpa se observaron valores mayores de humedad en las películas con mora y con jugo de pomelo, mientras que el resto se mantuvo sin variaciones significativas. La mayor retención de agua podría deberse a la presencia de fibra en las frutas (Gutiérrez y col., 2018).

La Tabla 4.10 muestra que los valores de hinchamiento de las películas con frutas se mantuvieron respecto a sus controles, excepto en las películas con pulpa de pomelo donde se incrementó significativamente ($p < 0,05$). En todos los casos el aumento de concentración de jugo o pulpa disminuyó significativamente ($p < 0,05$) el hinchamiento de las películas. Estudios realizados en films de almidón-alcohol polivinílico y glicerol como plastificante demostraron que este parámetro disminuyó con concentraciones crecientes de ácido cítrico debido a su efecto reticulante (Das y col., 2019). Cabe destacar

que este ácido está presente en el pomelo y en la mora, por lo que su presencia podría contribuir a la disminución del hinchamiento de las películas con dichas frutas.

Tabla 4.10. Parámetros fisicoquímicos de películas de almidón, glicerol y miel con jugo y pulpa de frutas.

Muestra	Humedad (%)	Hinchamiento (%)	Solubilidad (%)
FC	11,0±0,1 ^a	229,6±5,0 ^{bc}	25,0±2,1 ^a
F5JMo	12,3±0,0 ^b	199,1±11,9 ^{ab}	41,0±2,9 ^{bc}
F10JMo	14,8±0,2 ^{cd}	261,4±18,8 ^c	49,6±10,0 ^c
F15JMo	15,4±0,5 ^d	246,8±15,0 ^c	48,0±3,7 ^c
F3PMo	11,5±0,4 ^{ab}	240,2±9,5 ^c	23,6±0,7 ^a
F6PMo	14,1±0,2 ^c	177,8±18,2 ^a	29,5±1,4 ^{ab}
F9PMo	15,2±0,3 ^d	167,5±10,8 ^a	29,9±1,7 ^{ab}
F5JPo	12,4±0,6 ^a	185,8±11,6 ^b	29,5±1,1 ^b
F10JPo	14,7±0,5 ^b	123,9±7,8 ^a	38,8±0,1 ^d
F15JPo	15,2±0,6 ^b	109,2±6,9 ^a	42,3±0,8 ^d
F3PPo	11,5±0,4 ^a	594,3±21,5 ^f	28,6±1,8 ^{ab}
F6PPo	12,7±1,6 ^a	427,7±3,9 ^e	31,7±0,9 ^{bc}
F9PPo	12,3±0,2 ^a	299,2±14,0 ^d	34,4±1,0 ^c
FC-F10JPo	14,7±0,5 ^a	123,9±7,8 ^{bc}	38,8±0,1 ^a
F3PMa	12,7±1,3 ^a	240,2±11,2 ^c	39,3±4,5 ^b
F6PMa	13,0±0,8 ^a	213,2±10,0 ^b	40,1±2,0 ^b
F9PMa	13,3±0,5 ^a	158,6±9,2 ^a	41,3±3,3 ^b

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Por su parte, la solubilidad en agua de las películas base aumentó significativamente ($p < 0,05$) con la adición de jugos de mora y pomelo (Tabla 4.10). En cambio, este parámetro no se modificó al agregar las pulpas, excepto para las muestras con mamón. Por otro lado, se observó una tendencia de aumento de la solubilidad al incrementar la concentración de jugo o pulpa en todas las muestras. Sin embargo, las diferencias fueron significativas sólo para aquellas con jugo (hasta 10% p/v) y pulpa de pomelo. Los resultados sugieren que los componentes de las frutas disminuyen la integridad estructural

de la película, facilitando la penetración del agua en la estructura y su disgregación. Nogueira y col. (2018) informaron un aumento en la solubilidad en agua de las películas de almidón de arrurruz con pulpa de zarzamora, al igual que Das y col. (2019) en películas con agregado de ácido cítrico.

4.3.1.4. Permeabilidad al vapor de agua

En la Figura 4.16 se observa el comportamiento de permeabilidad de las películas con frutas. Los resultados muestran que el agregado de jugo y pulpa de mora y de pulpa de mamón aumentaron el valor de WVP de la película sin fruta. Nogueira y col. (2018) también encontraron un aumento en el valor de WVP al agregar pulpa de zarzamora a películas de almidón de arrurruz, postulando que las fibras de las frutas en las películas pueden desencadenar una discontinuidad del polímero, lo que favorecería la transferencia de agua a través de la estructura del almidón. En cambio, la incorporación de jugo y pulpa de pomelo disminuyó la permeabilidad de las películas respecto al control (Figura 4.16), si bien en el caso del jugo las diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$). El mismo comportamiento fue reportado por Ortega-Toro y col. (2015) en films de almidón de maíz con ácido cítrico.

Por otro lado, la Figura 4.16 revela una tendencia de aumento de WVP al incrementarse la concentración de jugo o pulpa agregados. Aún así, las películas con pomelo presentaron valores de WVP iguales o menores que el control, excepto la muestra con 15% p/v de jugo de pomelo. Como ya se mencionó, el agregado de ácido cítrico aumenta la reticulación del almidón incrementando así la resistencia al paso de agua por los poros. Sin embargo, este comportamiento se revirtió con la concentración mayor de jugo ensayada.

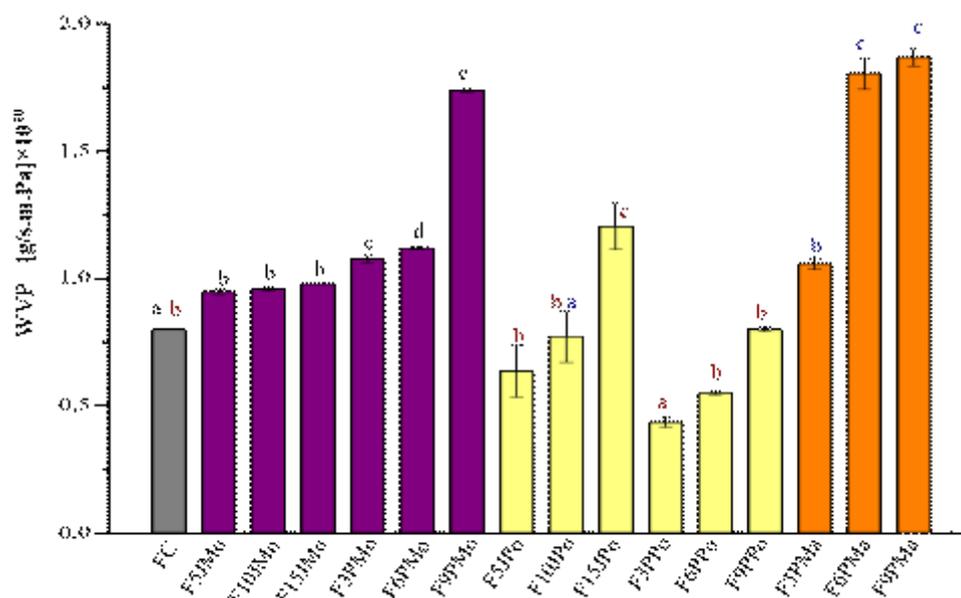


Figura 4.16. Permeabilidad al vapor de agua (WVP) de las películas en películas con jugo y pulpa de frutas.

Letras minúsculas diferentes en las barras indican, diferencias significativas ($p < 0,05$).

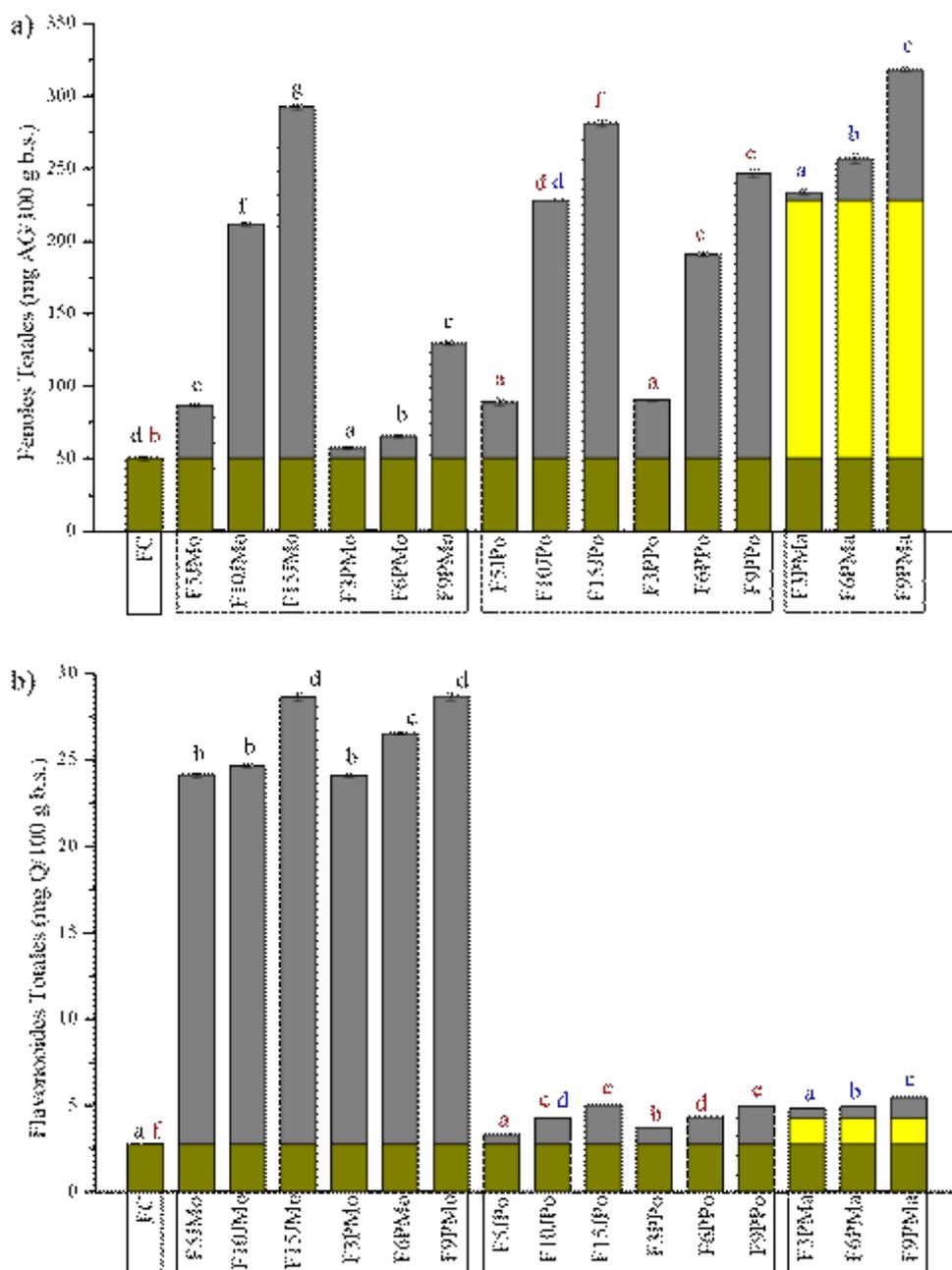
Para cada tipo de fruta y su control, las letras minúsculas tienen igual color.

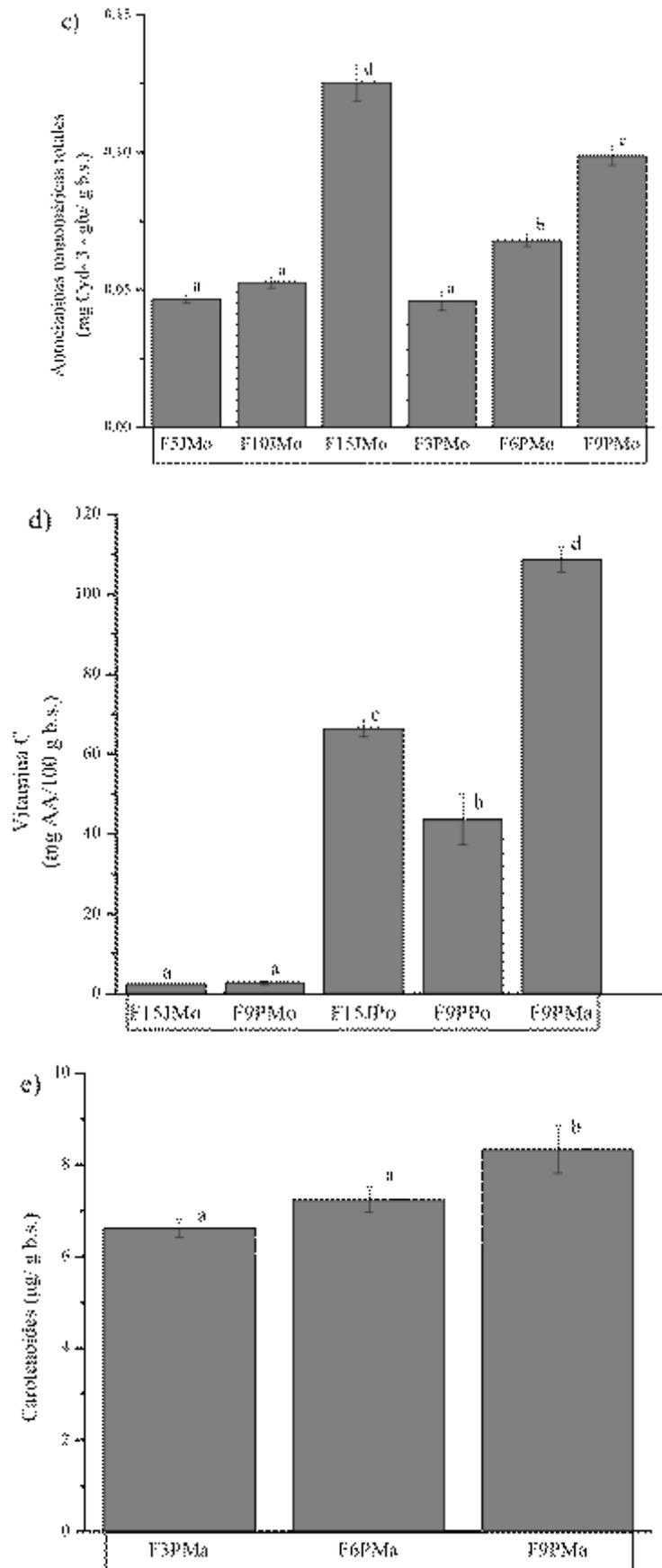
4.3.2. Contenido de compuestos bioactivos en las películas

La Figura 4.17a muestra que el agregado de los componentes de las frutas incrementó el contenido de polifenoles en todas las películas, respecto al control. Cabe destacar que la película base control contenía los polifenoles provenientes de la miel. Por otro lado, las películas con pulpa de mora y de pomelo presentaron valores más bajos de dichos compuestos respecto a aquellas con jugo. Esto podría deberse a que durante la separación del jugo de la pulpa los polifenoles permanecieron principalmente en el jugo. En el caso de las matrices con pulpa de mamón, el contenido de polifenoles fue aumentando significativamente con la concentración de pulpa agregada. En este caso, la matriz tiene altas concentraciones debido al jugo de pomelo, cuyos valores no están contemplados en el análisis estadístico. El contenido de flavonoides (Figura 4.17b) de las diferentes películas siguió un comportamiento similar al de los polifenoles, hallándose los valores más altos en las películas con mora.

La Figura 4.17c muestra que tanto el jugo como la pulpa de mora aumentaron el contenido de antocianinas de las películas. Esto confirma la creciente coloración violeta intensa observada en las películas a medida que aumenta la concentración de jugo y pulpa

(Figura 4.13). Por otro lado, la Figura 4.17d muestra el contenido de vitamina C de las películas con jugo y pulpa de las futas a la concentración máxima ensayada en cada caso (15% p/v jugo y 9% p/v pulpa). Los resultados indican que las películas con mamón presentaron el mayor contenido de esta vitamina, seguidas por las películas con pomelo y, en mucha menor concentración, aquellas que contenían mora. En cuanto al contenido de carotenoides en las películas con mamón, la Figura 4.17e muestra un leve incremento de estos compuestos con el aumento del contenido de pulpa.





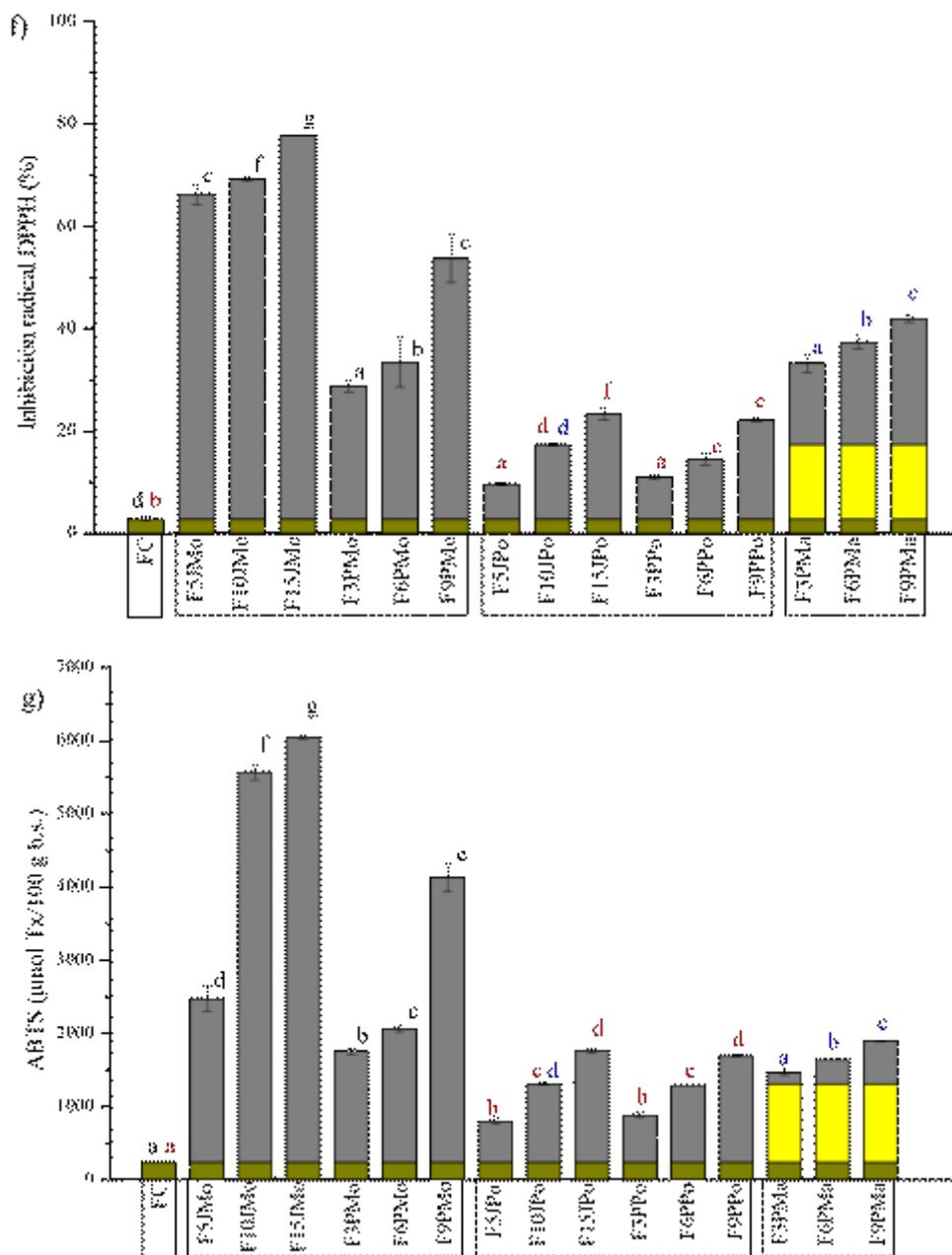


Figura 4.17. Compuestos bioactivos a) Fenoles totales (mg AG/100g bs), b) Flavonoides totales (mg Q/100g bs), c) Antocianinas (mg Cyd- 3- glu/ g bs), d) Carotenoides (µg /g bs), e) Vitamina C por HPLC (mg AA/ 100 g bs) y actividad antioxidante medida por f) inhibición al radical DPPH (%) y g) ABTS (µmol Tx/100g bs) en películas de almidón de mandioca con jugo y pulpa de frutas. (■) Aporte de la miel, (■) aporte del JPo, (■) aporte de la fruta.

Letras minúsculas diferentes en las barras indican, diferencias significativas (p < 0,05).

Para cada tipo de fruta y su control, las letras minúsculas tienen igual color.

Respecto a la capacidad antioxidante de las películas, las Figuras 4.17f (% de inhibición de DPPH*) y 4.17g (ABTS) muestran un aumento con el agregado de la fruta en ambos formatos, dejando en evidencia el aporte de compuestos antioxidantes de la fruta a las películas. Los valores mayores de capacidad antioxidante se obtuvieron en las películas con mora.

Otros autores hallaron resultados similares al evaluar los compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante de películas con frutas. Sganzerla y col. (2021) evaluaron tres concentraciones (10, 30 y 50%) de extractos de *Morus nigra* L. en películas bioactivas de carboximetilcelulosa y glicerol y observaron un aumento de compuestos fenólicos y antocianinas y de la actividad antioxidante al aumentar la concentración de fruta ensayada. Por otro lado, Yun y Liu (2022) estudiaron la incorporación de extractos y residuos del procesamiento de cítricos y la mejora de las propiedades bioactivas y antioxidantes en películas elaboradas a partir de diferentes hidrocoloides. Rodríguez y col. (2020) desarrollaron películas a base de puré de papaya, pectina y glicerol con extracto de moringa y ácido cítrico y evaluaron sus propiedades sobre muestras de peras, hallando aceptación sensorial y valor nutricional debido a los compuestos bioactivos. Por lo tanto, la incorporación de frutas a las películas mejora significativamente la actividad antioxidante de estos empaques biocomestibles. De esta forma, se lograría mejorar la vida útil de los alimentos aportando beneficios funcionales.

4.3.3. Propiedades mecánicas de las películas

En la Figura 4.18 se muestra el comportamiento mecánico de las películas con diferentes concentraciones de jugo y pulpa de las frutas ensayadas. Las Figuras 4.18a-d muestran que el agregado de los componentes de las frutas (mora y pomelo) disminuyó la rigidez de las películas comparada con el control. En el caso de las películas con pulpa de mamón (Figura 4.18e), los perfiles mecánicos muestran una rigidez comparable a su respectivo control (película con 10% de jugo de pomelo).

Por otro lado, se observa que el agregado de jugo o pulpa de mora condujo a películas con menor capacidad de elongación respecto del control, siendo este efecto más marcado en las películas con pulpa. En cambio, el agregado de jugo o pulpa de pomelo tuvo un efecto plastificante marcado sobre las características mecánicas de las películas haciéndolas mucho más extensibles (Figura 4.18c y 4.18d), respecto del control e incluso

de las películas con mora. Por otro lado, la pulpa de mamón generó películas con menor capacidad de elongación (Figura 4.18e) comparadas con su control.

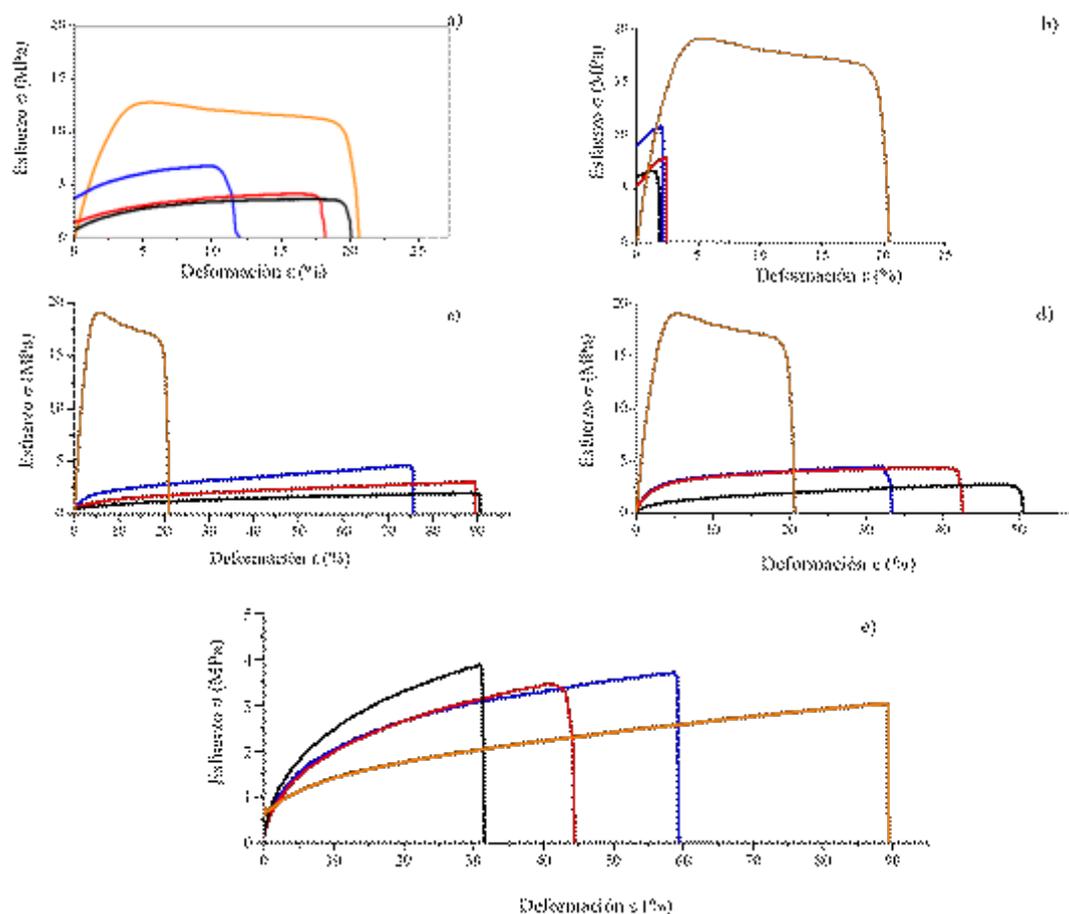


Figura 4.18. Comportamiento mecánico de películas con frutas. a) JMo, b) PMo, c) JPo, d) PPo, e) PMA. (■) Control. (■) 5 % y 3 %, (■) 10 % y 6 % y (■) 15 % y 9 % de jugo y pulpa de frutas, respectivamente.

En la Tabla 4.11 se muestran los valores de los parámetros mecánicos de las películas con y sin jugo o pulpa de frutas. La elongación a la ruptura mide cuánta deformación puede soportar un material sin romperse y el esfuerzo de tracción es la resistencia de un objeto a una fuerza que tiende a desgarrarlo. El agregado de jugo o pulpa de mora a la matriz control disminuyó significativamente ($p < 0,05$) ambos parámetros. Este resultado indica que el jugo y la pulpa debilitan la estructura de las películas haciéndolas menos resistentes. Nogueira y col. (2018) también observaron una disminución en la resistencia a la tracción, pero un aumento en la elongación a la ruptura en películas de almidón de arrurruz con pulpa de zarzamora. Zhai y col. (2017) hallaron un comportamiento similar

con el agregado de antocianinas de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) a películas de almidón. El módulo elástico indica la resistencia de un objeto a la deformación y es una medida de la rigidez del objeto. Los resultados de la Tabla 4.11 muestran que el agregado de jugo o pulpa de mora disminuyó el módulo elástico de las películas, respecto al control, haciéndolas menos rígidas. Además, a mayor contenido de jugo o pulpa, se obtuvieron menores valores del módulo elástico. Entre sus compuestos bioactivos, las moras contienen fibras (Machado y col., 2015) que podrían interrumpir y promover la discontinuidad de la matriz polimérica, haciéndolas menos resistentes mecánicamente.

Por otro lado, el agregado de jugo y pulpa de pomelo a las películas, si bien disminuyó el esfuerzo de tracción y el módulo elástico respecto del control, aumentó significativamente ($p < 0,05$) la elongación a la ruptura (Tabla 4.11). Este comportamiento se observó a todas las concentraciones ensayadas, mejorando las características plásticas de las películas. Un comportamiento mecánico similar hallaron Das y col. (2018) en películas de almidón, alcohol polivinílico y glicerol con diferentes concentraciones de ácido cítrico a fin de aplicarlas como apósitos en heridas.

En el caso de la pulpa de mamón, su incorporación generó películas con un comportamiento mecánico diferente a los anteriores, ya que el esfuerzo de tracción y el módulo elástico aumentaron a la máxima concentración ensayada. Por otro lado, la elongación a la ruptura disminuyó con la concentración, a diferencia de las películas con pomelo. Sin embargo, los valores de porcentaje de elongación de las muestras con mamón fueron comparables a los de las películas con pulpa de pomelo y aún mayores que los de las películas con moras.

Tabla 4.11. Parámetros mecánicos correspondientes a las formulaciones de películas de almidón de mandioca con glicerol y miel como plastificantes y diferentes concentraciones de jugo o pulpa de frutas.

Formulación	Esfuerzo (MPa)	Elongación (%)	Módulo elástico (MPa)
FC	20,35±1,40 ^c	23,25±2,65 ^c	6,87±0,06 ^c
F5JMo	8,69±0,61 ^{cd}	13,13±1,50 ^b	1,37±0,17 ^b
F10JMo	5,28±0,16 ^{ab}	18,24±0,92 ^{bc}	0,45±0,09 ^a
F15JMo	4,28±0,42 ^a	20,40±0,32 ^c	0,50±0,10 ^a
F3PMo	10,44±0,50 ^d	2,38±0,38 ^a	1,27±0,04 ^b
F6PMo	7,85±0,19 ^c	1,55±0,01 ^a	1,16±0,40 ^b
F9PMo	6,71±4,33 ^{bc}	1,12±0,14 ^a	0,52±0,15 ^a
F5JPo	4,32±0,19 ^{bc}	74,37±5,66 ^d	0,13±0,02 ^a
F10JPo	3,25±0,17 ^{abc}	89,35±6,99 ^e	0,10±0,01 ^a
F15JPo	2,07±0,24 ^a	90,42±7,22 ^e	0,04±0,01 ^a
F3PPo	4,84±0,22 ^c	34,14±0,02 ^{ab}	1,58±0,37 ^b
F6PPo	3,72±0,52 ^{abc}	42,91±2,15 ^{bc}	1,16±0,22 ^b
F9PPo	2,89±0,16 ^{ab}	50,83±2,30 ^c	0,45±0,07 ^a
FC-F10JPo	3,25±0,17 ^a	89,35±6,99 ^c	0,10±0,01 ^a
F3PMa	3,20±0,34 ^a	59,79±8,29 ^b	0,35±0,05 ^b
F6PMa	3,34±0,16 ^a	45,31±8,22 ^b	0,38±0,02 ^b
F9PMa	4,94±1,13 ^b	31,51±4,92 ^a	0,64±0,18 ^c

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

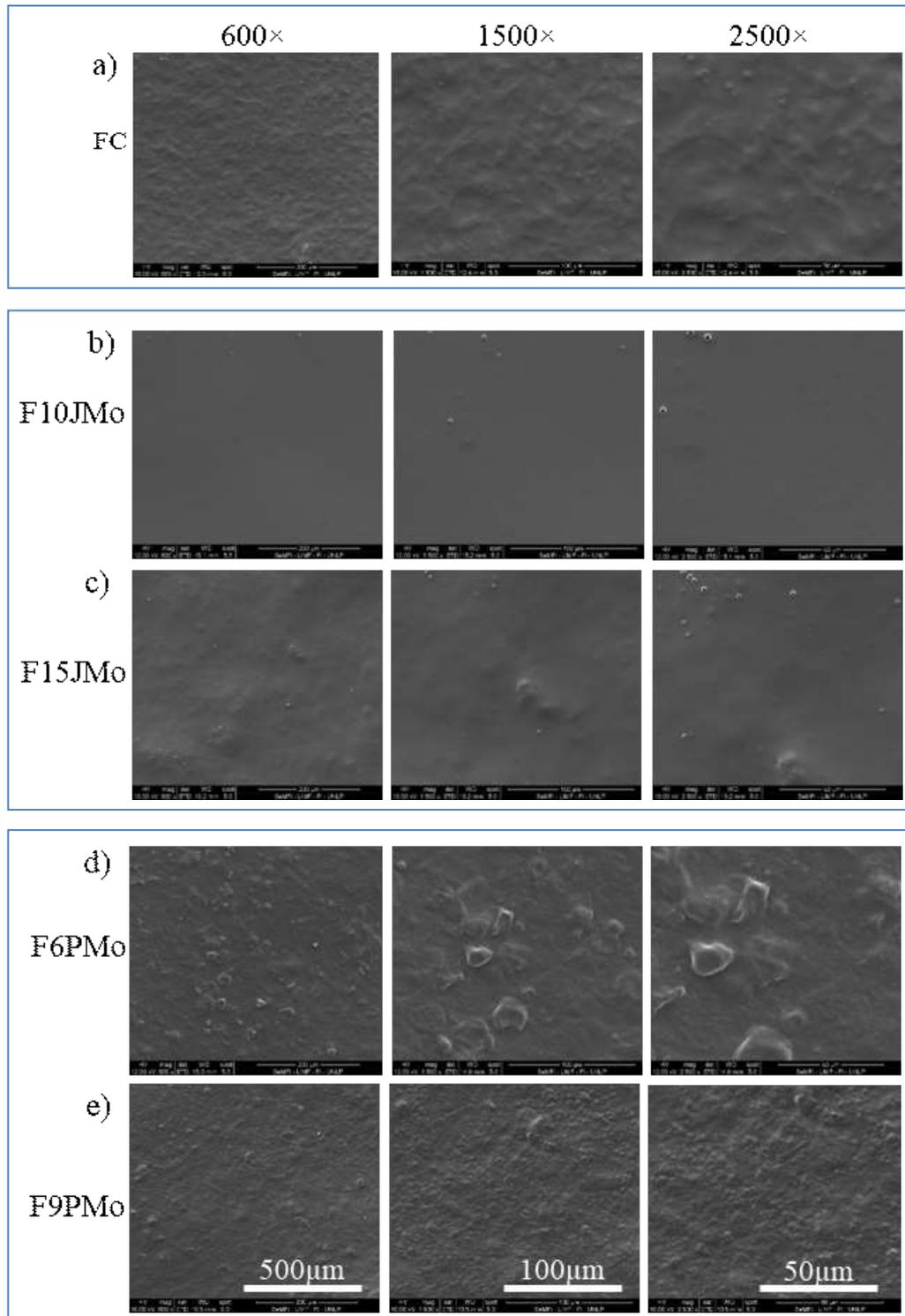
4.3.4. Microscopía electrónica de barrido de películas de almidón con jugo y pulpa de frutas

La Figura 4.19 muestra la microestructura de las películas con agregado de frutas. Las superficies de las muestras con jugo de mora (Figura 4.19b y 4.19c) fueron más uniformes y continuas comparadas con las de la película control (Figura 4.19a), probablemente debido al efecto de dilución causado por el jugo que disolvió los cristales de azúcar de la miel. Por otro lado, al aumentar la concentración de jugo (Figura 4.19c) las películas se tornaron menos uniformes, aunque no en la medida de la muestra control, probablemente debido a la presencia de sólidos suspendidos en el jugo. El agregado de pulpa de mora

(Figuras 4.19d y 4.19e) aumentó la rugosidad y la heterogeneidad de la microestructura de las películas base. Este hecho podría explicarse por la presencia de los elementos sólidos de la pulpa y las estructuras formadas durante el secado de la película. Nogueira y col. (2018) hallaron resultados similares en películas de almidón con 40 % de pulpa de mora. Cabe mencionar que las películas con el mayor contenido de pulpa (9% p/v, Figura 4.19e) presentaron una microestructura más uniforme y más compacta que aquellas con 6% p/v de pulpa (Figura 4.19d).

Por otro lado, el agregado de jugo de pomelo contribuyó a una mayor homogeneidad en la estructura de las películas (Figuras 4.19f y 4.19g) y este efecto fue más notable a concentraciones más altas de jugo (15% p/v) (Figura 4.19g). Sin embargo, a 2500x se observa una película menos homogénea, al igual que en las muestras de jugo de mora, que puede deberse a la presencia de sólidos suspendidos en el jugo.

El agregado de pulpa de mamón tornó menos uniforme la estructura de las películas (Figura 4.19h) respecto de su control (película con 10% p/v de jugo de pomelo), excepto a 1500× donde la microestructura fue similar al control.



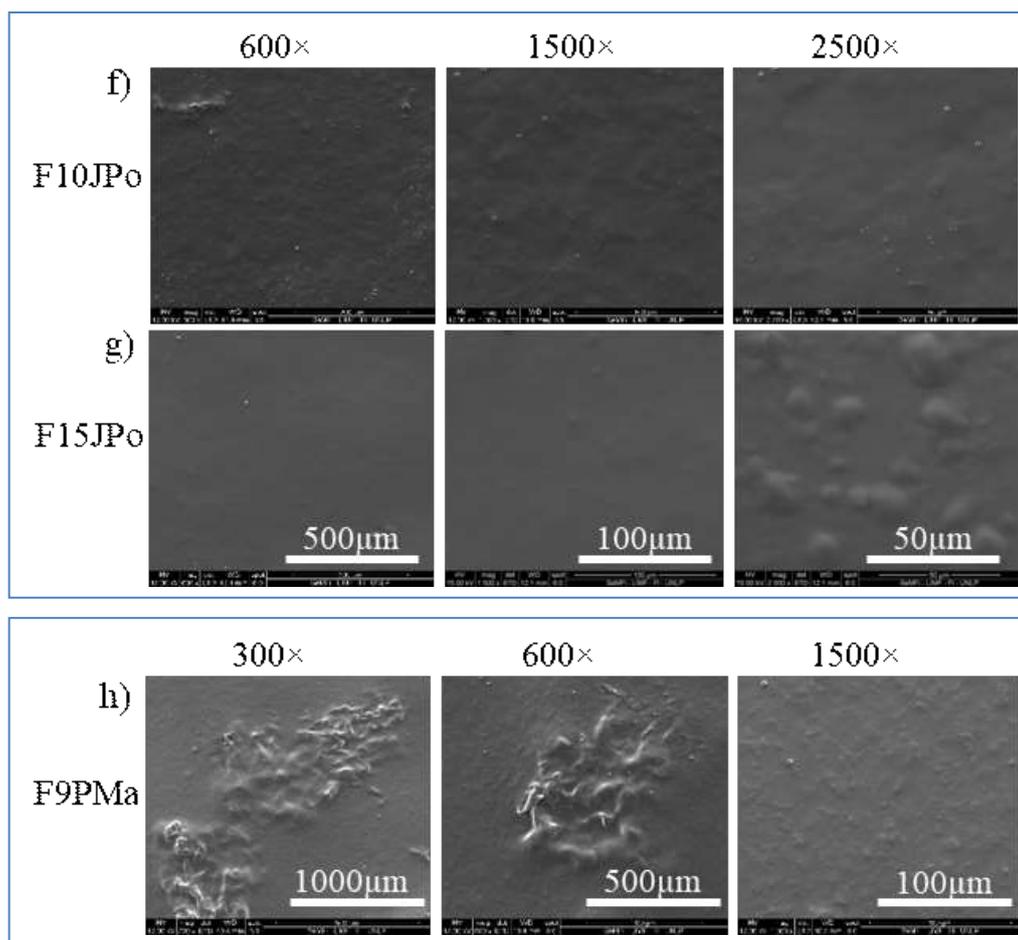


Figura 4.19. Micrografías SEM de películas sin y con frutas. FC (a), F10JMo (b), F15JMo (c), F6PMo (d), F9PMo (e), F10JPo (f), F15JPo (g), F9PMa (h).

Por otra parte, se obtuvieron micrografías de cortes transversales de las películas, observándose que los espesores de las muestras con jugo de mora fueron menores ($30,9 \pm 1,8 \mu\text{m}$) (Figura 4.20a) a los determinados con el calibre ($124,2 \pm 25,3 \mu\text{m}$, Figura 4.15). En cambio, los resultados obtenidos en películas con 6% p/v de pulpa fueron similares con ambas metodologías, $129,6 \pm 1,0 \mu\text{m}$ (SEM, Figura 4.20b) y $143,8 \pm 28,9$ (calibre, Figura 4.15). Resultados similares se obtuvieron en las películas con 15 % p/v de jugo de pomelo ($138,1 \pm 0,6 \mu\text{m}$) (Figura 4.20d y Figura 4.15).

Por el contrario, las películas con 9% p/v de pulpa de mora presentaron valores de espesores muy bajos ($63,8 \pm 3,9 \mu\text{m}$, Figura 4.20c) comparados con los resultados mostrados en la Figura 4.15 (mayor a $210 \mu\text{m}$). Esto puede deberse a que las películas de pulpa de mora tienen, además, partículas de semillas trituradas y fibras, lo que produce regiones de altos y bajos espesores.

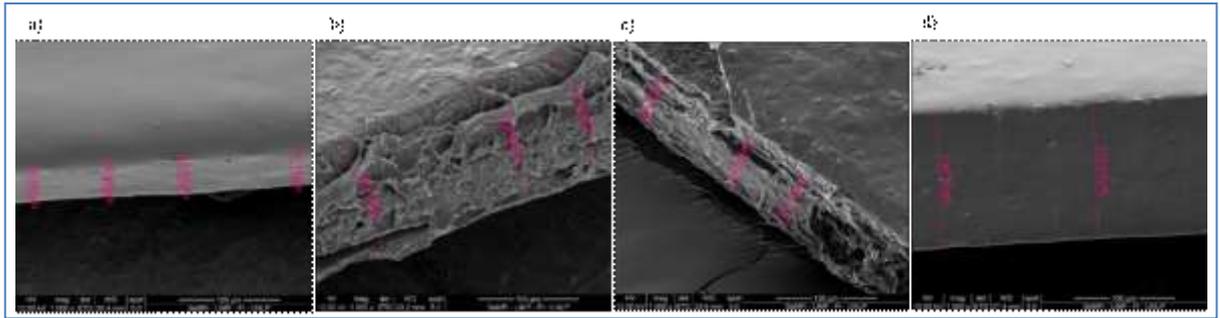


Figura 4.20. Micrografías SEM de cortes transversales de películas con frutas.

Aumento 1000x. F10JMo (a), F6PMo (b), F9PMo (c) y F15JPo (d).

4.3.5. Análisis de textura por imágenes

Al examinar la textura de alimentos mediante técnicas de procesamiento de imágenes, los fabricantes pueden evaluar con una buena precisión la firmeza, la suavidad, la homogeneidad y otros atributos. Esta información es importante para ajustar los procesos de producción, optimizar las formulaciones de productos y cumplir con los estándares de calidad exigidos por los consumidores y las regulaciones gubernamentales. Además, el análisis de textura de imágenes permite detectar irregularidades y defectos en los productos, lo que facilita la identificación temprana de problemas de fabricación y la implementación de medidas correctivas.

El agregado de frutas a los films no produjo cambios relevantes en la dimensión fractal de las imágenes respecto del FC. Solo para el caso de la mora, el agregado de 10 % de jugo y 9 % de pulpa condujo a diferencias significativas ($p < 0,05$) de este parámetro respecto del control.

La lacunaridad proporciona información sobre la disposición y la distribución de los huecos o vacíos en una imagen, lo que puede ser útil para comprender la estructura y las propiedades de los objetos representados en ella. Los resultados de la Tabla 4.12 muestran valores bajos de lacunaridad indicando en líneas generales una ausencia de espacios vacíos en las imágenes, tal como se observa en las imágenes de SEM (Figura 4.19). El agregado de frutas no modificó significativamente ($p > 0,05$) la lacunaridad de las imágenes.

Tabla 4.12. Dimensión fractal y lacunaridad de micrografías (1500×) de films con diferentes frutas.

Formulación	Dimensión fractal	Lacunaridad
FC	1,834±0,003 ^a	0,431±0,027 ^{ab}
F10JMo	1,868±0,002 ^c	0,491±0,127 ^{ab}
F15JMo	1,844±0,001 ^{ab}	0,573±0,087 ^b
F6PMo	1,839±0,010 ^{ab}	0,374±0,051 ^{ab}
F9PMo	1,854±0,001 ^{bc}	0,229±0,010 ^a
FC	1,834±0,003 ^a	0,431±0,027 ^a
F10JPo	1,826±0,017 ^a	0,430±0,069 ^a
F15JPo	1,842±0,005 ^a	0,639±0,062 ^a
FC-F10JPo	1,826±0,017 ^a	0,430±0,069 ^a
F9PMa	1,857±0,000 ^a	0,328±0,009 ^a

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

La Tabla 4.13 muestra valores de contraste bajos para todas las imágenes de películas analizadas, lo que sugiere que los niveles de grises de los píxeles son parecidos y, por lo tanto, las imágenes son uniformes tal como se confirma con la Figura 4.19 de SEM. El agregado de frutas no modificó significativamente ($p > 0,05$) los valores del contraste, excepto para F15JPo donde disminuyó significativamente ($p < 0,05$) respecto al control. Por otro lado, la linealidad en el nivel de grises, que está representada por la correlación, disminuyó con el agregado de JMo, 10JPo y PMa.

Los valores de energía de las películas fueron altos ($> 0,72$) para todas las imágenes, en contraposición con los obtenidos por Varela y col. (2023) en geles con miel, lo que indica una alta uniformidad de éstas. El agregado JPo aumentó los valores de energía de la imagen, en cambio la PMa disminuyó significativamente ($p < 0,05$) dichos valores respecto a su control. Los valores de homogeneidad obtenidos fueron altos debido a esta característica en las imágenes utilizadas (Figura 4.19), además, en el caso de la PMa el valor fue significativamente menor que su control. La entropía cuantifica el desorden espacial o grado de aleatoriedad de una imagen. Los resultados de la Tabla 4.13 indican que el agregado de frutas disminuyó la entropía de las imágenes, excepto en las películas con PMo donde no hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) con su control y en la

muestra con 9% p/v de pulpa de mamón donde se incrementó significativamente ($p < 0,05$) respecto de su control. Esta disminución indica un efecto homogeneizante de las frutas sobre la textura de imágenes de los films.

Tabla 4.13. Parámetros de la matriz GLCM de micrografías (1500×) de films con diferentes frutas.

Formulación	Contraste×10⁻³	Correlación	Energía	Homogeneidad	Entropía
FC	25,5±2,0 ^a	0,75±0,05 ^{bc}	0,85±0,02 ^{ab}	0,99±0,02 ^a	4,74±0,01 ^c
F10JMo	71,45±9,7 ^a	0,12±0,02 ^a	0,96±0,04 ^b	0,99±0,01 ^a	2,83±0,17 ^a
F15JMo	38,0±23,6 ^a	0,58±0,10 ^b	0,88±0,05 ^{ab}	0,98±0,01 ^a	4,02±0,07 ^b
F6PMo	34,7±12,6 ^a	0,82±0,03 ^c	0,80±0,08 ^{ab}	0,98±0,01 ^a	4,60±0,27 ^{bc}
F9PMo	63,0±4,2 ^a	0,75±0,02 ^{bc}	0,72±0,03 ^a	0,97±0,01 ^a	5,20±0,08 ^c
FC	25,5±2,0 ^b	0,75±0,05 ^{ab}	0,85±0,02 ^a	0,99±0,02 ^a	4,74±0,01 ^c
F10JPo	18,3±6,3 ^{ab}	0,55±0,06 ^a	0,94±0,02 ^b	0,99±0,01 ^a	3,46±0,13 ^b
F15JPo	2,8±1,7 ^a	0,89±0,02 ^b	0,99±0,01 ^b	0,99±0,01 ^a	2,87±0,03 ^a
FC-F10JPo	18,3±6,3 ^a	0,55±0,06 ^a	0,94±0,02 ^b	0,99±0,01 ^b	3,46±0,13 ^a
F9PMa	66,5±19,5 ^a	0,45±0,11 ^a	0,86±0,01 ^a	0,97±0,00 ^a	4,31±0,03 ^b

Valores con letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

4.3.6. Estabilidad de las películas: Inmersión en soluciones ácidas y alcalinas

La estabilidad de las películas sometidas a diferentes condiciones de pH es una propiedad de referencia considerando el uso potencial de estos nuevos materiales para reemplazar los envases sintéticos en la industria alimentaria y para recubrir productos con una amplia gama de pH. La Figura 4.21a muestra imágenes de las diferentes películas con mora después de la inmersión en medios ácido, neutro o alcalino durante 14 días. En soluciones ácidas, el diámetro de las películas con jugo y pulpa permaneció constante a lo largo del tiempo. Medina Jaramillo y col. (2016) reportaron resultados similares en películas de almidón con extractos antioxidantes de yerba mate. Además, no se registró crecimiento moho en las películas en los últimos días, mostrando así una alta estabilidad en medio ácido hasta el final de las mediciones. A pH neutro, las muestras de películas con jugo y pulpa de mora, mostraron un aumento en el diámetro (~ 4 a 5 mm). Por otro lado, todas las formulaciones con jugo o pulpa se volvieron azules inmediatamente después del contacto con la solución alcalina y la decoloración se estabilizó después de

24 h (resultados no mostrados), probablemente debido a que los pigmentos de antocianinas se solubilizan en el medio (Nogueira y col., 2018). Al día 14, las películas con 3% y 6% p/v de mora exhibieron crecimiento de moho en el medio alcalino. Además, en el día 7 se observó desintegración en las muestras con 15% p/v de dicha fruta. Al final se midió el pH de cada solución y se determinó que en los sistemas ácidos no hubo cambios de pH, en los sistemas neutros el pH disminuyó a 5 y en los sistemas básicos el pH disminuyó a 9. Esto podría ser debido a la acidificación del medio por el desarrollo de microorganismos y su metabolismo.

En la Figura 4.21b. se observa que las películas con jugo de pomelo presentaron estabilidad hasta el día 7 en los tres medios, a excepción de la película con 10% p/v de jugo que presentó formación de mohos amarillentos desde el día 7 y con mayor intensidad el día 14. En solución ácida, los diámetros de las películas con pulpa permanecieron constantes a lo largo del tiempo. En la muestra con 6% p/v de pulpa se formaron mohos en el día 14, de coloración rojiza y gris, mostrando inestabilidad en medio ácido. En solución neutra, todas las formulaciones con pulpa presentaron moho gris verdoso al día 7 y desintegración para F9PPo en el día 14. Al día 14, los valores de pH de las soluciones donde se sumergieron las películas de pulpa de pomelo disminuyeron en gran medida de 7,00 a $2,65 \pm 0,22$ y $2,35 \pm 0,01$, respectivamente. En cambio, las formulaciones con pulpa se tornaron amarillentas inmediatamente después del contacto con la solución alcalina y aumentaron su diámetro ~ 3 mm. No se observó formación de mohos durante todo el ensayo.

Por otro lado, las películas con pulpa de mamón (Figura 4.21c) en medios ácido y neutro mostraron en el día 7, formación de moho de color negro en las muestras y en el medio, esto puede deberse al elevado pH de la fruta de mamón ($5,42 \pm 0,04$), muy propensa a ser atacada por los microorganismos. En cambio, en soluciones alcalinas, la inestabilidad en este medio se observó en el día 14. Todas las formulaciones con mamón aumentaron ~ 4 mm al estar en contacto con los diferentes medios. Al final del ensayo, los valores de pH de las soluciones donde se sumergieron las películas de mamón fueron $2,3 \pm 0,0$ en medio ácido y $8,6 \pm 0,0$ en medio básico, respectivamente, para las dos formulaciones. Por el contrario, la solución de medio neutro donde se sumergió la muestra con 6% p/v de pulpa de mamón dio un valor de pH de $7,2 \pm 0,2$ al final del ensayo, manteniendo la neutralidad del medio. En cambio, la solución donde se sumergió la

película con 9% p/v de pulpa dio un valor de pH de $2,6 \pm 0,1$ demostrando que en esta formulación el crecimiento microbiano produjo alta acidificación del medio.

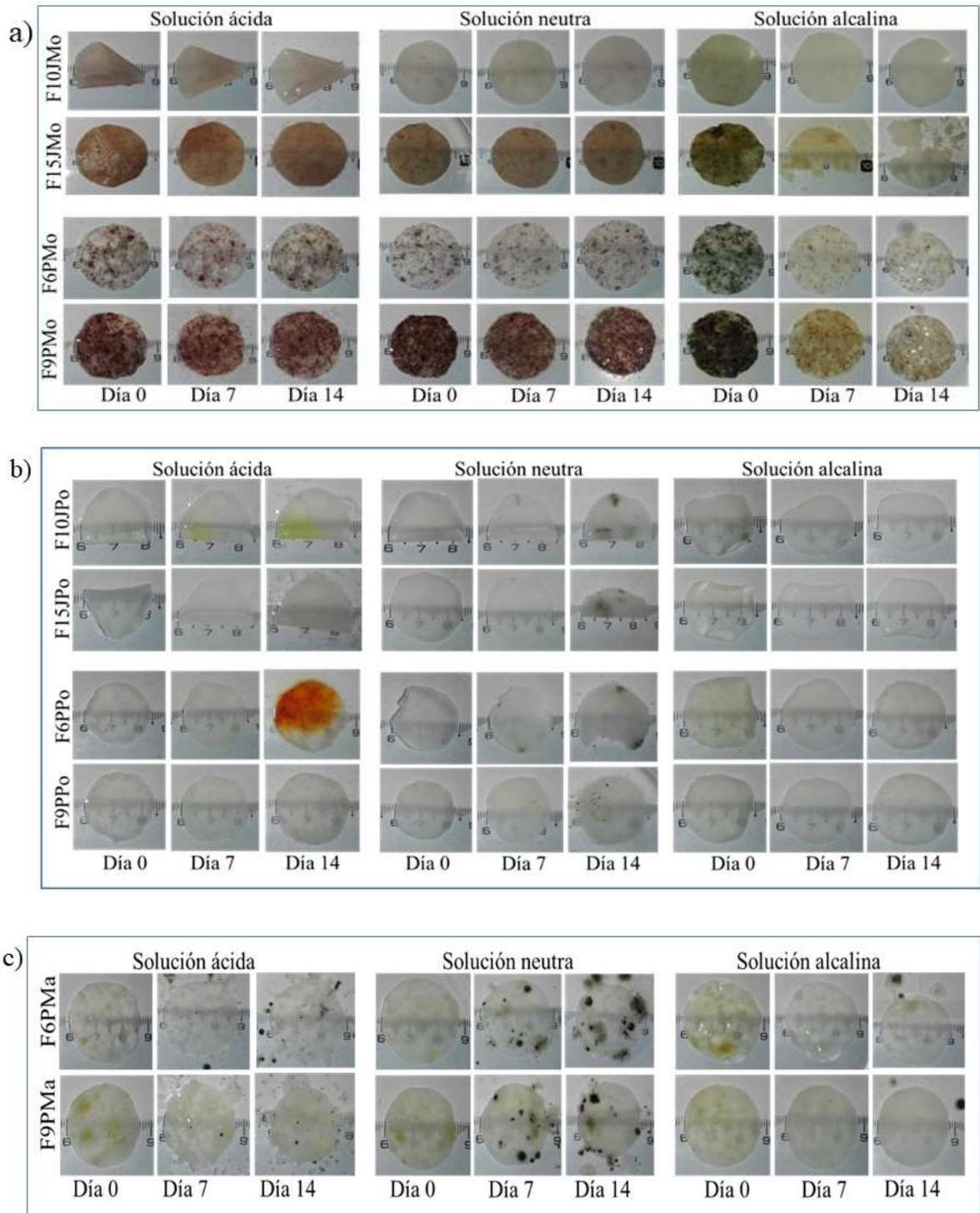


Figura 4.21. Estabilidad en soluciones ácida, neutra y alcalina de películas con frutas.

JMo y PMo (a), JPo y PPo (b), PMa (c).

4.3.7. Biodegradabilidad

En la Figura 4.22 se muestra la apariencia de las películas sin y con frutas durante la biodegradación en compost orgánico. Al día 7, las muestras con moras comenzaron a degradarse y mostraron pérdida de su color característico. Después de 40 días, la muestra con 10% p/v de jugo de mora se degradó por completo, observándose una degradación avanzada en las demás películas. Medina Jaramillo y col. (2016) reportaron casos de biodegradación casi completa después de 12 días en películas de almidón de mandioca con extracto de yerba mate, mientras que Torres y col. (2011) observaron altas velocidades de biodegradación en películas de almidón de diferentes orígenes después de 30 días.

Entre los días 7 a 55, las películas con jugo de pomelo presentaron una degradación más rápida que aquellas con pulpa (Figura 4.22). En estas últimas películas se observaron cambios sustanciales en el día 7 con pérdida de color y desarrollo de hongos en la muestra con 6% p/v de pulpa de pomelo. A los 40 días, esta película mostró rotura de los bordes, mientras que el resto con jugo y pulpa presentaron quiebres y pérdida de partes.

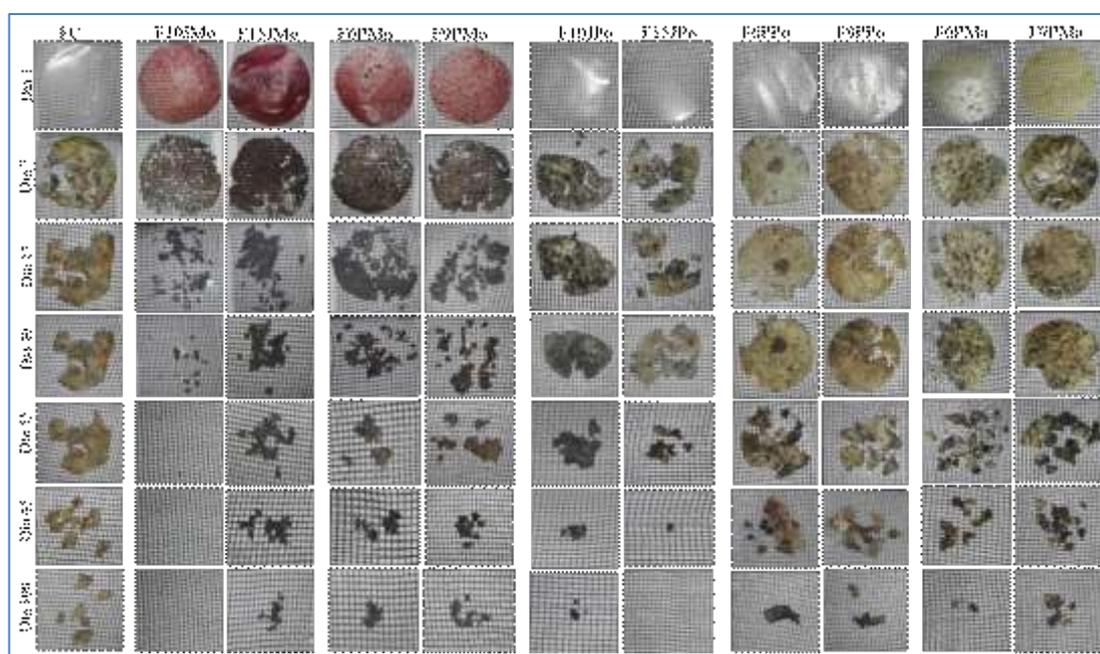


Figura 4.22. Imágenes de las películas sin (FC) y con frutas durante su biodegradación en compost orgánico.

Por su parte, las películas con mamón presentaron formación de manchas negras al día 7, mostrando evidencia del ataque microbiano proveniente del compost orgánico (Figura 4.22). Por otro lado, presentaron una alta estabilidad hasta el día 40, con un comportamiento similar al de las películas con pulpa de pomelo. Después de 55 días en el compost, las películas con mamón se mostraron más oscuras que el control.

Al día 100 todas las muestras presentaron un grado de degradación similar, lo que indica que, a pesar de la diferente velocidad de degradación, el estado final es semejante para todas ellas. Cabe destacar que se observó una degradación microbiológica más rápida en las formulaciones con jugo y pulpa de mora en comparación con el control (FC). Este resultado indica que la incorporación de frutas mejoraría la biodegradabilidad de las películas de almidón-glicerol-miel, lo que conduce a nuevos materiales poliméricos que se degradan rápidamente.

4.4. Conclusiones

Las películas desarrolladas con jugo y pulpa de frutas presentaron diversas propiedades en función del tipo y la concentración de los ingredientes utilizados. Las películas con jugo de mora y pulpa de mora mostraron una coloración intensa y atractiva, aunque con menor uniformidad en espesor y color. Las películas con jugo de pomelo destacaron por su transparencia y fácil manejo, mientras que las variantes con pulpa presentaron una textura más rugosa. Las películas con mamón mostraron buena integridad estructural, pero la adición de pulpa resultó en una distribución desigual de espesor y color.

El análisis de color reveló que las películas con mora variaron del violeta al magenta, mientras que las con pomelo incrementaron los tonos amarillos y verdes, y aquellas con mamón mostraron tonos amarillos y rojizos. El espesor de las películas aumentó con el agregado de la pulpa de frutas debido a las fibras que contiene. El contenido de humedad de las películas aumentó con altas concentraciones de jugo o pulpa en algunas formulaciones, mientras que las pulpas de pomelo y mamón no mostraron cambios significativos respecto a los controles. El hinchamiento de las películas no cambió significativamente con el agregado de jugo o pulpa, sin embargo, la pulpa de pomelo lo incrementó, si bien disminuyó al aumentar la concentración de pulpa. La solubilidad aumentó con el agregado de jugo de mora y pomelo, sugiriendo una menor integridad estructural de las películas.

Respecto a sus propiedades mecánicas, las películas con jugo y pulpa de mora y pomelo resultaron menos rígidas que las películas control. El jugo y la pulpa de mora disminuyeron la elongación a la ruptura y el esfuerzo de tracción, mientras que el jugo y la pulpa de pomelo mejoraron la elongación a la ruptura. La pulpa de mamón incrementó el esfuerzo de tracción y el módulo elástico y disminuyó la elongación a la ruptura.

El análisis de la microestructura mostró que las películas con jugo de mora eran más uniformes y continuas en comparación con las películas control. El agregado de pulpa de frutas aumentó la rugosidad y la falta de uniformidad, pero también mejoró la homogeneidad en algunas concentraciones. Las películas con frutas no alteraron significativamente la lacunaridad y mostraron bajos valores de contraste, alta uniformidad y homogeneidad en las imágenes.

La incorporación de jugo y pulpa de frutas incrementó el contenido de polifenoles y flavonoides, mejorando la capacidad antioxidante de las películas. Las películas con jugo de mora mostraron los valores más altos de capacidad antioxidante, destacando el aporte de compuestos bioactivos de esta fruta.

En términos de estabilidad, las películas con jugo y pulpa de mora y con pulpa de pomelo fueron más estables en soluciones ácidas, mientras que las formulaciones con pulpa de mamón fueron más susceptibles al crecimiento microbiano en medios neutros y ácidos. La solución alcalina provocó un aumento en el diámetro y cambios de color en las películas con moras, debido a la propiedad de las antocianinas de modificar su color de acuerdo a la acidez del medio. Esta característica es relevante para utilizar estas películas como indicador en el deterioro de alimentos.

Finalmente, las películas con jugo y pulpa de frutas mostraron mayor biodegradabilidad en compost vegetal en comparación con el control, lo que sugiere su potencial para aplicaciones ambientalmente amigables en la industria del envase y recubrimientos.

4. C. APLICACIÓN DE PELÍCULAS COMO ENVASES PARA PRODUCTO CÁRNICO

4. C. APLICACIÓN DE LAS PELÍCULAS COMO ENVASES PARA PRODUCTO CÁRNICO

4.5. Aplicación de las películas activas con pulpa de pomelo en la preservación de un producto cárnico

A fin de determinar la aptitud de las películas desarrolladas para actuar como envases activos se ensayaron las formulaciones a base de almidón de mandioca, glicerol y miel, sin y con pulpa de pomelo, sobre un alimento cárnico tipo hamburguesa. Se analizó el efecto de los compuestos activos de las matrices sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas y la estabilidad del producto envasado durante el almacenamiento refrigerado. Asimismo, se evaluó el comportamiento del producto cárnico envasado ante la cocción y se relevaron las características sensoriales de la carne cocida con película.

4.6. Materiales y métodos

4.6.1. Elaboración de las películas

Para aplicar las películas como envases para carne picada en formato hamburguesa, se utilizaron dos formulaciones desarrolladas en la tesis, sin y con incorporación de fruta. Por un lado, la formulación control (FC): 4 % p/v almidón de mandioca, 1,5 % p/v de glicerol-miel (25 - 75) como plastificante y agua destilada, y por otro lado, la formulación con pulpa de pomelo (F6PPo): 4 % p/v almidón de mandioca, 1,5 % p/v de glicerol-miel (25 - 75) como plastificante, 6 % p/v de pulpa de pomelo y agua destilada. Se seleccionó dicha concentración intermedia de pulpa de pomelo ya que presentó menor diferencia de color que la de 9 % p/v y mayor concentración de compuestos antioxidantes que la de 3 % p/v (Figuras 4.14 y 4.17, Capítulo 4B).

Una vez obtenidas las suspensiones filmogénicas (Capítulo 2, Materiales y Métodos), se vertieron 60 g de las mismas en placas rectangulares de 17,6 × 22,6 cm. Luego se procedió al secado a 37 °C en estufa con convección forzada (Thermo Scientific, EE.UU.), durante 24 h (Figura 4.23). Las películas, control y con pulpa de pomelo, fueron extraídas cuidadosamente de sus moldes con la ayuda de una espátula plana y se conservaron en ambiente de humedad relativa controlada (solución saturada de nitrato de magnesio, Anedra, Argentina, a_w 52,9 a 20 °C).



Figura 4.23. Proceso de elaboración de las películas con pulpa de pomelo en placas rectangulares para su aplicación como envases.

4.6.2. Proceso de elaboración de las hamburguesas y envasado en las películas desarrolladas

Para la preparación de las hamburguesas se cortó la carne (corte pulpa cuadrada, Industrias Frigoríficas FRIAR, Argentina) en trozos pequeños y se picó en una picadora manual. Luego, la carne picada, sin aditivos, se amasó con las manos, se pesó aproximadamente 30 ± 2 g y se le dio forma de hamburguesa (55 mm de diámetro y 10 mm de espesor) con una placa de Petri. Se formaron bolsas con las películas rectangulares obtenidas y se colocó una hamburguesa dentro de cada bolsa. Luego, se retiró el aire y se selló la bolsa con una selladora manual. En la Figura 4.24 se muestra el diagrama de los pasos descriptos anteriormente.

Las muestras de hamburguesas crudas (C) y envasadas con ambos tipos de películas (FC y F6PPo) fueron almacenadas en condiciones de refrigeración a 4 °C a fin de simular las condiciones de expendio. Para los ensayos, se tomaron muestras de la carne a los tiempos 0, 1, 3 y 6 días.

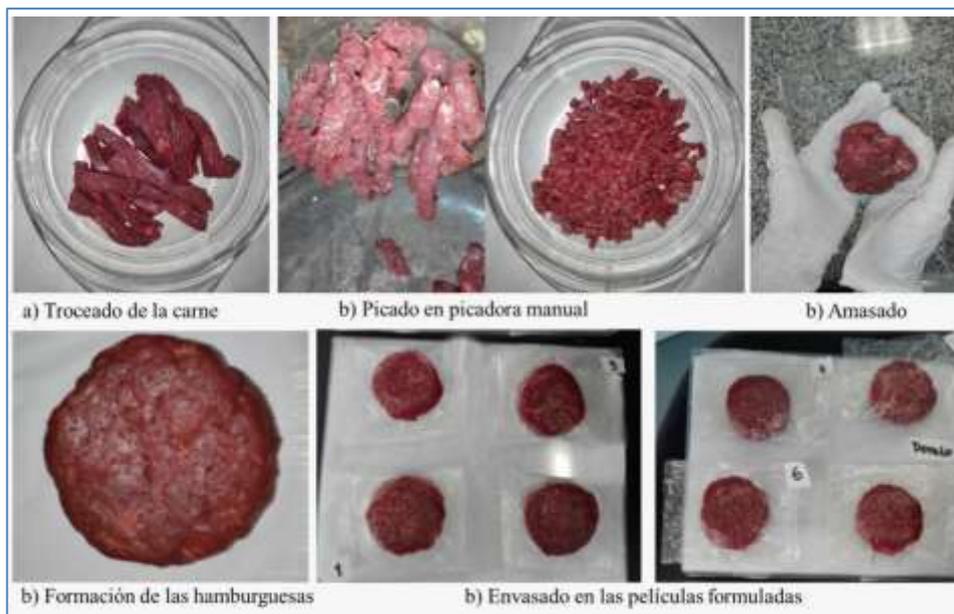


Figura 4.24. Proceso de formación de las hamburguesas y envasado en las películas formuladas sin y con pulpa de pomelo,

4.6.3. Preparación de los extractos de carne

Se prepararon extractos acuosos de carne para ser utilizados en la determinación de productos secundarios de oxidación. Para ello, se pesó 5 g de carne picada y se agregó 15 mL de agua Milli-Q. La mezcla se llevó a un homogeneizador Ultraturrax T-25 (IKA-Labortechnik, Alemania) para su homogenización a una velocidad de rotor de 2000 rpm durante 90 seg. A continuación, se procedió a la filtración de la muestra homogenizada primero a través de tela filtrante y luego con papel de filtro Whatman N° 1.

En el caso de los ensayos de determinación de antioxidantes y capacidad antioxidante total, se utilizaron extractos alcohólicos de carne. Se pesó 5 g de carne picada y se agregó 15 mL de etanol (Merck, Alemania) al 20 % v/v, procediendo luego a la homogenización y filtración de la muestra de la misma forma descripta anteriormente para los extractos acuosos.

4.6.4. Caracterización del producto cárnico

La caracterización fisicoquímica de la carne se realizó teniendo en cuenta parte de la metodología utilizada en la caracterización de frutas (Capítulo 2, Materiales y Métodos) pero en este caso para muestras de carne picada. Se realizaron determinaciones de color,

pH, contenido de humedad y actividad acuosa. Además, se determinó el contenido de polifenoles y flavonoides y la capacidad antioxidante total de los extractos de carne.

4.6.5. Determinación de productos secundarios de oxidación

La peroxidación lipídica es la degradación de los lípidos que se produce como resultado del daño oxidativo y es un marcador útil del estrés oxidativo. Los lípidos poliinsaturados son susceptibles a un ataque oxidativo, típicamente por especies reactivas de oxígeno, lo que resulta en una reacción en cadena bien definida con la producción de productos finales como malondialdehído (MDA). El método espectrofotométrico del ácido tiobarbitúrico (TBA) es el más comúnmente utilizado para la cuantificación de MDA. La reacción ocurre por ataque del MDA sobre el grupo metileno activo del TBA. Un mol de MDA reacciona con dos moles de TBA en medio ácido y a alta temperatura. La velocidad de esta reacción depende de la concentración de TBA, la temperatura y el pH. El pigmento generado posee un pico máximo de absorbancia a 532 - 535 nm y otro secundario a 245 - 305 nm (Spickett y col., 2010).

Las sustancias reactivas al TBA se midieron según el método de Abdallah y col. (2017), con algunas modificaciones: Se tomó el extracto de carne preparado a partir de 5 g de carne con 15 mL de agua Milli-Q (sección 4.4.3) y se agregó 50 µL de butilhidroxianisol (7,5 % p/p). Se transfirió 1 mL del homogeneizado a un tubo de ensayo y se agregó 2 mL de TBA 15 mM, solución de ácido tricloroacético (TCA) (15 % p/p). La mezcla se agitó en vórtex y se incubó en un baño de agua hirviendo (100 °C) durante 15 min para desarrollar el color. Luego, las muestras se enfriaron en agua durante 10 min, se agitaron nuevamente con vórtex y se centrifugaron durante 15 min a 2000 rpm.

La absorbancia de la solución sobrenadante resultante se determinó a 532 nm frente a un blanco (1 mL de agua Milli-Q y 2 mL de TBA, solución de TCA). Los valores de TBARS se expresaron como mg de malondialdehído por Kg de carne y se calcularon a partir de la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} TBARS = \frac{M \times Va \times Ve \times 1000 \times A_{532}}{E \times L \times m} \quad (Ec. 4.1)$$

Donde:

M: masa molecular del malondialdehído (72 g)

Va: volumen alícuota (2 mL)

Ve: volumen extracto (15 mL)

E: coeficiente de extinción molar del complejo coloreado ($1,56 \times 10^5 \text{ M}^{-1}$)

L: camino óptico (1 cm)

m: masa de muestra (g)

4.6.6. Análisis microbiológico

Se utilizó el método de Recuento Estándar en Placa para la determinación de microorganismos aerobios mesófilos (ICMSF, International Commission of Microbiological Specifications of Foods, 2018). Para la homogenización de la muestra se pesaron $10 \pm 0,1$ g representativos del alimento y se transfirieron asépticamente y a temperatura ambiente a un recipiente conteniendo 90 mL de agua de peptona 0,1 % (p/v), obteniendo así la dilución 10^{-1} . Se prepararon diluciones sucesivas pipeteando 1 mL de la dilución 10^{-1} y colocando en un tubo conteniendo 9 mL del diluyente aséptico, obteniéndose así una dilución 10^{-2} . Se repitió el paso anterior hasta llegar a la dilución 10^{-6} .

Por otro lado, se fundió primeramente el agar para recuento (Agar Plate Count, Sigma-Aldrich, EE.UU.) utilizando vapor o agua hirviendo y luego templando el medio a 44 - 46 °C y controlando cuidadosamente su temperatura para que al mezclarlo con la dilución del alimento no sean inactivados los microorganismos. Se colocó el agar en las placas de Petri y se sembraron, por duplicado, alícuotas de 100 μL de las diluciones preparadas. Se mezcló el inóculo con el medio fundido, inclinando y girando las placas. Una vez solidificado el agar, se invirtieron las placas y se incubaron a 35°C durante 48 ± 3 h.

La lectura y cálculo del Recuento Estándar en Placa se realizó según la ICMSF, utilizando la siguiente ecuación:

$$N = m \times f_d \times f_s = \frac{m}{V \times d} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Donde:

N: número de microorganismos por gramo o mililitro [UFC/g o mL]

m: media aritmética de las colonias contadas en placa

f_d: factor de dilución. Inversa de la dilución retenida (1/d)

f_s: factor de siembra. Inversa del volumen sembrado en placa (1/V)

4.6.7. Cocción de la carne envasada en películas activas

El comportamiento de las películas durante la cocción de la carne se evaluó utilizando la carne picada en formato hamburguesa envasada en las películas sin (FC) y con compuestos bioactivos (F6PPo). Para ello, se compró la carne e inmediatamente se elaboraron las hamburguesas, sin aditivos, de acuerdo a la sección 4.4.2. Se colocaron las muestras en una bifeira plana de hierro sin antiadherente y cubierta con lámina de aceite. Se realizó el calentamiento a fuego directo (llama media) durante 3 min de cada lado del producto, girándolo con una espátula. Se llevó a cabo un seguimiento fotográfico de la apariencia de las muestras con una cámara (Xiaomi Redmi M2103K19G, China, 48 megapíxeles).

4.6.8. Análisis sensorial de la carne envasada en películas activas luego de la cocción

Los alimentos envasados en películas activas pueden consumirse con la película si ésta fue formulada con ingredientes aptos para su consumo, como es el caso de las películas sin y con jugo de pomelo. A fin de estimar el impacto que tendrían las características organolépticas de la carne envasada cocida en los consumidores, se realizó una evaluación sensorial con el grupo de trabajo. Para ello, se colocó una porción de cada muestra en un plato de vidrio, con su respectiva identificación. Como neutralizante, se utilizó agua a temperatura ambiente para que los participantes se enjuaguen la boca entre cada prueba. Las muestras fueron consumidas calientes luego de la cocción. Se solicitó a los participantes que escribieran sus sensaciones mientras consumían las muestras. Para el análisis se consideraron todas las respuestas determinando la frecuencia de las palabras, tanto descripciones como asociaciones, a través de la metodología proyectiva asociativa denominada “Asociación de palabras”. Los datos se analizaron utilizando el programa Word Art (<https://wordart.com>) y se creó una nube de palabras para cada muestra.

4.6.9. Análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos por triplicado en cada ensayo fueron tabulados y evaluados a través de análisis de varianza ANOVA, empleando diferencias mínimas significativas del test de Tukey como método de comparación múltiple, con un nivel de confianza del 95,0 %. Dicho análisis se realizó con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo y col., 2014).

4.7. Resultados y discusión

4.7.1. Aspecto visual y color de las hamburguesas envasadas

En la Figura 4.25 se muestra el aspecto de las hamburguesas recién elaboradas y envasadas en las películas formuladas FC y F6PPo, junto al control de carne sin envasar (C). En las muestras recubiertas por las películas se observa el color rojizo de la carne resaltado y el brillo aportado por el envase. Estas características están acentuadas en las hamburguesas con FC debido a la mayor transparencia y menor opacidad comparada con F6PPo.

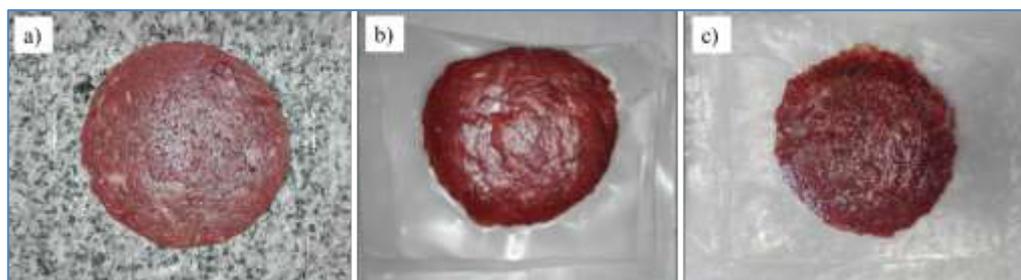


Figura 4.25. Aspecto de las hamburguesas recién elaboradas. a) control (C), b) envasada con FC, c) envasada con F6PPo.

Como ya se mencionó, la formulación F6PPo presentó una diferencia de color intermedia y con mayor cantidad de compuestos bioactivos respecto a FC, comparada con las formulaciones al 9 % y 3 % p/p (Capítulo 4B, secciones 4.3.1.1 y 4.3.2). Esta elección resulta relevante en aplicaciones como envase para productos cárnicos ya que se necesita que no altere visualmente su color natural. Cabe destacar que podrían haberse utilizado las películas con jugo o pulpa de mora desarrolladas en el Capítulo anterior, debido a su tonalidad similar a la carne. Además de esta característica, en el caso de la pulpa están presentes las semillas, las cuales se ha demostrado que tienen capacidad de inhibición de peróxidos y actividad antimicrobiana (Gómez-Mejía y col., 2021). Sin embargo, sus suspensiones filmogénicas presentaron un valor de pH más alto ($4,4 \pm 0,1$) que las de pomelo ($2,7 \pm 0,2$) (Capítulo 4A, Figura 4.6), aumentando el riesgo microbiológico que se pretende disminuir con el envase activo. Por lo tanto, las formulaciones con pomelo resultarían más aptas para este tipo de productos. De todos modos, cabe destacar que la película base puede impactar en forma positiva en los consumidores debido al color atractivo y aspecto de alimento fresco que le otorgó a la carne picada.

La Figura 4.26 muestra que la muestra control presentó una mayor variación de color durante todo el almacenamiento refrigerado, si bien al día 6 de ensayo sus coordenadas de color fueron más cercanas a las del producto fresco sin envasar (tomado como control). En cambio, las hamburguesas envasadas con FC mantuvieron su color durante todo el almacenamiento refrigerado. Las muestras envasadas con F6PPo conservaron su color hasta el día 3 y al día 6 presentaron modificaciones significativas ($p < 0,05$), indicando que la carne sufre un cambio de color que la acerca al color del día inicial.

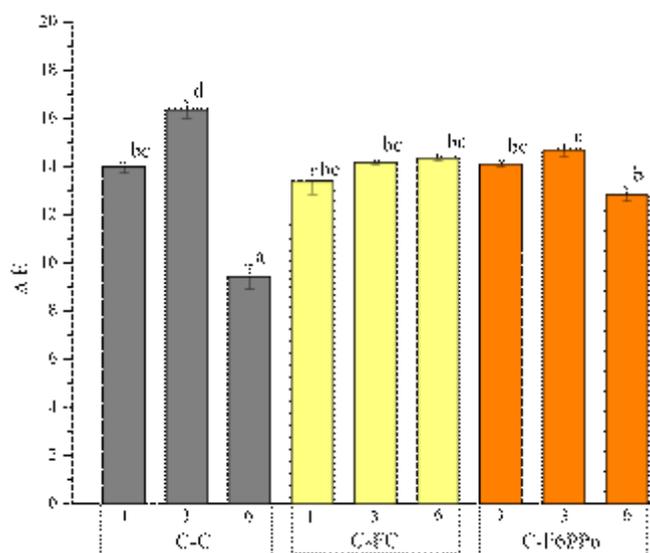


Figura 4.26. Diferencia de color ΔE entre las muestras de hamburguesas almacenadas a diferentes tiempos a 4 °C respecto al control de carne a tiempo 0. C (■), envasada con FC (■), envasada con F6PPo (■).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Las coordenadas de color de las hamburguesas al inicio del ensayo (día 0) fueron: $L^*=45,23 \pm 1,00$, $a^*=13,40 \pm 1,13$, $b^*=9,58 \pm 0,28$. Durante el almacenamiento, la coordenada a^* relacionada al color rojo presentó la mayor variación disminuyendo hasta un valor de 1, mientras que la luminosidad L^* disminuyó hasta un valor de 40. Según Luciano y col. (2009), la oxidación de lípidos y el deterioro de la mioglobina están altamente relacionados y los productos secundarios generados en los procesos de oxidación de lípidos (por ejemplo, aldehídos) promueven fuertemente el deterioro del color. De acuerdo a los resultados obtenidos, la actividad antioxidante de la miel y del pomelo en las películas FC y F6PPo puede minimizar dichos cambios de color en las hamburguesas almacenadas.

Otros autores también hallaron una mayor estabilidad en el color de productos cárnicos cuando aplicaron películas y recubrimientos. Suman y col. (2010) ensayaron el agregado de quitosano como solución de recubrimiento en carne picada y atribuyeron dicha estabilidad a las propiedades de barrera del hidrocoloide que incrementaron el color rojizo de la carne y lo mantuvieron durante el almacenamiento refrigerado. Las películas y recubrimientos presentan propiedades de barrera a los gases, como el oxígeno, que minimizan los cambios de color que experimenta la carne principalmente por la oxidación de la mioglobina (Soro y col., 2021, Conte-Junior y col., 2020). Si bien en el presente estudio no se determinaron dichas propiedades, se podría inferir que ambas formulaciones de películas sin y con pulpa de pomelo tendrían buena capacidad de barrera a los gases ya que permitieron la estabilidad del color de la carne.

4.7.2. Variación de pH en las hamburguesas envasadas

En la Figura 4.27 se observa que las películas otorgaron una mayor estabilidad en las características de acidez de las hamburguesas, respecto al control sin envase. El Código Alimentario Argentino (CAA, 2024), en su Capítulo VI Alimentos cárneos y afines, artículo 255bis, establece un valor de pH no mayor a 5,2 para la carne vacuna cruda conservada de humedad intermedia, no especificando el valor para la carne picada. Tomando como referencia este valor, se puede apreciar en la Figura 4.27 que al día 1 todas las muestras disminuyeron su pH inicial y luego las hamburguesas envasadas se mantuvieron con valores de pH alrededor de 5 durante el almacenamiento a 4 °C. En cambio, el pH de la hamburguesa sin envase se incrementó significativamente ($p < 0,05$) a partir del día 3.

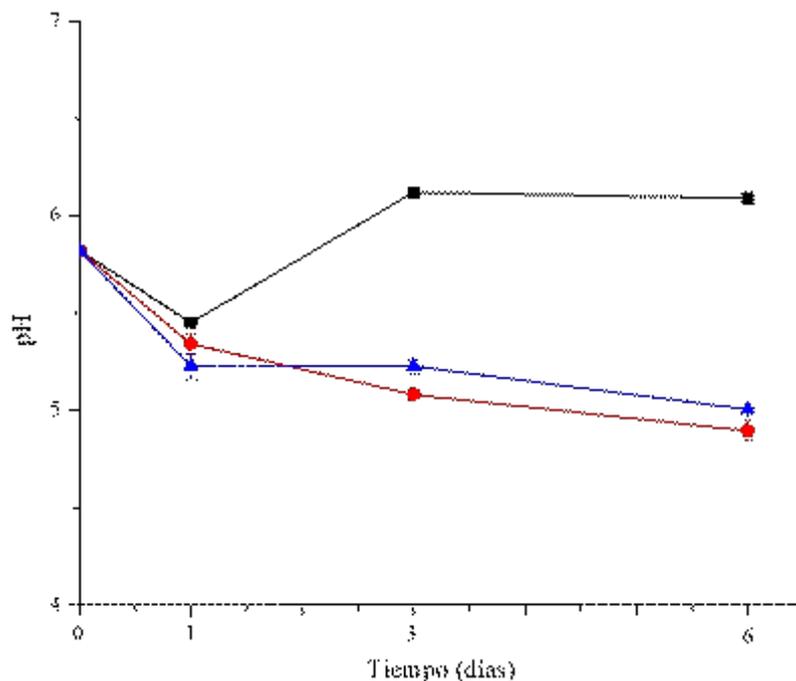


Figura 4.27. Valores de pH de las hamburguesas sin y con envases bioactivos durante el almacenamiento refrigerado. C (■), con FC (●), con F6PPo (▲).

Caetano y col. (2017) hallaron valores de pH en el rango 5,52 - 5,67, similares al presente estudio, empleando carne picada envasada en películas de almidón de mandioca con aceite esencial de orégano y extracto de calabaza. Estos autores también observaron una mayor estabilidad en el pH de las muestras almacenadas con las películas activas, respecto a aquellas sin envase (pH=6,92 al día 6 de almacenamiento refrigerado). El aumento en el pH refleja el grado de deterioro de la carne a través de la descomposición de las proteínas para producir aminoácidos libres que conducen a la formación de compuestos de reacción alcalina como NH_3 y aminas (Karabagias y col., 2011). Por lo tanto, estos resultados indicarían un efecto protector de ambas películas activas con miel, sin y con pulpa de pomelo, contra la descomposición de la carne. Esto podría atribuirse a los componentes presentes en la matriz como la miel y el jugo de pomelo que aportan propiedades antimicrobianas. La presencia de compuestos bioactivos, antioxidantes y flavonoides pueden producir inhibición del crecimiento microbiano y disminución del deterioro. Por otra parte, la película actúa como un recubrimiento protector y barrera física que protege la superficie de la carne limitando la exposición al oxígeno y como barrera al paso del agua, retardando la descomposición. Además, podría producirse sinergismo entre los componentes de la miel y la fruta presente en la matriz, preservando la calidad y frescura de la carne.

4.7.3. Humedad y a_w de las hamburguesas envasadas en películas bioactivas

La Figura 4.28a muestra los valores de contenido de humedad para las hamburguesas sin envasar y envasadas en las películas bioactivas formuladas. Se observa una disminución significativa ($p < 0,05$) de la humedad en todas las muestras en el día 6. Sin embargo, dicha disminución fue mayor (53,4 %) para el control C, seguida de la muestra envasada con F6PPo (33,4 %). En este caso, la muestra con FC se distinguió por presentar una menor pérdida de agua (32,3 %). Cabe destacar que ambas películas mostraron valores de permeabilidad al vapor de agua bajos, si bien F6PPo presentó un valor menor que FC (Capítulo 4B, Figura 4.16). Esta característica de los envases bioactivos promueve la menor pérdida de humedad de la carne. La película actúa como barrera permeable que regula el intercambio de vapor, manteniendo así la humedad natural de la carne y permitiendo la conservación.

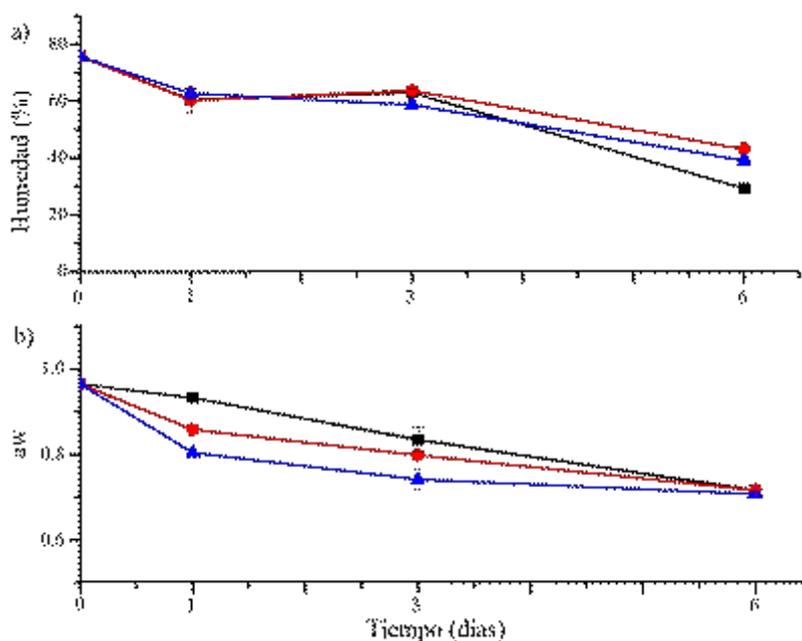


Figura 4.28. Valores de a) humedad, b) a_w de las hamburguesas sin y con envases bioactivos durante el almacenamiento refrigerado. C (■), con FC (●), con F6PPo (▲).

Respecto a la a_w , se observa en la Figura 4.28b que al día 1 las hamburguesas envasadas presentaron menor a_w ($p < 0,05$) que la muestra sin envasar. Sin embargo, al día 6 todas las muestras presentaban un valor de a_w similar (0,7), denotando la pérdida de agua por secado de la carne durante el almacenamiento refrigerado.

4.7.4. Contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante total

Los envases activos se formularon con ingredientes naturales como el almidón de mandioca, miel y jugo de pomelo. Estos componentes podrían producir migraciones o transferencias desde la película hacia la carne debido a su naturaleza móvil y su lipofilicidad. Cuando la película entra en contacto con la superficie de la carne se crea una interfase donde puede darse la migración de los compuestos bioactivos. Factores como la polaridad, la solubilidad y el gradiente de concentración entre la película y la carne pueden facilitar este proceso (Zhang y col., 2021). La cuantificación de los compuestos antioxidantes durante el almacenamiento permite estimar la estabilidad de la carne envasada con las películas activas y determinar su aptitud para preservar o incluso aumentar el contenido de sustancias beneficiosas en la carne. Los compuestos bioactivos, como fenoles y flavonoides, pueden proteger la carne de la oxidación y la degradación microbiana mejorando la conservación, prologando la frescura y manteniendo las propiedades nutricionales (Nieto y col., 2021).

La Figura 4.29 muestra la evolución del contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante durante el almacenamiento refrigerado de las hamburguesas sin y con envase. El contenido de compuestos polifenólicos de la carne aumentó en el día 3 para FC y disminuyó para F6PPo y control. Al día 6, todas las muestras disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) el nivel de polifenoles, si bien la carne envasada con F6PPo presentó un valor mayor que la muestra control (Figura 4.29a). En cambio, los compuestos flavonoides totales presentaron mayor variación en las tres muestras durante el almacenamiento (Figura 4.29b). Al día 1, ambas películas presentaron valores mayores que el control, mientras que al día 3 la muestra envasada con F6PPo presentó una disminución significativa ($p < 0,05$) en el contenido de flavonoides respecto a aquellas con FC. Al final del almacenamiento, todas las muestras disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) la concentración de dichos compuestos, si bien las muestras con ambas películas mostraron valores mayores que la carne control (C).

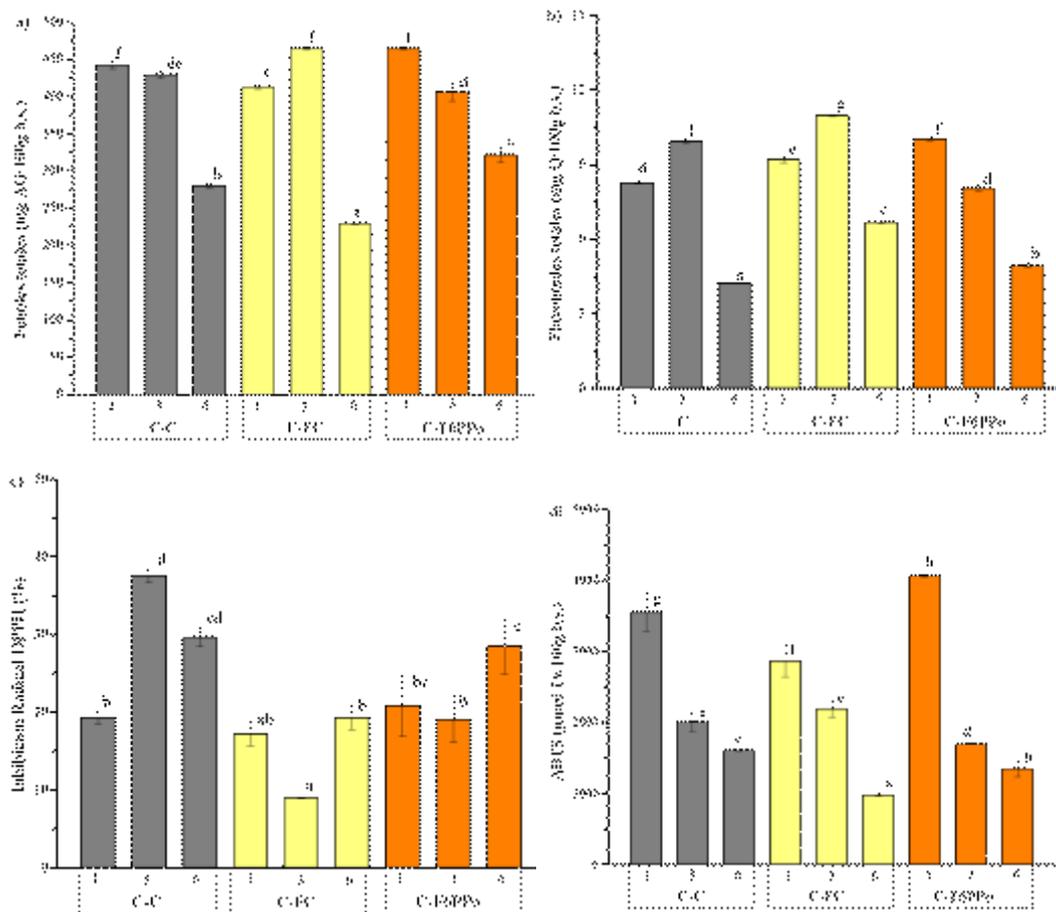


Figura 4.29. Valores de compuestos antioxidantes y actividad antioxidante de hamburguesas sin y con envases bioactivos durante el almacenamiento refrigerado. (a) fenoles totales, (b) flavonoides totales. Capacidad antioxidante total (c) por DPPH, (d) por ABTS. C (■), con FC (■), con F6PPo (■). Letras minúsculas diferentes dentro de cada gráfico indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Respecto a los valores de la capacidad antioxidante medida por DPPH, se observó una mayor variación en todas las muestras sin y con envase (Figura 4.29c). En cambio, los resultados obtenidos con el método ABTS en todas las hamburguesas almacenadas mostraron una disminución significativa ($p < 0,05$) luego del día 1 y que prosiguió hasta el final del almacenamiento (Figura 4.29d).

4.7.5. Productos secundarios de oxidación

El corte de carne (pulpa cuadrada) utilizada en la elaboración de las hamburguesas es susceptible a la degradación de lípidos por oxidación, si bien es una carne magra que contiene 3,2 g de grasa por cada 100 g (Argenfoods, 2008). A fin de evaluar la efectividad

de los antioxidantes contenidos en las películas para prevenir dicho proceso, se determinaron los productos secundarios de oxidación durante el almacenamiento refrigerado (Figura 4.30). Los valores de TBARS al día 0 fueron $0,45 \pm 0,02$ mg MDA/Kg. Al día 1, los valores de TBARS para las muestras envasadas en ambas películas, FC y F6PPo, fueron menores ($p < 0,05$) que el control, si bien se incrementaron respecto al valor al día 0. Ello significa que las películas fueron efectivas parcialmente para retardar el proceso de peroxidación lipídica en las muestras envasadas, en particular la muestra con FC hasta el día 3. Sin embargo, este efecto disminuyó al aumentar el tiempo de almacenamiento, ya que al día 6 para FC y a los días 3 y 6 para F6PPo, las hamburguesas envasadas mostraron un incremento significativo ($p < 0,05$) en los valores de TBARS, al igual que C.

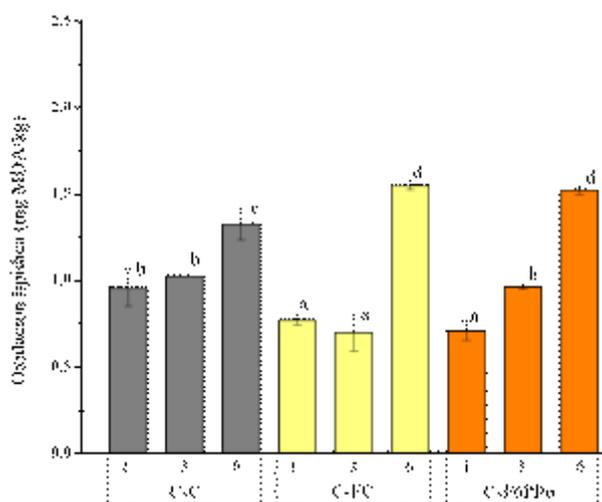


Figura 4.30. Valores de productos secundarios de oxidación de las hamburguesas sin y con envases bioactivos durante el almacenamiento refrigerado. C (■), con FC (■), con F6PPo (■).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

De acuerdo a Verma y Sahoo (2000), un valor de 2 mg de malonaldehído por Kg constituye un umbral práctico para establecer la rancidez de la carne. Sin embargo, Martínez y col. (2006) informaron que un índice de 1,5 está estrechamente relacionado con un mal olor perceptible e inaceptable de la carne. Todas las muestras evaluadas se mantuvieron por debajo de 1,5 hasta el día 3 del ensayo (Figura 4.30), por lo que podría considerarse que ambas películas, sin y con pulpa de pomelo, ayudaron a controlar la oxidación lipídica en las hamburguesas durante los primeros 3 días de almacenamiento.

El mecanismo por el cual las películas con antioxidantes reducen el número de moléculas reactivas al TBA es aún materia de investigación. Algunas hipótesis para su mecanismo de acción se basan en la inactivación de los radicales libres mediante la migración de moléculas antioxidantes de la película activa a la carne o la eliminación de esas moléculas oxidantes de la carne hacia la película activa (Gallego y col., 2016).

Es posible que durante los primeros días de almacenamiento los antioxidantes naturales o añadidos a la carne hayan sido consumidos o desactivados, lo que favoreció el aumento de la oxidación lipídica al día 6 (Figura 4.30). Se requeriría realizar más estudios para corroborar y profundizar en las causas específicas de este comportamiento.

4.7.6. Análisis microbiológico

En cuanto al análisis microbiológico, el recuento de mesófilos totales en las hamburguesas envasadas con F6PPo se mantuvo sin variación significativa ($p > 0,05$) respecto al recuento inicial de la carne (Tabla 4.14). Los valores hallados concuerdan con el CAA, artículo 255, que establece valores de recuento de aerobios mesófilos entre $10^6 - 10^7$ UFC/g ($6 - 7 \log$ UFC/g) para la carne picada. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos, las películas formuladas con almidón de mandioca, glicerol, miel y pulpa de pomelo ayudarían a minimizar el deterioro microbiano de la carne picada. Si bien la carne picada no recibió ningún tratamiento de eliminación de la carga microbiana acarreada en el expendio, los componentes incorporados a los envases bioactivos, como agentes antimicrobianos naturales, podrían ayudar a inhibir el crecimiento y proliferación de los microorganismos presentes en la carne, ralentizando su deterioro microbiológico.

Tabla 4.14. Valores de mesófilos totales (\log UFC/g) de las hamburguesas envasadas en películas bioactivas sin (FC) y con (F6PPo) pulpa de pomelo, comparadas con el control sin envasar (C), durante el almacenamiento refrigerado.

Día	C	C-FC	C-F6PPo
0	6,00±0,70 ^a	6,00±0,70 ^a	6,00±0,70 ^a
1	6,15±0,21 ^a	6,39±0,12 ^{ab}	6,15±1,20 ^a
6	6,60±0,13 ^a	6,93±0,04 ^b	6,61±0,19 ^a

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El efecto de extractos de origen vegetal sobre la vida útil de productos cárnicos ha sido estudiado ampliamente y con resultados variables. Bouarab-Chibane y col. (2017) utilizaron extractos de ciruela, granada, té verde y uva en hamburguesas de carne sometidas a almacenamiento refrigerado en atmósfera de alto oxígeno. Estos autores, partiendo de 4,5 - 5,2 log UFC/g, hallaron valores de 5,9 - 7,1 y 8,8 - 9,5 log UFC/g a los días 4 y 8, respectivamente, por lo que concluyeron que no hubo un efecto de inhibición de los extractos de plantas sobre el recuento de viables total. Por su parte, Barzegar y col. (2020), si bien partieron de un valor menor de recuento inicial (2,7 log UFC/g), obtuvieron valores similares al presente estudio luego de 6 días de almacenamiento (6,6 log UFC/g) empleando mucílagos de semillas de *Lepidium sativum* como aditivo en carnes. Respecto al uso de películas activas con extractos de origen vegetal, Caetano y col. (2017) incorporaron aceite esencial de orégano y extracto de calabaza a películas de almidón de mandioca. Estos autores hallaron que las hamburguesas envasadas en las películas activas mostraron propiedades antimicrobianas contra coliformes y una cepa de *Salmonella Enteridis*. En cuanto al recuento de mesófilos, informaron que tanto la película con antioxidantes como el control contribuyeron a la reducción de dichos microorganismos hasta el día 3 del ensayo, diferenciándose de la carne sin envase.

4.7.7. Alternativas de consumo de las hamburguesas envasadas en películas activas

Una posibilidad para el consumo de la carne envasada es con la película activa adherida a su superficie. Esto puede ser factible debido a que los ingredientes de la película son comestibles y las hamburguesas recién preparadas (sin almacenamiento refrigerado) resultaron aptas microbiológicamente para consumo (Tabla 4.14).

Las Figuras 4.31 y 4.32 muestran los cambios producidos en la carne envasada con las películas FC y F6PPo, respectivamente. Durante el procedimiento de cocción se observó que ambos envases no se adhirieron a la superficie de la sartén. Además, el envase F6PPo mostró expansión e hinchamiento hasta un máximo en el minuto 3, encerrando los vapores y aportando jugosidad al producto final. Este comportamiento se desarrolló en menor medida para el envase FC, debido probablemente a la menor capacidad de hinchamiento y mayor permeabilidad al vapor de agua de este envase ($0,80 \pm 0,03 \cdot 10^{-10} \text{ g/s} \times \text{m} \times \text{Pa}$) comparada con la que tenía la matriz de pomelo ($0,55 \pm 0,01 \cdot 10^{-10} \text{ g/s} \times \text{m} \times \text{Pa}$), como se observó en la Figura 4.16 (Capítulo 4B, Películas a base de matrices frutales). La película con pomelo tenía mayor capacidad de elongación ($42,91 \pm 2,15 \%$) comparada

con la película control ($23,25 \pm 2,65 \%$) (Capítulo 4B, Figura 4.18), esta característica se manifestó en su comportamiento sin formar grietas ni rupturas en la superficie.

Durante el calentamiento se formó la coloración marrón oscuro en ambos envases, producto de las reacciones de Maillard características de la cocción de la carne. En ambos casos, la carne se mantuvo suave con una sensación de mordida agradable al paladar. Sobre la superficie de la carne ambas muestras presentaron una intensa y agradable sazón, con notas tostadas ahumadas y ligeramente caramelizadas. La carne envasada en FC mostró mayor caramelización debido a la mayor evaporación de agua que permitió este envase durante la cocción, lo cual condujo a una mayor sequedad en la carne en el mismo tiempo de calentamiento.

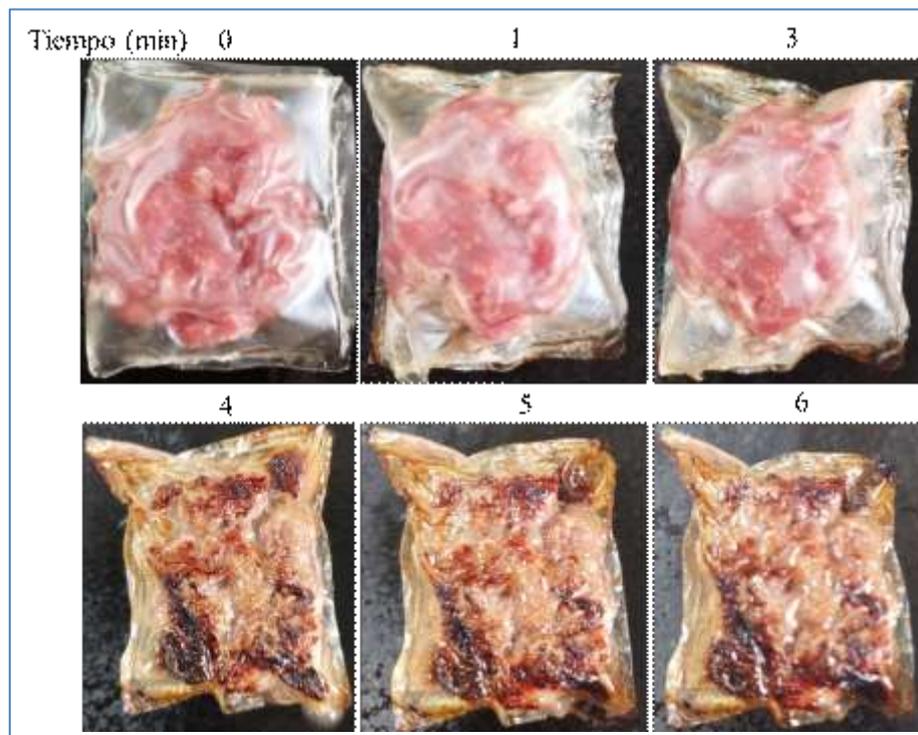


Figura 4.31. Imágenes de la carne envasada en película control (C-FC) durante el proceso de cocción.

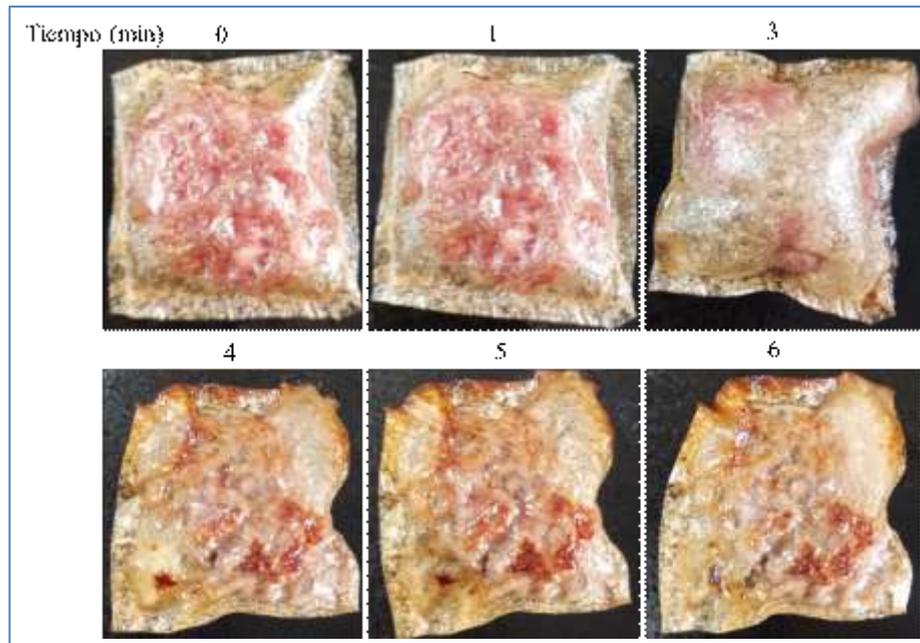


Figura 4.32. Imágenes de la carne envasada en película con pulpa de pomelo (C-F6PPo) durante el proceso de cocción.

La Figura 4.33 muestra la nube de palabras con los resultados correspondientes a las asociaciones obtenidas durante el análisis sensorial de la carne cocida con su respectivo envase comestible. Se obtuvo un total de 16 palabras y se presentaron asociaciones tanto positivas como negativas.

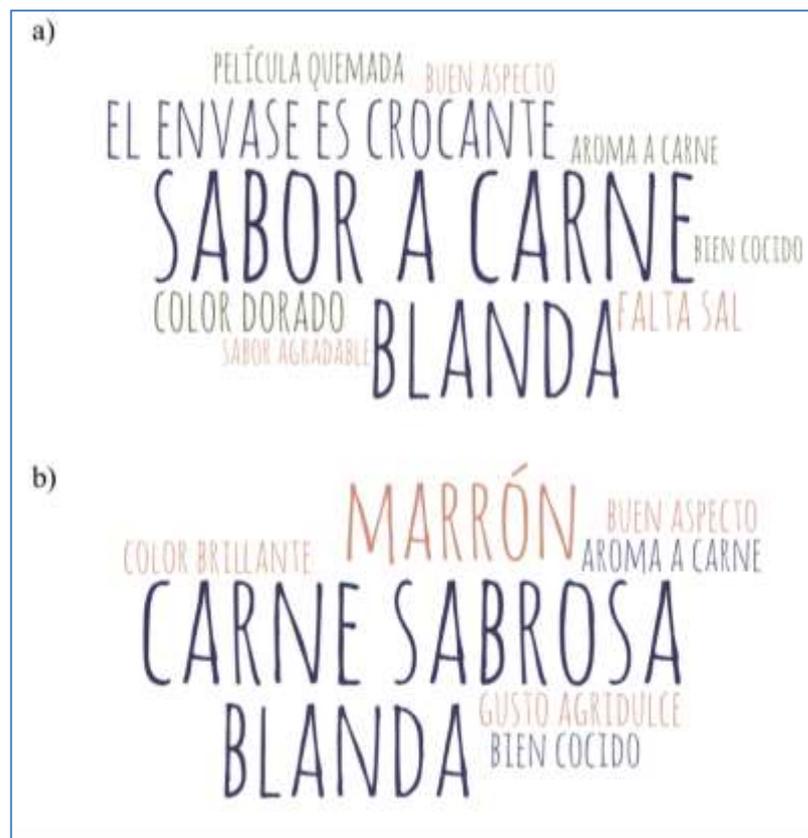


Figura 4.33. Nube de palabras elaborada a partir de las descripciones y asociaciones realizadas por los participantes. a) Carne con envase control (C-FC). b) Carne con envase con pulpa de pomelo (C-F6PPo).

Las asociaciones mencionadas por el mayor porcentaje de los participantes para la carne envasada con FC (Figura 4.33a) fueron: sabor a carne (n= 4), blanda (n= 3), el envase es crocante (n= 2). Además, las asociaciones negativas mencionadas por única vez (n= 1) fueron: falta sal y película quemada. Las asociaciones mencionadas por el mayor porcentaje de los participantes para la carne envasada con F6PPo (Figura 4.33b) fueron: carne sabrosa (n= 3), blanda (n= 2), marrón (n= 2). En esta formulación no se apreciaron asociaciones negativas.

Si bien se requieren más ensayos para evaluar el comportamiento de las películas, es promisorio su uso como envases comestibles de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis sensorial. Además de conservar los jugos de la carne por su menor permeabilidad, otra característica relevante del envase con pomelo es que el sabor aportado por la fruta no fue percibido como desagradable. Esto podría ser una ventaja con respecto al aroma picante y mal sabor que presentan las películas aditivadas con aceites esenciales cuando son aplicadas en productos cárnicos (Barzegar y col., 2020).

4.8. Conclusiones parciales

Se logró la aplicación de películas activas con miel, sin y con pulpa de pomelo, en un producto cárnico tipo hamburguesa. De acuerdo a los resultados obtenidos, las películas biodegradables ayudarían a minimizar el deterioro fisicoquímico de la carne picada durante el almacenamiento refrigerado. El contenido de compuestos bioactivos antioxidantes de las películas ensayadas, provenientes de la miel y el pomelo, serían responsables de la estabilidad en el color rojizo de la carne, mientras que las propiedades antimicrobianas de estos compuestos también influirían en la estabilidad del pH del producto cárnico.

Por otro lado, el ensayo TBARS permitió evaluar la oxidación lipídica en las muestras sin y con envase. El aporte de antioxidantes de la miel y del pomelo disminuyeron el deterioro oxidativo y microbiano a tiempos cortos de almacenamiento, resultando más efectiva la película con miel sin fruta que mantuvo su valor de TBARS hasta el día 3 del ensayo.

Las buenas propiedades de barrera al agua del envase con jugo de pomelo permitieron conservar los jugos de la carne durante la cocción. Asimismo, la evaluación sensorial realizada permitió establecer la factibilidad de consumo de la carne con las películas incluidas.

Si bien son necesarios ensayos más profundos, los resultados obtenidos indicaron que las películas desarrolladas a base de almidón de mandioca y miel, sin y con pulpa de pomelo, presentan buen potencial para su uso como envase de productos cárnicos refrigerados.

**CAPÍTULO 5.
APLICACIÓN DE LAS
MATRICES EN EL
DESARROLLO DE
ALIMENTOS**

**5. A. SNACKS DE FRUTAS
DESHIDRATADAS RECUBIERTAS**

5. A. SNACKS DE FRUTAS DESHIDRATADAS RECUBIERTAS

5.1. Aplicación de los recubrimientos activos a base de fruta en láminas de frutas regionales para alimentos a base de cereales, semillas y miel

Las combinaciones apropiadas de los componentes de los recubrimientos comestibles pueden mejorar las cualidades organolépticas y el valor nutricional de las frutas. Una opción interesante lo constituye la matriz de almidón de mandioca con miel y jugo de pomelo que al aplicarse para recubrir frutas puede aportar dulzor por la miel y resaltar el sabor natural del alimento debido al ácido cítrico del pomelo. Además, el producto se enriquece debido a los antioxidantes que aporta el recubrimiento, generando un producto saludable con perfil nutricional adicional al de la propia fruta.

En este capítulo se estudia la aplicación de las matrices a base de fruta, desarrolladas en el Capítulo anterior, a través de su uso como recubrimientos activos para las frutas regionales. La investigación realizada está dividida en 2 secciones, A y B.

En la sección A, se describen la metodología y los resultados para la obtención de las frutas recubiertas deshidratadas. Para ello, en primer lugar, se establecen las condiciones óptimas de secado de las frutas (mora, pomelo y mamón) que se utilizarán para deshidratar las frutas luego de la aplicación del recubrimiento. Luego, se analiza el efecto del tipo de recubrimiento, sin y con jugo de pomelo, sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la fruta entera (mora) y las láminas de frutas (pomelo y mamón). Finalmente, se evalúa a través del análisis sensorial el potencial de los productos deshidratados para su aplicación como snacks frutales y en otras formulaciones de alimentos.

En la sección B, se aplican las frutas recubiertas deshidratadas, obtenidas en la sección A, en el desarrollo de alimentos tipo snack a base de cereales y semillas de quinoa y amaranto. Además de las frutas recubiertas deshidratadas se utilizan las matrices activas desarrolladas en el Capítulo 4, junto a la miel caracterizada en el Capítulo 3.

5.2. Materiales y Métodos

5.2.1. Formatos de frutas utilizados para recubrir

Se utilizaron las frutas, moras (Mo), pomelo (Po) y mamón (Ma) procesadas y almacenadas congeladas como se describió en el Capítulo 2 (Materiales y métodos, sección 2.1.3.2). Luego de 30 días de almacenamiento, se descongelaron durante 2 h en heladera a 8 °C y posteriormente se atemperaron en ambiente a 25 °C hasta su utilización.

Las moras se utilizaron enteras y los pomelos en láminas de 20 × 20 mm según lo descrito en la sección 2.1.3.2 (Capítulo 2, Materiales y métodos). Por otro lado, los mamones fueron cortados en cubos de 10 × 10 × 10 mm y en láminas de 4 mm × 80 mm, a fin de determinar la mejor opción de consumo para esta fruta (Figura 5.1). Antes de proceder a los ensayos se colocaron en rejillas para escurrir el agua producto de la descongelación.

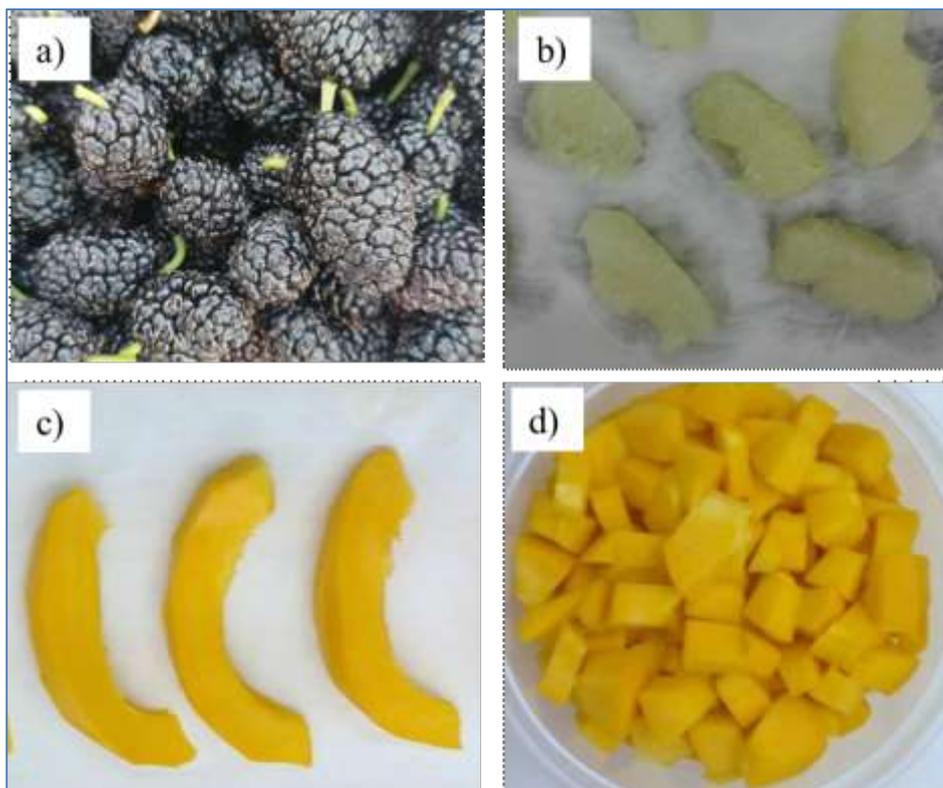


Figura 5.1. Fotografías de los formatos de frutas utilizados para recubrimiento y deshidratación. a) mora entera, b) pomelo en láminas c) mamón en láminas y d) mamón en cubos.

5.2.2. Determinación de las condiciones de secado de las frutas

Con el objetivo de seleccionar la temperatura de secado óptima para las frutas a recubrir se realizaron ensayos a tres temperaturas, 55 °C, 60 °C y 65 °C, durante 8 h. Estas condiciones iniciales de prueba fueron obtenidas de datos bibliográficos de secado en sistemas similares (Demarchi y col., 2013, Márquez y De Michelis, 2008, Velić y col., 2004). El proceso de secado de las frutas se realizó en una estufa de convección forzada (DALVO CHR/F/I, Argentina). Se determinó la pérdida de agua (%) de las frutas por

diferencia de peso entre la muestra inicial y la muestra luego del secado. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Además, se realizó la evaluación visual y al tacto de las frutas deshidratadas como criterio adicional de selección de la temperatura más adecuada para el secado.

En el caso del mamón, se evaluó el formato con mejores características luego del secado a fin de seleccionar uno de ellos para el resto de los ensayos. De esta forma, luego de la primera prueba de secado, se optó por el formato lámina ya que se obtuvo un aspecto visual más aceptable y un secado más uniforme, descartando el formato cubo por la formación de bordes con alta dureza al paladar y aspecto visual poco atractivo (Figura 5.2).

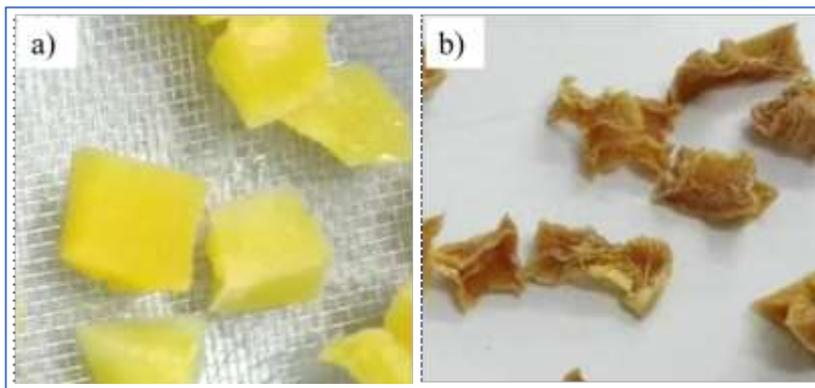


Figura 5.2. Aspecto de las muestras de mamón en forma de cubos. a) antes, b) después del proceso de secado.

Una vez seleccionada la temperatura de secado óptima para las frutas se procedió a la determinación de la pérdida de peso en función del tiempo, a fin de hallar el tiempo de secado óptimo para cada tipo de fruta. Para ello, se colocaron las muestras descongeladas en contenedores de aluminio previamente tarados y se llevaron a la estufa de convección forzada (DALVO CHR/F/I, Argentina). Se determinó el peso de cada muestra al inicio del ensayo y luego cada 30 minutos en balanza electrónica (OHAUS ® Pioneer, Alemania) con precisión $\pm 0,0001$ g. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Se realizó una curva de pérdida de peso (g) en función del tiempo (min) y se determinó como tiempo de secado el punto en el que el peso de la muestra se hizo constante. A partir de los datos obtenidos se realizó una curva de contenido de agua (%) en función del tiempo de secado y se determinó el porcentaje de pérdida de humedad para el valor de tiempo de

secado en el cual el peso de la muestra se hizo constante. Este tiempo de secado se tomó como el tiempo de deshidratación de las frutas.

5.2.3. Recubrimiento de las frutas con las matrices a base de almidón de mandioca sin y con jugo de pomelo

Para recubrir las frutas se utilizaron las formulaciones de matrices desarrolladas en los Capítulos 3 y 4 (Matrices base, sección 3.3 y Matrices frutales, sección 4.2):

FC: 4 % p/v de almidón, 1,5 % p/v de glicerol-miel (25 - 75) y 94,5 % p/v de agua destilada.

F10JPo: 4 % p/v de almidón, 1,5 % p/v de glicerol-miel (25 - 75), 10 % p/v de jugo de pomelo y 84,5 % p/v de agua destilada.

Ambas matrices, denominadas en este capítulo de aquí en adelante RC y R10JPo, respectivamente, fueron preparadas de acuerdo a lo descrito en la sección 2.2.2.1 (Capítulo 2, Materiales y métodos). Luego de su preparación, las suspensiones formadoras de recubrimientos obtenidas se dejaron enfriar 1 hora a 25 °C antes de proceder a recubrir las frutas.

Las moras y las láminas de mamón y pomelo se recubrieron en una sola etapa a través del proceso de inmersión, tomando cada fruta (5 - 10 g) con una pinza y sumergiéndola en la solución de recubrimiento (relación fruta: solución, 1:3) durante 5 min. Luego las frutas sin recubrir (SR) y con recubrimientos (RC y R10JPo) fueron colocadas sobre mallas de metal durante 10 min para eliminar el exceso de solución y éstas sobre placas contenedoras para evitar posibles goteos de jugo en el horno. La deshidratación se realizó en horno con convección forzada (DALVO CHR/F/I, Argentina) a la temperatura y el tiempo seleccionados previamente para cada tipo de fruta (sección 5.2.2). Las frutas deshidratadas se retiraron del horno y se conservaron en bolsas con cierre hermético a 20 °C para su posterior análisis.

En la Figura 5.3 se observa el proceso de impregnación de las matrices sobre el exterior de la fruta y la obtención de las láminas frutales recubiertas con matrices multipropósito a partir de la deshidratación.

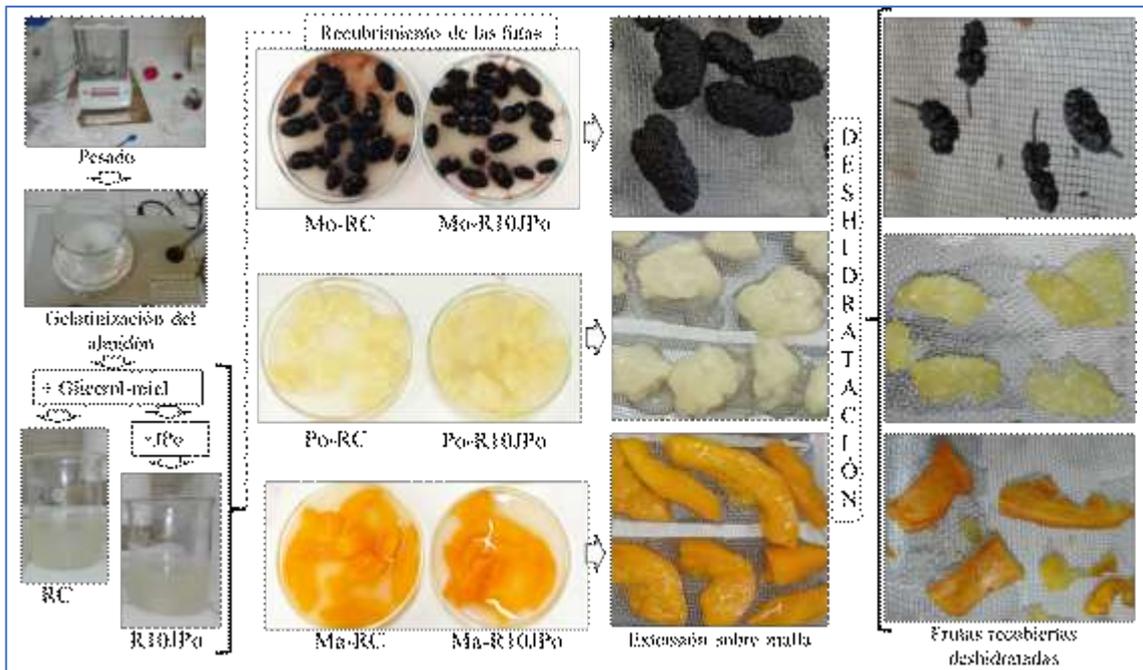


Figura 5.3. Proceso de elaboración de las matrices, recubrimiento de las frutas y deshidratación de los sistemas recubiertos.

5.2.4. Caracterización fisicoquímica y funcional de las frutas recubiertas

Se determinaron los parámetros de calidad de las frutas deshidratadas antes y después del secado sin y con recubrimientos, de acuerdo a las metodologías descritas en el Capítulo 2 Materiales y métodos. A cada sistema ensayado se le determinó color, pH, contenido de agua, a_w y °Brix. La caracterización funcional se llevó a cabo determinando los compuestos bioactivos presentes en las frutas, para lo cual se prepararon los extractos respectivos. Las muestras de frutas deshidratadas, mezcladas con el solvente adecuado a cada ensayo, fueron desintegradas utilizando una procesadora manual tipo mixer (ATMA, Argentina) durante 20 min. Luego, se procedió a la filtración como se indicó en la metodología respectiva. Se determinaron polifenoles totales, flavonoides totales, antocianinas y ácido ascórbico, como así también la capacidad antioxidante a través de los métodos de DPPH• y ABTS.

Asimismo, se obtuvieron fotografías (cámara Huawei Y6II-454E, China) que plasmaron los cambios visuales de las frutas durante los procesos de secado y recubrimiento.

5.2.5. Aplicación de las frutas y láminas frutales recubiertas para la formación de granolas

A modo de ejemplo de aplicación de las frutas recubiertas deshidratadas, se elaboró una granola utilizando las frutas de moras y las láminas de mamón y pomelo recubiertas con R10JPo. La granola es un alimento formado por frutos secos, cereales mezclados con miel y otros ingredientes naturales. La mezcla se cocina en horno y durante el proceso de cocción se mezclan los ingredientes para evitar la adherencia entre ellos. El proceso de cocción prosigue hasta que la textura de los cereales sea crujiente, típica de los cereales que se comen en el desayuno. El Código Alimentario Argentino describe las granolas en el Cap. IX, Art. 646 como un “*alimento para desayuno o merienda formado a base de cereales (ya sean extrudados, expandidos, inflados, aplastados, laminados, rolados/cilindrados o en hebras) listos para consumo, los instantáneos y los utilizados normalmente en desayunos, meriendas, u otros, fríos o calientes*”. Como ejemplo de estos productos propone cereales tipo granola, muesli, harina de avena instantánea, copos de maíz, trigo o arroz inflado, cereales mixtos (p.ej. arroz, trigo y maíz), cereales elaborados con soja o salvado, productos de cereales extrudados elaborados con harina o granos de cereales molidos y barras de cereales.

En la Tabla 5.1 se observan las proporciones de ingredientes utilizadas para la elaboración de la granola. Se combinaron proporciones de diferentes cereales y frutos secos regionales, como avena, copos de maíz, arroz inflado, fibras de salvado, almendras, castañas, avellanas, maní y frutas recubiertas deshidratadas (moras, pomelos y mamones recubiertos con R10JPo). Como aglutinante y endulzante se utilizó la miel *Apis mellifera* caracterizada en el Capítulo 3.

Tabla 5.1. Tipo y cantidad de materia prima utilizados para la formulación de la granola.

Materia prima	Cantidad
	(%)
Avena	18
Copos de maíz	18
Arroz inflado	18
Fibras de salvado	18
Almendras	3
Castañas	3
Avellanas	3
Maní	3
Mo-R10JPo	4
Po-R10JPo	4
Ma-R10JPo	4
Miel	4

En la Figura 5.4 se observa el flujo de proceso de elaboración de la granola, siguiendo la metodología utilizada por Souza y Silva. (2013), con algunas modificaciones. Los copos de maíz y el arroz inflado se trituraron ligeramente con una procesadora manual (Liliana, Argentina) para disminuir el tamaño. Se realizó el mismo procedimiento con los frutos secos (almendras, castañas, avellanas y maní). Las moras se utilizaron enteras, mientras que las láminas de pomelo y mamón se cortaron en mitades para disminuir su tamaño. Luego, se colocaron en un recipiente de plástico. Por último, se agregó la miel y se mezclaron los ingredientes con cuchara de metal.



Figura 5.4. Diagrama de flujo de la preparación de granola con frutas de moras y láminas de mamón y pomelo con recubrimiento de jugo de pomelo deshidratadas.

La mezcla homogénea se distribuyó en capas de aproximadamente 1 cm de espesor en moldes de aluminio y se colocaron a 180 °C en horno eléctrico con convección forzada (ZONDA, Argentina) durante 40 min, con agitación manual cada 10 min. La cocción prosiguió hasta que la mezcla se tornó dorada, como indicador de tostado adecuado. La granola se enfrió a 25 °C y se envasó en bolsas con cierre hermético tipo Ziploc y se almacenó a esa temperatura hasta el momento de consumo.

5.2.6. Análisis sensorial

Los ensayos sensoriales de alimentos son métodos científicos utilizados para evaluar las características organolépticas de los productos alimenticios mediante los sentidos humanos (Lawless y Heymann, 2010). Estos ensayos son fundamentales en la industria alimentaria para asegurar la calidad, consistencia y aceptabilidad de los productos. Se clasifican en tres categorías principales: ensayos discriminativos, descriptivos y afectivos. Los ensayos discriminativos determinan si existen diferencias perceptibles entre productos similares. Los ensayos descriptivos identifican y cuantifican las características sensoriales específicas de un alimento, proporcionando un perfil detallado de atributos como el sabor, aroma y textura. Los ensayos afectivos, que incluyen pruebas de aceptación y preferencia, miden la respuesta subjetiva de los consumidores, evaluando cuánto les gusta un producto o cuál prefieren entre varias opciones. Estos ensayos suelen involucrar paneles de consumidores no entrenados para reflejar mejor las percepciones

del mercado objetivo. La adecuada realización de estos ensayos requiere control riguroso de las condiciones ambientales y un diseño estadístico adecuado para asegurar resultados fiables y válidos.

Se evaluó la aceptabilidad sensorial de las frutas sin y con recubrimientos mediante un ensayo descriptivo utilizando una escala hedónica de 7 puntos, 1 (me disgusta mucho) y 7 (me gusta mucho), para seis características sensoriales. Dichas características sensoriales fueron determinadas por un panel de jueces no entrenados formado por 30 personas de edades entre 20 y 50 años. Estos participantes voluntarios fueron seleccionados en la Universidad Nacional del Chaco Austral, Argentina, y son consumidores de snacks de forma habitual como parte de su dieta (consumo mínimo de 1 vez por semana). En la Figura 5.5 se muestra la preparación del análisis sensorial. Para la evaluación de las muestras por parte de los panelistas, se colocaron las moras deshidratadas enteras y los snacks de pomelo y mamón en láminas. Se ubicaron 2 snacks sobre un plato de plástico para cada tipo de muestra. Las muestras se ordenaron al azar y se asignó un código de tres dígitos a cada una. Como neutralizante, se utilizó agua a temperatura ambiente para que los evaluadores se enjuaguen la boca entre cada prueba de muestra. Las muestras fueron catadas el mismo día de haber sido elaboradas.



Figura 5.5. Evaluación sensorial de las frutas de moras, mamón y pomelo sin y con recubrimiento deshidratadas

A partir de los resultados obtenidos, se calcularon los promedios de cada atributo sensorial con su respectiva desviación estándar para el análisis de aceptabilidad, obteniendo así un porcentaje de rechazo (puntaje 1, 2 y 3), de indiferencia (puntaje 4) y de aceptación (puntaje 5, 6 y 7). La ficha de evaluación se muestra en el Anexo 8.4. Se realizaron gráficos de frecuencia para determinar la aceptación y preferencia de los snacks frutales sin y con recubrimientos por parte de los consumidores. En el eje horizontal se presentó el puntaje de la escala hedónica y en el eje vertical la frecuencia o número de veces que cada puntaje fue elegido por los panelistas para describir la aceptabilidad global.

En el caso de la granola, se realizó una evaluación sensorial en el grupo de trabajo. Se llevó a cabo la técnica proyectiva asociativa denominada “Asociación de palabras” donde se consideran para el análisis todas las palabras, descripciones y asociaciones provistas por los participantes mediante sus respuestas. Los datos se analizaron utilizando el programa Word Art (<https://wordart.com>), donde se determinó su frecuencia y se creó una nube de palabras para cada muestra.

5.2.7. Análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos por triplicado en cada ensayo fueron tabulados y evaluados a través de análisis de varianza ANOVA, empleando diferencias mínimas significativas del test de Tukey como método de comparación múltiple, con un nivel de confianza del 95,0 %. Dicho análisis se realizó con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo y col., 2014).

En los ensayos de cinética de secado, los datos experimentales para M_0 fueron ajustados con un modelo lineal (Ec. 5.1), mientras que para P_0 y M_a fueron ajustados con un modelo de decaimiento exponencial (Ec. 5.2) usando el software OriginPro (versión 8.5, Origin Lab Corporation, Northampton, MA, EE.UU.).

$$y = ax \quad (\text{Ec. 5.1})$$

$$y = e^{(-Ax)} \quad (\text{Ec. 5.2})$$

5.3. Resultados y discusión

5.3.1. Selección de las condiciones de secado de las frutas

El contenido de humedad de las frutas a recubrir es elevado por lo que, luego de aplicar el recubrimiento, es necesaria su deshidratación a una temperatura que asegure la obtención de productos con sabor, color y textura adecuados, además de ser microbiológicamente aptos. Con el objetivo de seleccionar la temperatura de secado de las frutas de moras y láminas de mamón y pomelo se realizaron ensayos a 55 °C, 60 °C y 65 °C durante 8 h. En la Figura 5.6 se observa el aspecto visual de las frutas deshidratadas obtenidas y la Tabla 5.2 muestra los valores de pérdida de humedad a cada temperatura ensayada.

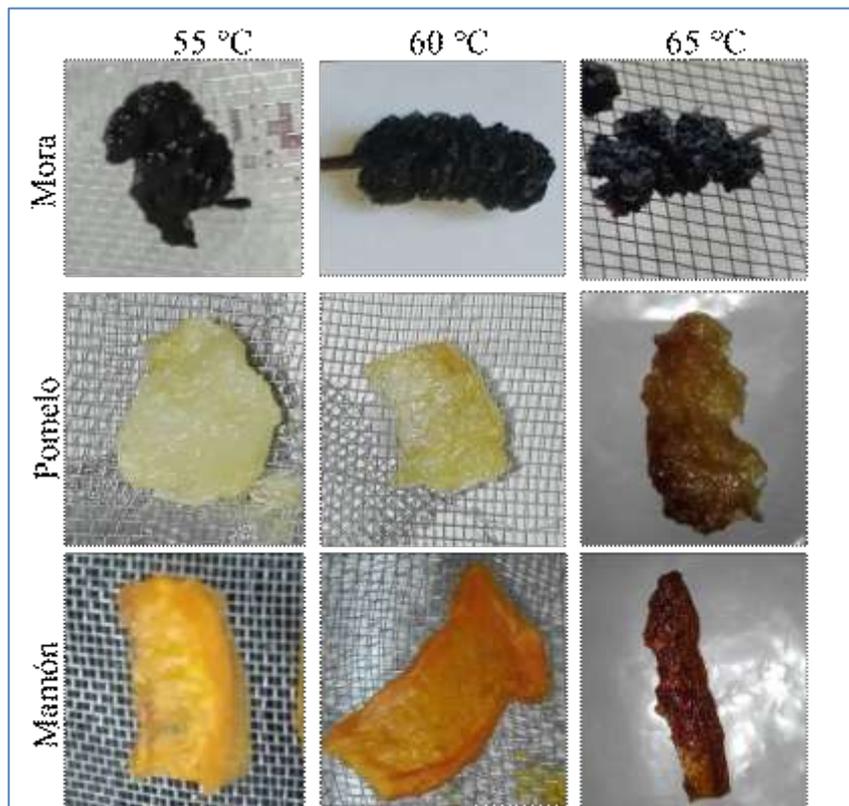


Figura 5.6. Imágenes de mora, mamón y pomelo deshidratados a 55 °C, 60 °C y 65 °C durante 8 h.

Tabla 5.2. Valores de pérdida de humedad de mora, mamón y pomelo luego de la deshidratación a 55 °C, 60 °C y 65 °C durante 8 h, respecto a las frutas congeladas.

Muestra	Pérdida de humedad (%)		
	55 °C	60 °C	65 °C
Mo	37,6±1,9	77,2±0,6	88,0±0,6
Po	43,3±2,1	81,0±2,4	87,9±8,7
Ma	65,7±1,2	82,1±2,3	85,5±0,4

Como se observa en la Figura 5.6, las frutas de moras secadas a 55 °C mostraban pérdida de jugo, aún luego del secado. Esto pudo deberse a la deshidratación incompleta de la fruta, denotada por una baja pérdida de humedad (Tabla 5.2). En cambio, las muestras deshidratadas a mayores temperaturas presentaron valores de pérdida de humedad superiores a 80 %, coincidiendo con lo establecido en bibliografía para un secado óptimo de frutas (Santagata y col., 2018, Vidinamo y col., 2021). Sin embargo, las moras secas a 65 °C presentaban al tacto un aspecto seco y duro, además de una disminución importante en su tamaño. En cambio, en moras secadas a 60 °C no se observó presencia de jugo y conservaron su aspecto original. Además, la a_w de estas muestras fue de $0,37 \pm 0,0$, asegurando un producto microbiológicamente apto ($a_w < 0,6$), por lo que se consideró esta temperatura de secado como la más adecuada para moras.

Por su parte, las láminas de pomelo secadas a 55 °C presentaron coloración blanca (similar a la fruta fresca) y presencia de jugo en algunas láminas, evidenciando una deshidratación incompleta (Figura 5.6 y Tabla 5.2). En cambio, si bien alcanzaron una humedad final similar a 60 °C y 65 °C (Tabla 5.2), ambas muestras se diferenciaron en el aspecto visual ya que las láminas deshidratadas a 65 °C mostraron una coloración marrón menos aceptable. El color de las frutas deshidratadas puede estar influenciado por reacciones de pardeamiento enzimático y no enzimático. Respecto a las reacciones de Maillard, durante el secado de las frutas pueden formarse productos intermediarios como el furfural y el 5-hidroximetilfurfural debido a las condiciones de calor y pH bajo (Richter Reis y col., 2022), particularmente en el caso del pomelo. Por lo tanto, se optó por la temperatura de secado de 60 °C, a la cual el pomelo presentó un a_w de $0,51 \pm 0,00$.

Por otro lado, las láminas de mamón a 55 °C (Figura 5.6) mostraron un color menos anaranjado respecto a la fruta fresca, con una pérdida de humedad similar a las otras frutas. Como en los casos anteriores, se seleccionó la temperatura de 60 °C para mamón

ya que produjo láminas con color y textura al tacto adecuadas, además de un a_w ($0,43 \pm 0,01$) que asegura la vida útil del producto. Otros estudios sobre deshidratación de frutas también emplearon dicha temperatura para el proceso de secado (García y col., 2014, Sakooei -Vayghan y col., 2020, Sette y col., 2017).

A modo de ejemplo, la Figura 5.7 muestra la disminución de tamaño luego del proceso de secado de las tres frutas a 60 °C. La mora disminuyó su longitud en 40 %, mientras que el pomelo y el mamón registraron una disminución aproximada de 30 % en su longitud.

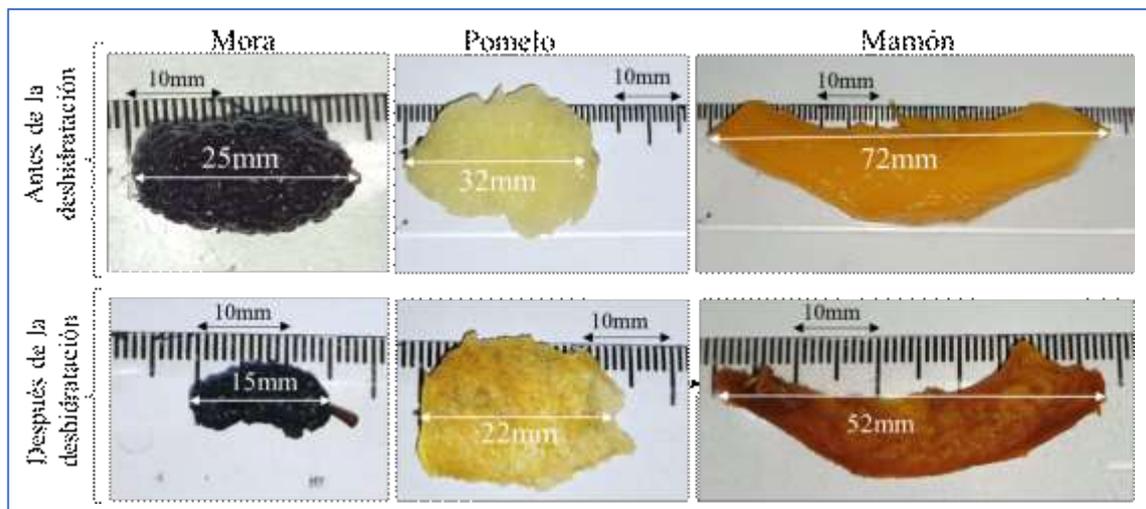


Figura 5.7. Aspecto visual y tamaño de las frutas antes y después de la deshidratación a 60 °C.

Durante este proceso, el agua migra desde las células internas del alimento a través de las paredes y membranas celulares antes de difundirse hacia el medio de secado a través de una estructura porosa. Las tensiones microestructurales inducidas por los gradientes de humedad provocan contracción y deformación en el producto. A medida que los espacios anteriormente ocupados con agua se vacían y se rellenan con aire, el tejido puede contraerse porque no puede mantener su grilla estructural. Por lo tanto, la reducción de tamaño o contracción observada en las frutas deshidratadas es debida a los cambios en la porosidad del tejido durante el proceso de secado. Como consecuencia, el efecto de endurecimiento es el resultado de la contracción de la superficie y la migración de sólidos disueltos hacia el alimento (Panyawong y Devahastin, 2007). La modificación estructural que sufren las frutas se manifiesta particularmente en el secado por convección (Márquez y De Michelis, 2008) ya que, por ejemplo, en la liofilización, el estado sólido del agua

protege la estructura primaria y la forma del producto, minimizando la reducción de volumen (Bhatta y col., 2020).

5.3.2. Evaluación de la pérdida de peso en función del tiempo

La cinética de secado en alimentos es un campo crucial en la industria alimentaria, ya que afecta directamente la calidad, seguridad y vida útil de los productos. Comprender este proceso es fundamental para optimizar los métodos de secado y conservación de alimentos. La velocidad y eficiencia del secado influyen en la textura, sabor, color y valor nutricional de los productos finales. Esto es especialmente importante en la producción de alimentos deshidratados, como frutas, vegetales y carne, donde el control preciso del contenido de humedad es esencial para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad del producto.

La Figura 5.8 muestra las modificaciones morfológicas y del color de las tres frutas durante el ensayo de deshidratación y en la Figura 5.9 se muestran las curvas de secado obtenidas para cada fruta.

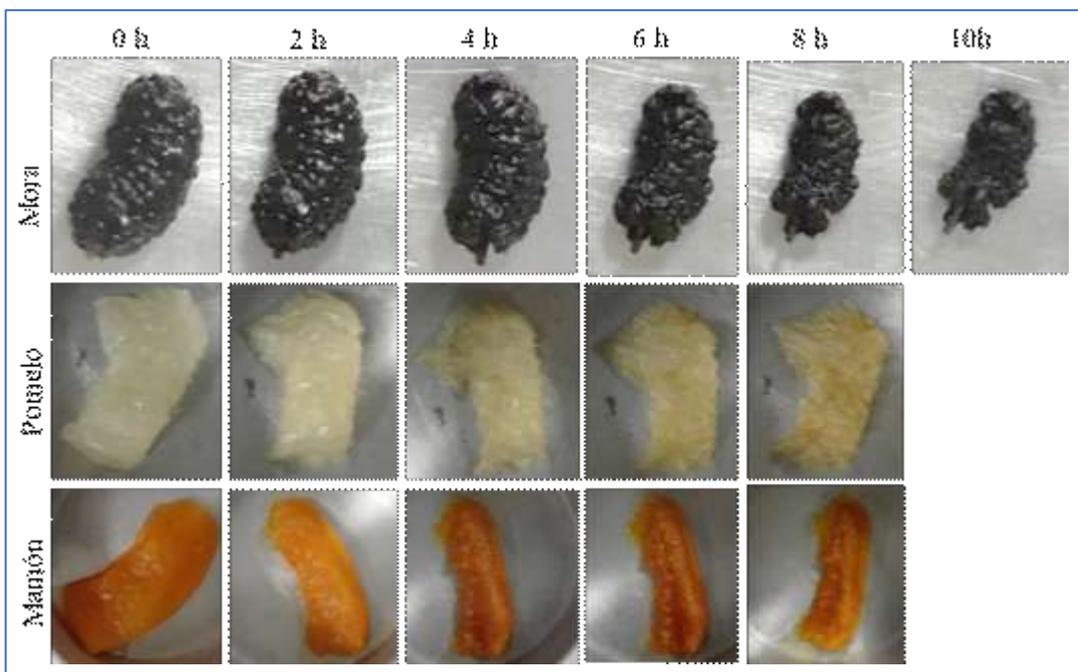


Figura 5.8. Imágenes de las frutas deshidratadas durante el ensayo de pérdida de peso en función del tiempo.

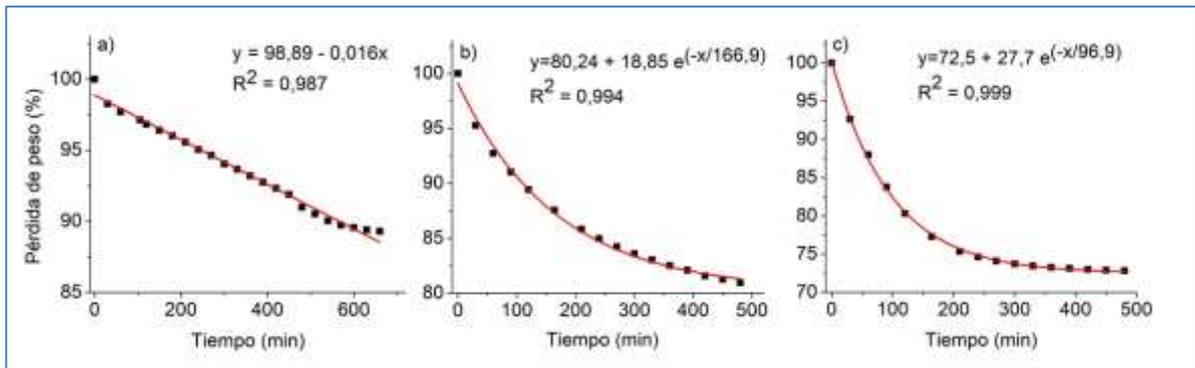


Figura 5.9. Curvas pérdida de peso en función del tiempo para frutas cortadas en láminas. (a) Mora, (b) Pomelo, (c) Mamón.

Las líneas rojas continuas representan el modelo teórico y los puntos son los datos experimentales.

Los resultados indican que las moras (Figura 5.9a) siguieron una cinética de secado lineal ($R^2 = 0,987$) con una pérdida de peso progresiva y constante. Por el contrario, la cinética de pérdida de peso para pomelo ($R^2 = 0,994$) y mamón ($R^2 = 0,999$) siguió un perfil de decaimiento exponencial (Figura 5.9b y 5.9c) indicando que la mayor pérdida de masa sucede durante las primeras etapas del secado, especialmente en el mamón. Estas diferencias en los perfiles de pérdida de agua podrían deberse a diferencias en las estructuras de los tejidos de las frutas y al grado de ligamiento del agua a dichas estructuras. Para el caso de moras el efecto de la temperatura sobre la estructura no sería tan marcado como para mamón y pomelo donde se produce una importante pérdida de agua en las primeras etapas.

5.3.3. Pérdida de humedad durante el tiempo de secado

En la Figura 5.10 se observa el comportamiento de la pérdida de humedad en función del tiempo de secado a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las tres frutas ensayadas. En moras (Figura 5.10a) se observa una abrupta pérdida de humedad durante los primeros 50 min del secado para luego hacerse más lenta y gradual hasta los 630 min donde se alcanza una pérdida de humedad final de $73,7 \pm 2,9\%$. En cambio, en láminas de pomelo (Figura 5.10b) y mamón (Figura 5.10c) se observa una importante pérdida de humedad hasta los 300 min y posteriormente un comportamiento casi constante con una pérdida de humedad final de $82,5 \pm 0,6\%$ y $81,1 \pm 2,4\%$ a las 8h para pomelo y mamón, respectivamente. Algunos autores (Sakoei-Vayghan y col., 2020) establecen que el secado de frutas debe asegurar una pérdida de humedad de 80% .

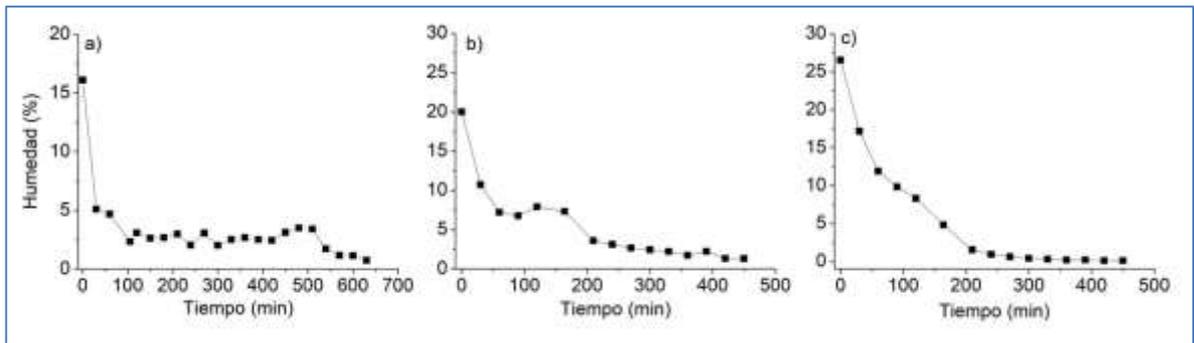


Figura 5.10. Curvas de pérdida de humedad en función del tiempo para (a) Mora, (b) Pomelo, (c) Mamón

Considerando las curvas de pérdida de peso (Figura 5.9) y las curvas de pérdida de humedad en función del tiempo (Figura 5.10), se establecieron los tiempos totales de deshidratación en 10 h para moras y 8 h para pomelos y mamones.

5.3.4. Recubrimiento de las frutas de moras y láminas de pomelo y mamón con matrices bioactivas

En la Figura 5.11 se observa la apariencia de las frutas sin (SR) y con recubrimientos (RC y R10JPo) luego del proceso de deshidratación. Al igual que los sistemas control, las tres frutas recubiertas presentaron una disminución del tamaño original, producto de la deshidratación. No se observaron diferencias en forma visual respecto al tamaño de las frutas deshidratadas, ya sea sin o con aplicación de ambos recubrimientos. Respecto a la textura, se percibió al tacto una mayor dureza en las láminas de mamón respecto a la mora y al pomelo, tanto en las frutas recubiertas como en las sin recubrir. Además, se observó que las matrices de almidón de mandioca, glicerol y miel sin y con jugo de pomelo otorgaron brillo en la superficie de las frutas y no alteraron su color comparadas con su control. Cabe destacar que la miel, probablemente por su baja concentración, no aportó pegajosidad a ninguna de las frutas recubiertas.

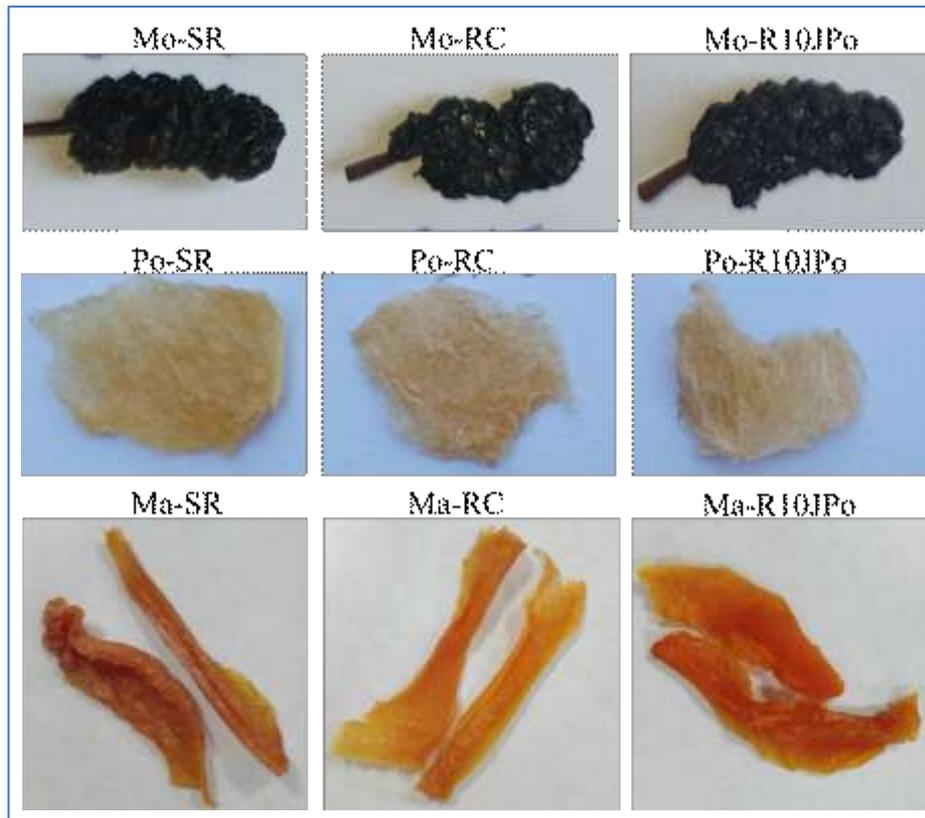


Figura 5.11. Frutas de moras (Mo) y láminas de pomelo (Po) y mamón (Ma) sin recubrir (SR) y recubiertas con matrices de almidón de mandioca, glicerol y miel sin (RC) y con 10 % p/v de jugo de pomelo (R10JPo), deshidratadas a 60 °C durante 8 h (Po y Ma) y 10 h (Mo).

Por otro lado, las características reológicas de la matriz de jugo de pomelo (Capítulo 4A) permitieron su rápida aplicación en las frutas en forma homogénea. Si bien no se determinó la medida en las frutas recubiertas, se observó un espesor de recubrimiento regular luego de un tiempo de aplicación suficiente (5 min) como para cubrir por completo la superficie de las frutas. Santagata y col. (2018) observaron diferencias, a nivel de microestructura, en la distribución de recubrimientos a base de pectina y miel sobre la superficie de manzanas, atribuyendo ese comportamiento a la permeación de las soluciones en la estructura porosa de las frutas. Probablemente, en las tres frutas estudiadas pudo ocurrir permeación debido a la porosidad de las diferentes estructuras en cada una de ellas.

5.3.5. Caracterización fisicoquímica de las frutas recubiertas deshidratadas

En la Tabla 5.3 se presentan las coordenadas de color de las frutas sin y con recubrimientos, antes y después del secado. En esta tabla se incluye el control de las frutas congeladas sin deshidratar (MoC, PoC y MaC). Se observa que, en moras, los valores de luminosidad aumentaron, probablemente por el aporte del tono blanquecino por parte del recubrimiento de almidón sobre la superficie de la fruta. Por otro lado, las moras contienen pigmentos, las antocianinas, que son los responsables de su color púrpura característico. Durante la deshidratación, estos pigmentos tienden a degradarse y perder su color debido a reacciones enzimáticas y de oxidación (Belhadj Slimen y col., 2017, Groeneveld y col., 2023). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en los valores de las coordenadas a^* y b^* de los snacks de moras luego de la deshidratación de la fruta ni con la aplicación de los recubrimientos

En pomelos, la luminosidad aumentó considerablemente luego del secado respecto al control (PoC) y se mantuvo luego de recubrirlos con ambas matrices. Durante la deshidratación se producen cambios en la estructura celular y morfología del tejido de las frutas deshidratadas, produciendo disminución de opacidad, degradación de pigmentos y cristalización de azúcares, contribuyendo a la fotodegradación de los pigmentos y al aumento de luminosidad (Groeneveld y col., 2023). Las coordenadas a^* y b^* del pomelo aumentaron en comparación con el control congelado, pero sin diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los snacks ensayados. Los cambios de color por las reacciones de Maillard (Lund y Ray., 2017) y el aumento de concentración de pigmentos presentes en la fruta durante la deshidratación, condujo a un aumento en la coordenada a^* (hacia el rojo) y en b^* (hacia el amarillo).

Tabla 5.3. Color de las frutas congeladas y snacks de mora (Mo), pomelo (Po) y mamón (Ma), en estados congelados (C), deshidratados sin recubrimiento (SR), con recubrimiento control (RC) y con recubrimiento de jugo de pomelo (R-10JPo).

Muestra	L*	a*	b*	ΔE
MoC	23,3±2,2 ^a	2,3±1,3 ^a	0,7±0,3 ^b	
Mo-SR	39,9±0,7 ^{bc}	0,8±0,4 ^a	0,1±0,3 ^{ab}	16,6 ± 0,6 ^{ab}
Mo-RC	42,9±2,0 ^c	1,8±0,3 ^a	0,2±0,3 ^{ab}	19,6 ± 2,0 ^b
Mo-R10JPo	38,3±2,3 ^b	1,1±0,5 ^a	0,0±0,1 ^a	15,0 ± 2,3 ^a
PoC	55,2±0,7 ^a	-4,1±0,4 ^a	6,4±0,8 ^a	
Po-SR	70,65±1,0 ^b	2,8± 0,9 ^b	27,8±0,7 ^b	27,2 ± 0,9 ^a
Po-RC	72,3±1,5 ^b	2,4±0,5 ^b	24,2±1,1 ^b	25,8 ± 0,9 ^a
Po-R10JPo	73,2±0,7 ^b	2,0±0,5 ^b	25,3±2,5 ^b	26,8 ± 1,5 ^a
MaC	46,0±0,6 ^a	5,3±0,4 ^a	30,4±1,3 ^c	
Ma-SR	54,0±0,8 ^c	13,0±1,1 ^b	22,7±1,9 ^b	13,5 ± 2,0 ^a
Ma-RC	51,4±0,2 ^b	12,3±0,9 ^b	19,6±1,8 ^{ab}	14,0 ± 1,1 ^a
Ma- R10JPo	46,1±0,4 ^a	12,1±1,0 ^b	16,0±1,3 ^a	15,9 ± 0,9 ^a

Letras minúsculas diferentes indican, para cada parámetro y para cada tipo de fruta, diferencias significativas ($p < 0,05$).

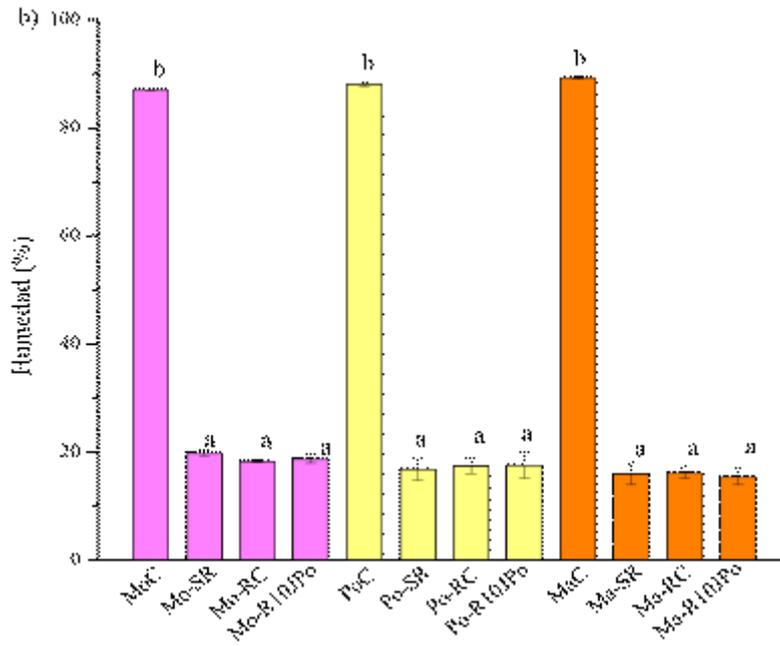
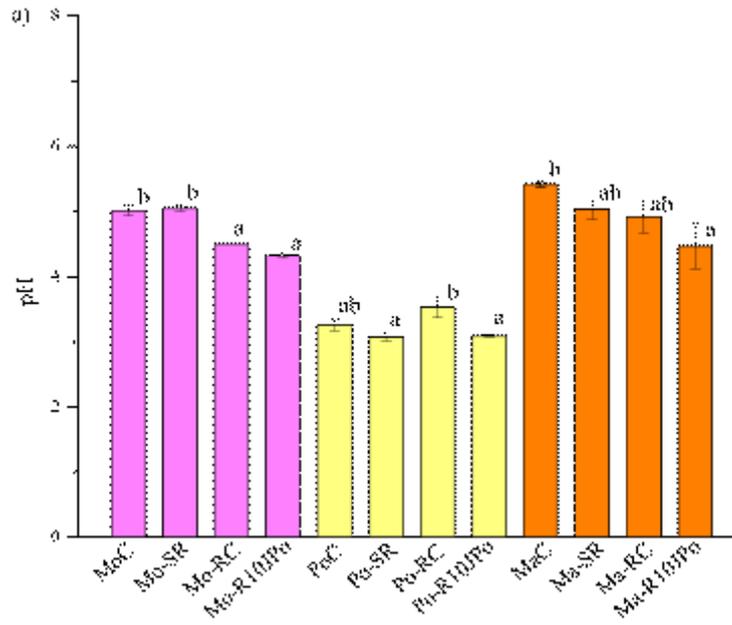
En el caso del mamón se observa que el proceso de secado disminuyó el valor de b^* ($p < 0,05$) en las frutas sin y con recubrimiento (Ma-SR, Ma-RC y Ma-R10JPo) respecto a la fruta congelada sin deshidratar (MaC) (Tabla 5.3). Esto puede ser debido a la disminución de carotenoides, pigmentos responsables del color naranja-amarillo, los cuales durante el secado y las altas temperaturas pueden degradarse (Cardoso Reis y col., 2018). En cambio, Canizares y Mauro (2015) observaron una disminución de la coordenada a^* luego del secado de papayas recubiertas con una solución de pectina y deshidratadas a 60 °C, mientras que el valor de b^* se mantuvo sin cambios significativos. Estas diferencias respecto al presente estudio pueden ser atribuidas a la presencia de jugo de fruta y miel en el recubrimiento de almidón, lo que podría producir interacciones con los carotenoides. De acuerdo a Dhall y col. (2013), el efecto de barrera del recubrimiento podría dificultar la transferencia de oxígeno y evaporación del agua durante el secado.

Esto podría producir cambios en la estructura de los carotenoides, contribuyendo a la disminución de la coordenada b^* .

Los cambios más comunes que se presentan en el color de las frutas se atribuyen a reacciones de pardeamiento y a la degradación natural de pigmentos debido al calor del secado (Lund y Ray., 2017, Cardoso Reis y col., 2018, Somjai y col., 2021). Cuando se utilizan escaldado, deshidratación osmótica y métodos de secado suaves se logra una mejora en el color de la fruta (Richter Reis y col., 2022). Sin embargo, como ya se mencionó, se debe evaluar la relación costo-beneficio del proceso de acuerdo al tipo de fruta y su posterior aplicación en la industria de alimentos.

La Figura 5.12 muestra la variación de los parámetros físicoquímicos de las frutas sin y con recubrimientos, antes y después del secado. En estos gráficos se incluye el control de las frutas congeladas sin deshidratar (MoC, PoC y MaC). Respecto al pH (Figura 5.12a), se observó una tendencia a disminuir en las frutas recubiertas respecto a los controles (frutas congeladas y deshidratada sin recubrir). En el caso de mamón, esta diferencia fue significativa ($p < 0,05$) entre la fruta congelada (MaC) y la deshidratada recubierta con JPo. El sistema Po-R10JPo también presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) con el Po-RC. El incremento de acidez observado en los sistemas con recubrimiento con jugo pomelo es importante desde el punto de vista microbiológico para la conservación de frutas, a diferencia del mamón que en estado fresco presenta un pH elevado, al igual que la mora.

Los valores de H (Figura 5.12b) y a_w (Figura 5.12c) de todas las frutas deshidratadas sin y con recubrimiento disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) respecto a cada control congelado, al igual que aquellas sin recubrir. Todos los snacks presentaron valores de a_w menores de 0,6 (rango 0,37 - 0,51), por lo que pueden considerarse como sistemas aptos desde el punto de vista microbiológico y con potencial mayor vida útil. Garcia y col. (2014) hallaron un valor de a_w similar (0,5) en papayas recubiertas con una solución de pectina y deshidratadas a 60 °C, si bien obtuvieron valores de humedad menores (12,5 %) que en el presente trabajo (20 %), todos los snacks se adecúan a valores de humedad establecidos en el Código Alimentario Argentino para frutas deshidratadas con una humedad inferior a 25 %.



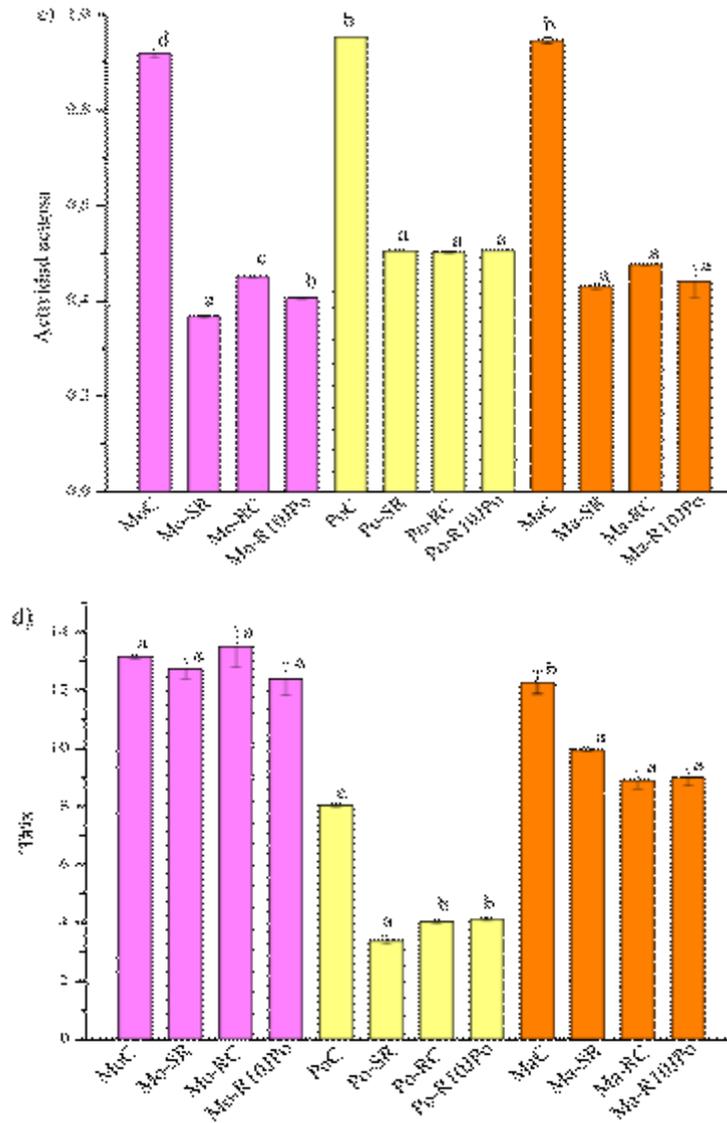


Figura 5.12. Parámetros fisicoquímicos de frutas antes y después de la deshidratación, sin y con recubrimientos. a) pH, b) Humedad, c) a_w , d) °Brix.

Letras minúsculas diferentes indican, para los sistemas con cada tipo de fruta, diferencias significativas ($p < 0,05$).

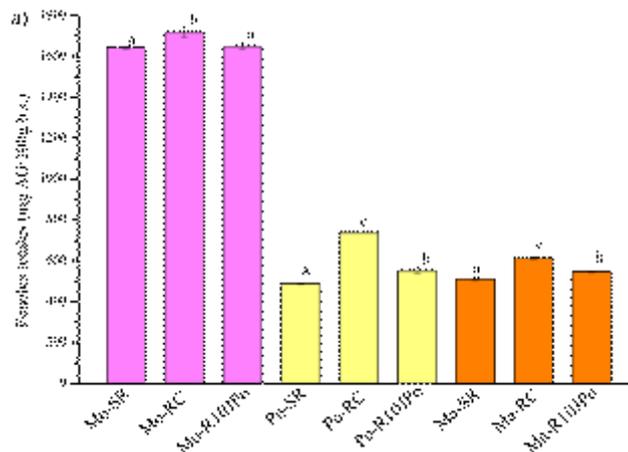
En el caso de los °Bx (Figura 5.12d), se hallaron valores menores ($p < 0,05$) para pomelo y mamón respecto a sus controles congelados (PoC y MaC, respectivamente). Las moras no modificaron sus valores de °Bx en los sistemas con recubrimientos, lo que podría deberse principalmente a que la mora está en formato de fruta entera, por lo que el contenido de sólidos solubles durante la congelación y el secado se mantuvo estable sin manifestar cambios importantes. Aunque durante el secado la mora perdió gran parte de su contenido de agua, la cantidad de azúcares no se vio afectada. Esto puede ser una

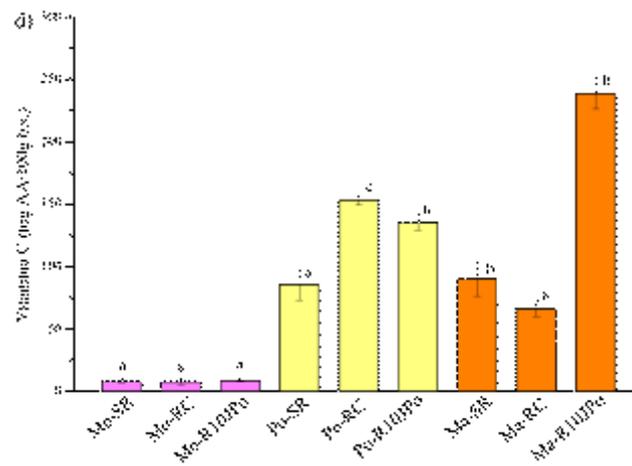
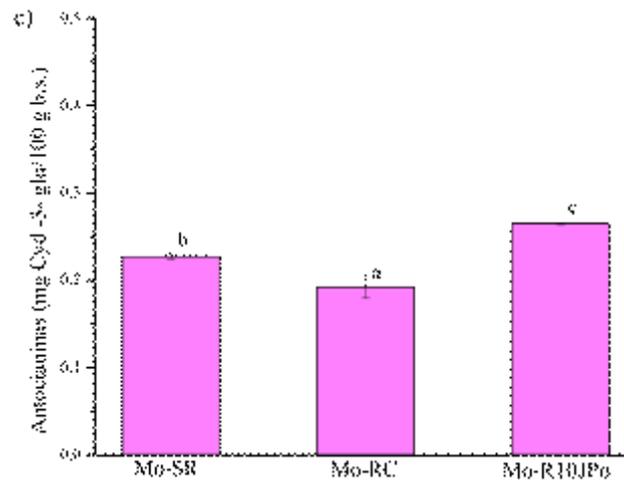
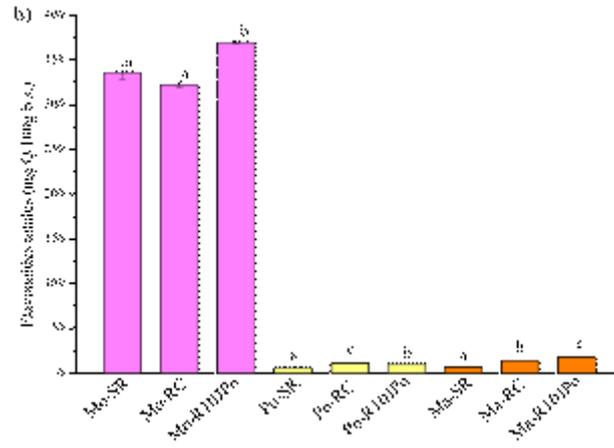
característica deseable porque permitiría conservar las propiedades y el perfil de sabor en las moras deshidratadas.

5.3.6. Caracterización funcional de las frutas deshidratadas

Los compuestos bioactivos estudiados y la capacidad antioxidante de las frutas deshidratadas se observan en la Figura 5.13. El contenido de polifenoles y flavonoides de pomelos y mamones recubiertos con las matrices RC y R10JPo aumentó significativamente ($p < 0,05$) respecto del control SR (Figura 5.13a y 5.13b), demostrando una mayor protección de bioactivos en las frutas recubiertas. En cambio, los compuestos en las moras recubiertas mostraron comportamientos diferentes según el tipo de recubrimiento aplicado. El contenido de polifenoles no se modificó al recubrir las moras con R10JPo, en cambio, aumentó en forma significativa ($p < 0,05$) con la matriz RC (Figura 5.13a). El comportamiento inverso se observó en el contenido de flavonoides (Figura 5.13b), mientras que el nivel de antocianinas disminuyó al recubrir las moras con RC y aumentó con el recubrimiento R10JPo. Si bien las diferencias fueron significativas ($p < 0,05$), los valores obtenidos para cada compuesto estuvieron en un rango similar para cada tratamiento de la fruta (SR, RC y R10JPo).

El contenido de vitamina C fue bajo en frutas de moras con y sin recubrimientos, mientras que para pomelo y mamón aumentó para el recubrimiento RC y R10JPo, respectivamente. Los compuestos carotenoides no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para las tres muestras de mamón.





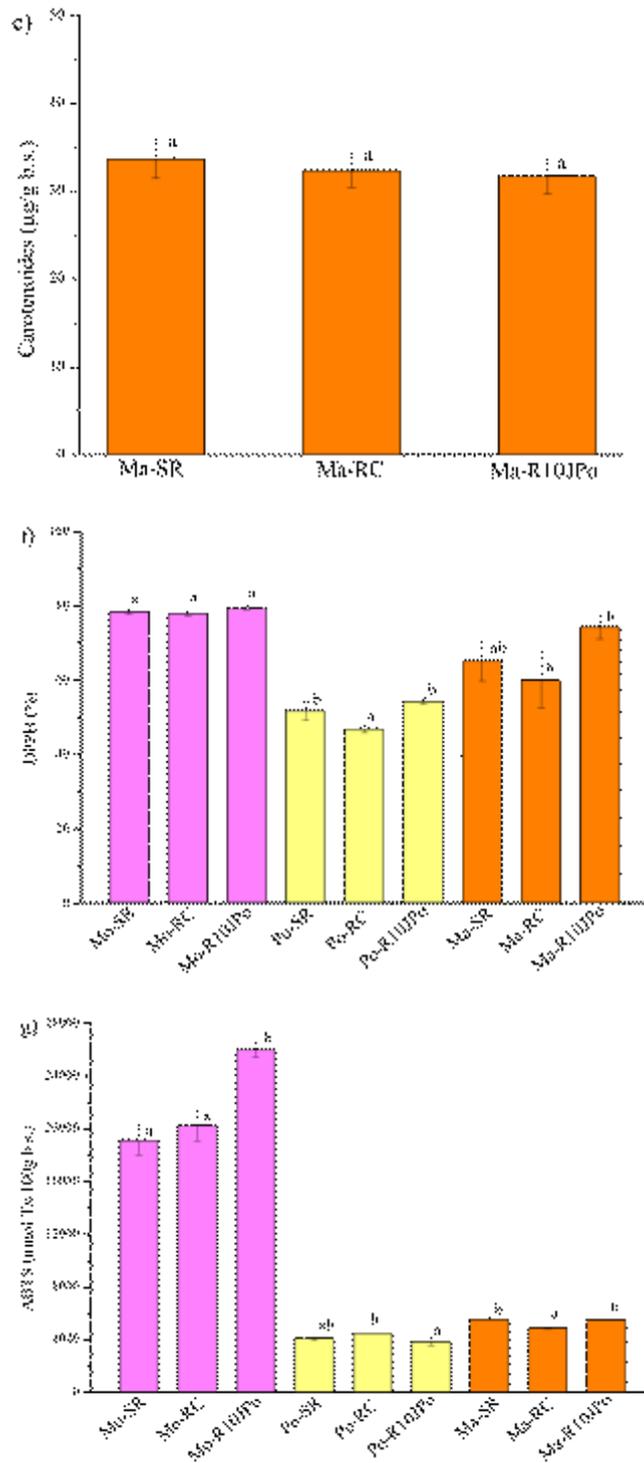


Figura 5.13. Contenido de compuestos bioactivos: a) polifenoles totales, b) flavonoides totales, c) antocianinas totales, d) ácido ascórbico, e) carotenoides, y capacidad antioxidante total medida por: f) DPPH, g) ABTS, de los snacks frutales sin (SR) y con recubrimientos (RC y R10JPo).

Letras minúsculas diferentes indican, para los sistemas con cada tipo de fruta, diferencias significativas ($p < 0,05$).

La vitamina C, puede degradarse fácilmente mediante fotooxidación, reacciones de oxidación térmica y catalización por enzimas (Roidoung y col., 2016). Por esta razón, la vitamina C se utiliza a menudo como un indicador de calidad de los procesos alimentarios (Santos y Silva, 2008). Santagata y col. (2018), probaron recubrimientos de pectina-miel en frutas deshidratadas y mostraron la eficiencia en el aumento de retención de vitamina C en las rebanadas de fruta tratadas.

En Mo no hubo diferencias entre aquellas recubiertas con la matriz RC, R10JPo y el control en la actividad antioxidante medida por el % de inhibición del radical DPPH•. La capacidad antioxidante medida por el método ABTS presentó valores más altos para Mo recubiertas con R10JPo. Los Ma-RC y Ma-R10JPo presentaron una mejor protección para estos compuestos, llegando a valores de 96,6 y 97,4 %, respectivamente, comparados con los valores obtenidos para la fruta congelada, mientras que en Po, los recubrimientos RC protegieron alrededor de un 44,3 % los valores originales de antioxidantes medidos por ABTS.

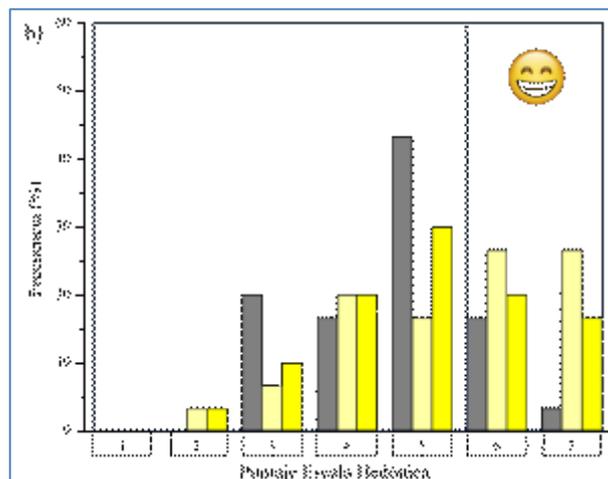
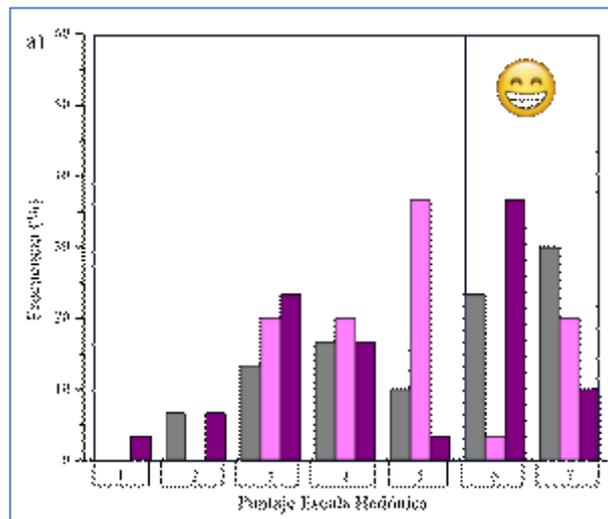
Perez-Vazquez y col. (2023) estudiaron el uso de recubrimientos comestibles para mejorar la vida útil de frutas y verduras. Las interacciones entre la matriz recubrimiento y la fruta expuesta al calor genera la protección de los compuestos sensibles a las condiciones de secado. Después del secado, el recubrimiento es capaz de preservar a las frutas deshidratadas de reacciones oxidativas, inducidas por el agua, responsables de los cambios estructurales y el deterioro de las propiedades (Blancas-Benitez y col., 2022). Este resultado depende de la interacción física entre la superficie del fruto y la solución a base de polisacáridos, ya que ocurren interacciones físicas entre grupos polares de frutas y la solución formadora de recubrimientos, lo que marca la eficiencia de la matriz como capa protectora (Pandya y col., 2023).

Para la elaboración de los snacks en este trabajo se utilizaron las frutas congeladas que fueron caracterizadas en sus compuestos bioactivos en la sección 4.1.1.3 (Capítulo 4A).

5.3.7. Análisis sensorial de las frutas recubiertas

Dependiendo de su presencia y cantidad, los compuestos volátiles afectan las características organolépticas de los frutos deshidratados, así como su percepción sensorial siendo los responsables de su sabor y aroma únicos (Santagata y col., 2018).

La Figura 5.14 muestra la frecuencia de puntaje de aceptabilidad global de los snacks frutales sin y con recubrimientos evaluada por el panel. En el caso de las moras, se puede observar que los tres sistemas evaluados presentaron frecuencias del tipo bimodal (Figura 5.14a). De los sistemas recubiertos, la Mo-R10JPo obtuvo la mayor frecuencia en la escala de puntaje de aceptabilidad (6 - 7), lo que significa que el 46,7 % de los panelistas aceptaron globalmente el producto. En cambio, la Mo-RC presentó baja frecuencia (23,3 %) de preferencia global. En el caso del control Mo-SR, obtuvo un 55 % de aceptación global.



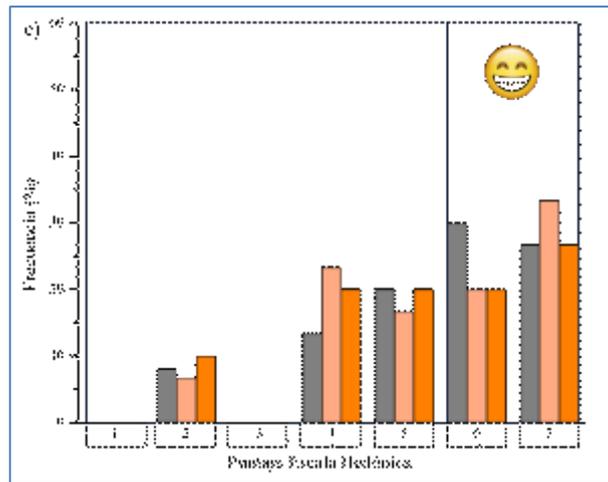


Figura 5.14. Frecuencia de puntaje de aceptabilidad global de los snacks frutales.

- a) Mo-SR (■), Mo-RC (■), Mo-R10JPo (■)
- b) Po-SR (■), Po-RC (■), Po-R10JPo (■)
- c) Ma-SR (■), Ma-RC (■), Ma-R10JPo (■)

Por otro lado, el sistema Po-RC (Figura 5.14b) fue el más destacado ante los evaluadores, presentando la mayor frecuencia de aceptabilidad (53,3 %), seguido por el Po-R10JPo (36,6 %). En cambio, en el Po-SR los panelistas optaron por puntajes menores en la aceptabilidad global. En el caso del Ma (Figura 5.14c), los consumidores percibieron como mayormente aceptables al Ma-SR, seguido por Ma-RC, si bien ambos mostraron una frecuencia similar (56,7 y 53,3 %, respectivamente). En cambio, el sistema Ma-R10JPo presentó un puntaje de 46,7 %, denotando una buena aceptabilidad global del producto.

Las características evaluadas en las frutas recubiertas se dividieron en dos grupos de tres y cinco características. El primero de los grupos corresponde a los atributos de aspecto general, olor y color y el segundo grupo corresponde a crocancia, gomosidad, dulzor, acidez y aceptabilidad global. En la Figura 5.15 se observa el puntaje recibido para cada atributo evaluado en las frutas recubiertas. El aspecto general y el color fue aceptable (rango 5, 6 y 7), en todas las muestras. El color es uno de los atributos visuales principales que influyen en la aceptación, percepción y calidad de un alimento (Dhall, 2013). Un color atractivo y natural en las frutas deshidratadas genera una mejor impresión inicial por parte de los evaluadores. Otro aspecto a tener en cuenta respecto a la preservación del color es que indica que los compuestos bioactivos se han mantenido durante el proceso de elaboración, sin degradación de los pigmentos, además de los que

se puedan haber generado por reacciones de Maillard. Un color atractivo asegura que el producto sea seleccionado y consumido.

Los consumidores evaluaron como aceptable el atributo dulzor en Mo-SR, probablemente los recubrimientos enmascararon el sabor dulce en Mo-RC y Mo-R10JPo. El dulzor es uno de los atributos sensoriales principales que determinan el sabor de las frutas, si la fruta deshidratada pierde el dulzor característico, puede resultar insípida y menos aceptable. Ahmad y col. (2024) analizaron las variaciones en el contenido de azúcares y la percepción de dulzor en mango deshidratado, haciendo referencia a la disminución del sabor dulce en procesos de deshidratación.

Además, la acidez fue aceptable en Mo-SR y Mo-RC, y la aceptabilidad global solo en Mo-SR. La acidez actúa como un factor de conservación, y conjuntamente con el dulzor, permite resaltar los sabores característicos de las frutas y crear una percepción de frescura. Como se observó en la sección 5.3.5, el pH de las frutas (Figura 5.12a) disminuyó para snacks frutales con recubrimientos, confirmando la mayor aceptabilidad en Mo-SR, las cuales no cambiaron la acidez respecto del producto fresco.

En los demás atributos (olor, crocancia y gomosidad) se observaron valores correspondientes al rango de indiferencia. Los frutos de mora no presentan características aromáticas destacables y el aporte de ambos recubrimientos conteniendo la miel no logró que se le otorgaran puntajes de aceptación (mayor a 5). Respecto a los atributos de crocancia y gomosidad, es sabido que la mora es una fruta de textura delicada y puede ser afectada por los diferentes procesamientos aplicados. Los procesos de congelación, almacenamiento congelado y posterior descongelación debilitaron la estructura de las moras, causando una pérdida de turgencia y firmeza (Figura 4.5, Capítulo 4 A). Si bien las frutas fueron luego recubiertas y deshidratadas, no se logró una textura crocante como la que buscaban los evaluadores en este tipo de productos snack.

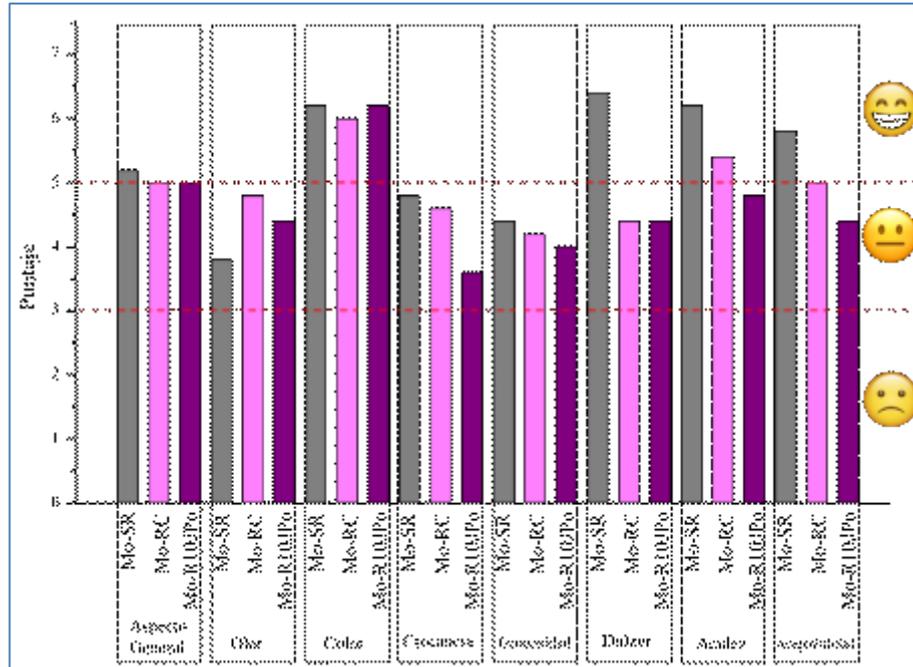


Figura 5.15. Puntaje promedio obtenido en la evaluación sensorial de moras (Mo) deshidratadas sin recubrir (SR) y recubiertas (RC y R10JPo).

En snacks frutales de pomelo (Figura 5.16), el aspecto general del control Po-RC y de Po-R10JPo generaron aceptación, al igual que el olor de la formulación recubierta con RC y el color con R10JPo, mientras que el olor del control SR causó indiferencia (rango 3 - 5). En el segundo grupo, el control Po-SR fue aceptado en acidez y el recubrimiento Po-RC en dulzor. Mientras que la crocancia y la gomosidad fueron percibidas como aceptables en ambos recubrimientos y para el control Po-SR fue indiferente. Estos resultados reflejan mayor preferencia por las láminas de pomelo recubiertas con la formulación RC, que en general, combinaron aspecto, olor, gomosidad, crocancia y dulzor, tendiendo a ser más preferidos por los evaluadores.

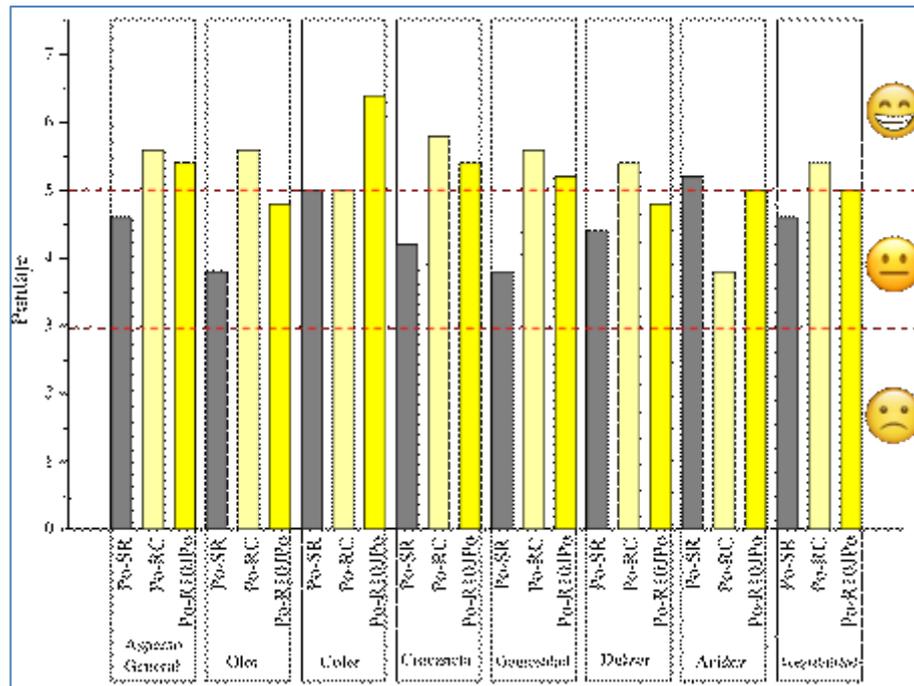


Figura 5.16. Puntaje promedio obtenido en la evaluación sensorial de pomelos (Po) deshidratados sin recubrir (SR) y recubiertos (RC y R10JPo).

En el mamón, se observaron puntajes mayores para todas las muestras en la mayoría de los atributos evaluados, excepto en la crocancia y en la gomosidad (Figura 5.17). El color y el dulzor, los tres atributos del primer grupo estuvieron en el rango de la aceptación (5, 6 y 7), por otro lado, tanto para el control como para las láminas recubiertas con la formulación RC y R10JPo, los atributos crocancia y gomosidad estuvieron dentro de la indiferencia (3 - 5) mientras que los demás atributos del segundo grupo fueron aceptados.

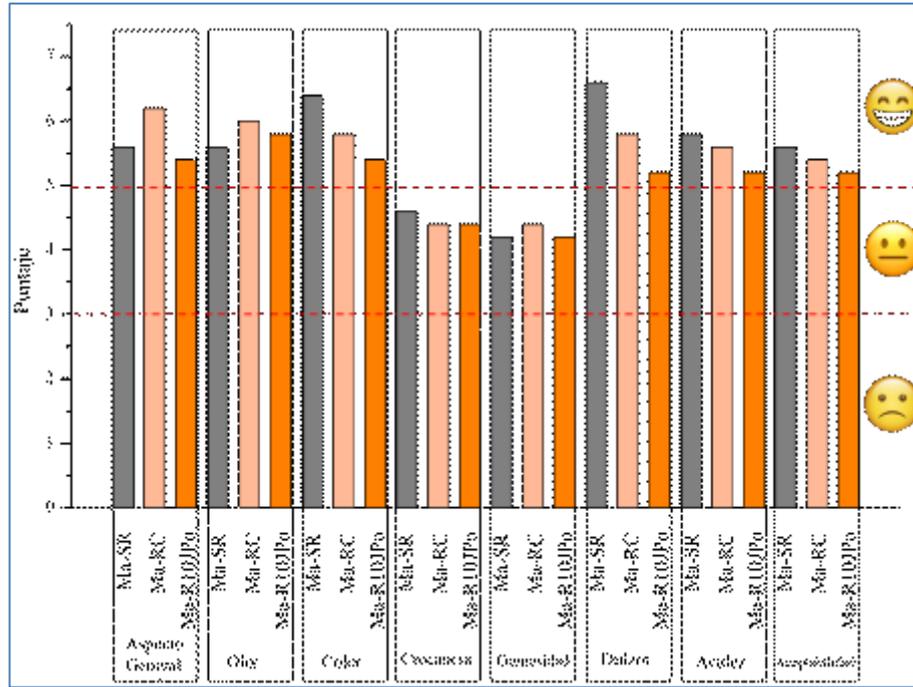


Figura 5.17. Puntaje promedio obtenido en la evaluación sensorial de mamones (Ma) deshidratados sin recubrir (SR) y recubiertos (RC y R10JPo).

Por lo tanto, el mamón es la fruta que presentó mayor aceptabilidad por parte de los evaluadores en sus tres presentaciones: sin recubrir y recubiertos con las matrices sin y con jugo de pomelo.

5.3.8. Aplicaciones de las frutas recubiertas y deshidratadas en la elaboración de granola

La Figura 5.18 muestra la granola obtenida con la incorporación de las frutas de mora y láminas de mamón y pomelo recubiertas con R10JPo y deshidratadas. Visualmente, las granolas presentaron uniformidad en el color dorado, aportado por la miel y los diferentes ingredientes de la formulación durante la cocción. Además, la trituración permitió un tamaño de los copos y trozos de fruta homogéneos. Se observó la identificación clara de los diferentes componentes de la formulación.



Figura 5.18. Imágenes de la granola con frutas de mora y láminas de mamón y pomelo recubiertas con R10JPo deshidratadas.

Por otro lado, la Figura 5.19 muestra la nube de palabras con los resultados obtenidos de la encuesta de la granola. Se registró un total de 29 palabras correspondientes a las asociaciones, tanto positivas como negativas, mencionadas por los participantes. Como asociaciones positivas declaradas por el mayor porcentaje de las personas se halló “crocante” (n=8), “sabor a miel” (n=5), “sabor a maní” (n=4), “dulce” (n=4), como así también “color dorado” y “ricos” (n=2), tanto por los frutos secos, como por su asociación con el desayuno. Además, los participantes mencionaron la asociación “ácido” (n=2), probablemente debido a la presencia de láminas de pomelo. Particularmente, los snacks de Po-R10JPo aportaron una acidez justa combinando el sabor de los demás ingredientes y resaltando el dulzor.



Figura 5.19. Nube de palabras registradas en el análisis sensorial de la granola.

Las granolas fueron aceptables y agradables, promoviendo una posible aplicación de las frutas recubiertas en el desarrollo de snacks frutales, como se verá en el siguiente Capítulo 5B. Souza y Silva (2013), elaboraron granolas a partir de frutas de cajú y almendras, copos de avena, castaña de cajú tostada, nueces y pasas negras. Estos autores obtuvieron valores de contenido de humedad entre 57 - 72 % y actividad acuosa entre 0,3 - 0,4, con aptitud microbiológica. Si bien, en el presente trabajo, no se realizaron caracterizaciones fisicoquímicas, las condiciones de secado de las granolas, fueron las mismas que en dicho trabajo. De esta manera, se puede inferir que el proceso de elaboración de granolas cumpliría con las condiciones de preservación, si bien son necesarios los ensayos para confirmarlo.

Por otro lado, Talens y col. (2012), aplicaron recubrimientos comestibles en ananá parcialmente deshidratado para su uso en productos de fruta y cereales. Evaluaron diferentes tipos de recubrimientos como goma arábica, almidón de maíz y metilcelulosa, en términos de su efecto sobre la calidad y la vida útil de la fruta deshidratada. Estos autores obtuvieron resultados positivos en la retención de humedad y firmeza del ananá deshidratado en comparación con las muestras sin recubrimiento, además los productos de ananá-cereal que contenían ananá recubierto obtuvieron buena aceptación por parte de los consumidores.

5.4. Conclusiones parciales

Se aprovecharon las frutas congeladas (mora, pomelo y mamón), las cuales habían perdido su textura original debido al almacenamiento congelado, para generar snacks deshidratados. A fin de mejorar las cualidades organolépticas y el valor nutricional de las frutas se aplicaron los recubrimientos activos, a base de almidón de mandioca, miel y jugo de pomelo, desarrollados en esta tesis, sobre las frutas en formato de fruta entera para mora y en láminas para pomelo y mamón.

Previo al recubrimiento, la evaluación del proceso de secado determinó que las condiciones óptimas de operación fueron 60 °C durante 8 h para pomelo y mamón, y 10 h para mora, resultando en una pérdida de humedad adecuada sin comprometer el color y la textura de las frutas. El método de inmersión constituyó un método sencillo y eficaz para recubrir las frutas. Las características reológicas de la matriz de jugo de pomelo permitieron su rápida aplicación en las frutas en forma homogénea, mostrando uniformidad de espesor de la matriz en la superficie de las frutas. La deshidratación de las frutas recubiertas permitió obtener snacks con humedad y actividad acuosa que minimizan su riesgo microbiológico.

Los recubrimientos de jugo de pomelo mejoraron la retención de compuestos bioactivos como polifenoles y flavonoides en pomelos y mamones recubiertos, como así también la capacidad antioxidante de las frutas deshidratadas, sin alterar el color de las frutas. En cambio, los compuestos bioactivos en las moras recubiertas mostraron comportamientos diferentes según el tipo de recubrimiento aplicado.

En el análisis sensorial, las frutas que presentaron mayor aceptabilidad por parte de los evaluadores fueron los mamones en sus tres presentaciones: sin recubrir y recubiertos con las matrices sin y con jugo de pomelo. Por otro lado, las láminas de pomelo recubiertas con la formulación sin jugo fueron preferidos debido al aspecto, olor, gomosidad, crocancia y dulzor logrados a través del tratamiento de recubrimiento con posterior secado.

Los resultados demostraron que el uso de recubrimientos activos a base de pomelo en frutas deshidratadas puede ser una estrategia eficaz para producir snacks saludables con alta aceptación por parte de los consumidores. Ello se atribuyó principalmente al dulzor de la miel y las frutas, además del color atractivo de las láminas de mamón y pomelo.

5. B. SNACKS A BASE DE CEREALES, FRUTAS Y SEMILLAS

5. B. SNACKS A BASE DE CEREALES, FRUTAS Y SEMILLAS

5.5. Aplicación de las frutas recubiertas y matrices desarrolladas en un alimento a base de cereales

En la etapa final de la tesis, el objetivo fue diseñar y elaborar 2 tipos de snacks funcionales utilizando los materiales y matrices desarrolladas a fin de lograr un alimento con ingredientes naturales, sin aditivos ni conservantes artificiales. En este capítulo se detalla el tratamiento previo de los ingredientes y las características fisicoquímicas, funcionales, de textura, sensoriales y microbiológicas de los snacks desarrollados.

Actualmente, el diseño de snacks puede ser un proceso complejo ya que debe satisfacer los gustos y expectativas cambiantes de los consumidores y, a su vez, crear un producto único que sea atractivo para una amplia variedad de personas. La ventaja del uso de ingredientes naturales y saludables como las frutas es que sigue la línea de las últimas tendencias, particularmente del público vegetariano y vegano. Por otro lado, es importante satisfacer la demanda de productos aptos para celíacos (sin TACC), que sean saludables y económicos, ya que en general este tipo de alimentos son de alto costo (Oyarzún y col., 2015).

En el diseño de los snacks se tuvo en cuenta la utilización de cereales típicos en esta clase de alimentos, como copos de maíz y arroz inflado, como así también semillas de quinoa y amaranto de la región norte de nuestro país. El resto de ingredientes utilizados fueron aquellos desarrollados en los capítulos anteriores:

- Matriz de almidón de mandioca, glicerol y miel sin (FC) y con jugo de pomelo (F10JPo) (Capítulo 4A).
- Láminas de frutas de mamón y pomelo recubiertas deshidratadas (Capítulo 5A).

Se seleccionó la matriz F10JPo como recubrimiento debido a sus características reológicas y funcionales. Como aglutinantes se emplearon la miel y la matriz de almidón gelatinizado (F0) por sus características de adherir los componentes de la formulación.

5.6. Materiales y métodos

5.6.1. Selección de la materia prima

En la Tabla 5.4 se muestra la formulación de un snack base y de un snack frutal. a base de cereales, semillas, frutas y miel. Los copos de maíz sin azúcar, arroz inflado y semillas de quinoa y amaranto fueron provistos por la dietética Grandiet (Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco). Se empleó la matriz formulada en el Capítulo 4A, con 4 % p/v de almidón

de mandioca, 1,5 % p/v de plastificante (25 - 75 % glicerol-miel) y 10 % p/v de jugo de pomelo (JPo) denominada en este capítulo de aquí en adelante R10JPo. Además, esta matriz se incorporó como aglutinante, al igual que la miel, y como recubrimiento del snack frutal debido a sus propiedades reológicas y funcionales, como se evaluó en los Capítulos 4A y 4B.

Tabla 5.4. Tipo y cantidad de materia prima utilizados para la formulación de los snacks funcionales.

Materia prima	Snack base	Snack frutal
	(%)	(%)
Arroz inflado	18,2	13,5
Copos de maíz	54,5	40,1
Amaranto	9,1	6,5
Quinoa	9,1	6,5
Miel	-	22,9
Matriz SF0	9,1	-
Matriz R10JPo	-	6,5
Láminas de mamón RD	-	2,0
Láminas de pomelo RD	-	2,0

F0: Matriz de almidón gelatinizado (4 % p/v), R10JPo: Matriz de recubrimiento almidón, glicerol, miel y 10% de jugo de pomelo, RD: recubiertas deshidratadas

Las proporciones de los ingredientes utilizadas se basó en formulaciones de bibliografía (Coello y col., 2022, Momanyi y col., 2020, Sun-waterhouse y col., 2010). Los cereales, semillas y laminados de frutas deshidratadas se tomaron como fase sólida en la preparación. La miel y el agua de la solución gelatinizada de almidón con jugo de pomelo se tomaron como fase líquida y material ligante, resultando una proporción fase sólida/líquida de 77/23. Asimismo, se agregaron láminas de mamón y pomelo, elaboradas en el Capítulo 5A, debido a sus características de dulzor y acidez, respectivamente, que fueron aceptables en la evaluación sensorial. Por otro lado, la muestra control se formuló sin frutas ni miel agregada y se utilizó como aglutinante la suspensión de almidón gelatinizado sin plastificantes (SF0).

5.6.2. Tratamiento de las semillas de quinoa y amaranto

Previo a la elaboración de los snacks, las semillas de quinoa fueron tratadas para eliminar ciertas características de dureza, mejorando así la textura, y algunos componentes como las saponinas que afectan la calidad nutricional u organoléptica del producto final.

En el caso de la quinoa, el CAA establece: *“Las semillas que se comercialicen envasadas en ausencia del cliente, listas para ofrecerlas a los consumidores, deberán llevar en la cara principal del rótulo con caracteres de buen realce, visibilidad y con tamaño no inferior a 2 mm la leyenda “Lavar hasta eliminación de espuma”. No apto para el consumo crudo, cocer previo a su consumo”*. Con el fin de facilitar la extracción de saponinas se recomienda una etapa previa de remojo de las semillas. De esta forma, se produce la hidratación de las semillas lo que permite que el agua penetre en su interior, facilitando así la liberación de las saponinas por difusión (Nickel y col., 2016, Torrez Irigoyen y Giner, 2018). En el presente trabajo se realizó un remojo de las semillas, con posterior lavado y enjuague final. Luego, las muestras se sometieron a diferentes tratamientos térmicos (cocción en agua, secado y “popeo”) para lograr la textura, color y aroma deseados en la quinoa para su inclusión en el snack.

El remojo de las semillas de quinoa se realizó utilizando una proporción 1:8 quinoa: agua (Sciammaro y col., 2018) durante 2 h. Luego, se llevó a cabo un primer lavado en agua a 25 °C durante 15 min. Posteriormente, se realizó otro lavado en agua a 60 °C por 15 min con agitación, hasta eliminar la espuma como lo establece el CAA. Esta temperatura fue seleccionada a partir de la bibliografía (Nickel y col., 2016, Torrez Irigoyen y Giner, 2018, Vega-Gálvez y col., 2010) debido a la mayor extracción de saponinas a 60 °C. Por último, se realizó un enjuague en agua a 25 °C, dejando luego escurrir la quinoa lavada a través de una malla.

Luego, la quinoa previamente lavada fue sometida a cuatro tratamientos térmicos:

Q1: Secado en estufa de convección forzada a 80 °C durante 115 min.

Q2: Q1 + “popeo” en un recipiente de aluminio durante 5 min a fuego directo en hornalla.

Q3: Q1 + “popeo” con recubrimiento de aceite de girasol (Natura, Argentina) sobre la superficie.

Q4: Cocción a 98 °C durante 15 min en abundante agua + enfriamiento con agua a 25 °C + Q1.

El recubrimiento de aceite facilita el sellado de humedad en el interior de las semillas y al calentarse aumenta la presión desde el centro hasta romper violentamente la cáscara, dando un producto inflado y de menor dureza que las semillas originales. Luego de los tratamientos se dejó enfriar las semillas y se determinó el contenido de agua de cada muestra, ya que este parámetro determina ciertas características de textura deseadas en el producto final. Además, se midió la actividad acuosa para determinar un posible riesgo microbiológico de los granos tratados. Finalmente, las semillas tratadas se almacenaron en bolsas con cierre hermético hasta el momento de su utilización.

Respecto a las semillas de amaranto, se trata de granos pequeños de cáscara dura y relleno amiláceo, de color blanco, ámbar pálido, amarillo o castaño muy pálido, opacos o translúcidos (CAA, 2022), por lo que el tratamiento térmico de “popeo” resulta beneficioso para mejorar su textura y color. Este tratamiento se realizó bajo dos condiciones: las semillas (A0) se tostaron durante 5 min en un recipiente de aluminio a fuego directo en hornalla, sin (A1) y con (A2) recubrimiento de aceite de girasol. Esta operación se realizó en porciones sucesivas de 10 g cada una para asegurar el calentamiento homogéneo de cada porción y lograr el “popeo” sin que se adhieran las semillas entre sí. Una vez realizado el tratamiento, se determinó el contenido de agua y la actividad acuosa de cada muestra. Luego, los granos de amaranto tratados se almacenaron en bolsas con cierre hermético hasta su utilización.

5.6.3. Elaboración de los snacks

En la Figura 5.20 se observa el proceso para obtener los snacks funcionales. Esta etapa fue controlada y realizada en un tiempo máximo de 30 min para evitar la absorción de humedad e hinchamiento de los cereales durante la elaboración, ya que componentes como la miel y las matrices aportan agua. Ello conduciría a un mayor tiempo de secado, además de modificar la textura del producto final.

Para la preparación de los snacks, los copos de maíz y el arroz inflado se trituraron ligeramente con una procesadora (Liliana, Argentina) para disminuir el tamaño y facilitar la unión de los materiales. Luego, se colocaron en un recipiente de plástico y se agregaron las semillas de amaranto y quinoa, previamente tratadas y los laminados de pomelo y mamón reducidos en tamaño con cuchillo. Luego, se mezclaron los ingredientes con cuchara de metal y se incorporaron los aglutinantes: miel y matriz R10JPo (para el snack frutal) y la matriz de almidón gelatinizado al 4 % p/v (para el snack base).

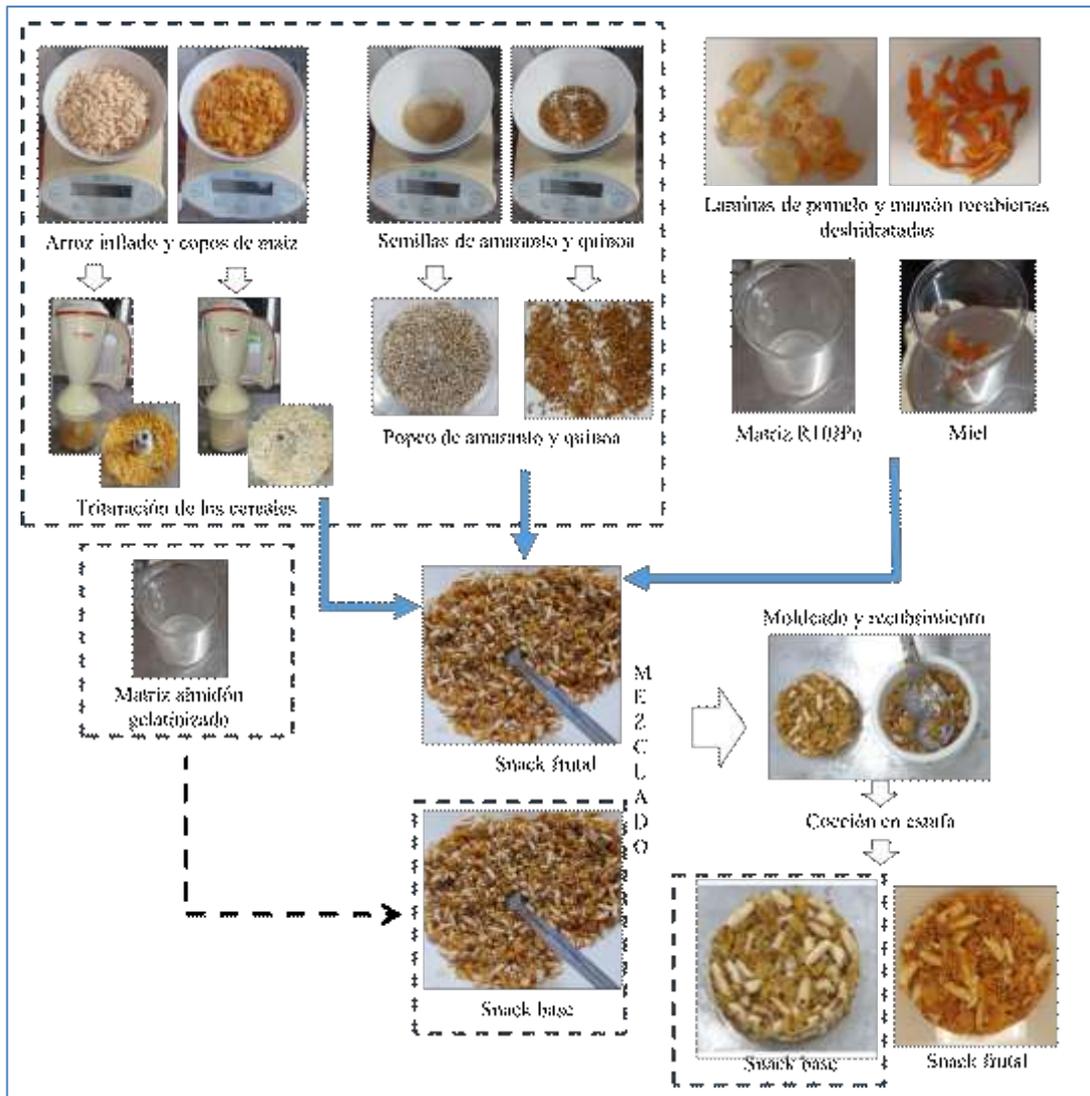


Figura 5.20. Etapas de la elaboración de los snacks sin y con frutas recubiertas deshidratadas.

Para el moldeo del snack se usó un cortador plástico de pasta tipo circular N° 6 de 55 mm de diámetro interno y 20 mm de altura. Se cargaron aproximadamente 20 g de material en el interior de los moldes y se aplastaron con cuchara retirando el cortador y formando un snack circular.

Por último, cada snack fue recubierto con la misma matriz utilizada como aglutinante. Para esto, se utilizó una cuchara, se volcó una porción de aproximadamente 5 g de solución y se realizaron movimientos circulares a fin de formar una fina capa superior en el snack. Inmediatamente los snacks se llevaron a cocción como se explica en la siguiente sección.

5.6.4. Cocción de los snacks

Para determinar el tiempo de cocción del alimento formulado se prepararon dos bandejas: una con 6 muestras de snack frutal y la otra con 6 muestras del snack base. Dichas bandejas se ingresaron a cocción en estufa de convección forzada (DALVO CHR/F/I, Argentina) a 140 °C y se ensayaron dos tiempos de cocción (30 y 50 min), tomando como referencia el trabajo de Giraldo Pineda y col. (2021). Una vez cocidos, todos los snacks se dejaron enfriar a 25 °C y se guardaron en envases plásticos durante 24 h en heladera a 2°C. De esta manera, se logró la estabilización de la humedad de cada formulación. Todas las muestras se conservaron en bolsas tipo Ziploc ® herméticamente cerradas a 25 °C.

5.6.5. Caracterización fisicoquímica de los snacks

5.6.5.1. Determinación de color

A fin de seleccionar el tiempo de cocción adecuado se determinó el contenido de agua y la actividad acuosa de las muestras, según lo descrito en el Capítulo 2, Materiales y Métodos (secciones 2.2.1.2.3 y 2.2.1.2.4 respectivamente). El color superficial de los snacks se caracterizó con las coordenadas de color del espacio CIELab obtenidas tal como lo describe Lazaridou y col. (2004) utilizando el programa Photoshop (v6.0, Adobe Systems Inc., San José, CA). El software utiliza una escala, que varía de 0 a 255, para caracterizar la Luminosidad (L), así como los valores de a y b. Para convertir estos parámetros a L*, a* y b* se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$L * = \frac{L}{255} \times 100 \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$a * = \frac{240 \times a}{255} - 120 \quad (\text{Ec. 5.4})$$

$$b * = \frac{240 \times b}{255} - 120 \quad (\text{Ec. 5.5})$$

5.6.5.2. Determinación de textura

La textura es una de las características más importantes que determinan la preferencia de los consumidores en productos tipo snack, siendo el método de TPA el más adecuado para su determinación ya que imita el proceso de masticación (Kim y col., 2009). La textura de los snacks fue evaluada directamente en las muestras tal cual como se

obtuvieron de los moldes, utilizando un texturómetro (CT3-4500, Brookfield Engineering Laboratories, Middleboro, MA, EE. UU.).

Los snacks por quintuplicados fueron sometidos a dos ciclos de compresión del 15 %, las curvas de fuerza vs tiempo fueron obtenidas a una velocidad de 0,5 mm/s con una probeta plana de 50 mm de diámetro (TA25/1000). Se determinó la dureza, elasticidad, adhesividad, cohesividad y masticabilidad. Este último parámetro se calcula como el producto de la dureza \times elasticidad \times cohesividad (Szczesniak, 2002).

5.6.5.3. Determinación de la composición proximal

Para realizar las medidas los snacks fueron convertidos en un polvo fino y homogéneo, para lo cual se trituraron tres muestras de ambas formulaciones (snack frutal y base). La molienda se realizó en molino de acero inoxidable (TECNO DALVO, Argentina) efectuando 25 pulsadas de 15000 rpm en tiempos de no más de 40 s, logrando un polvo homogéneo de la muestra (Figura 5.21). Las muestras de snacks se utilizaron directamente después de ser trituradas.



Figura 5.21. Molienda de los snacks funcionales

Se determinaron proteínas, lípidos, cenizas e hidratos de carbono totales, al igual que el contenido de agua descripto previamente, siguiendo la metodología de la AOAC (2000). El contenido de fibra dietética se estimó por diferencia: $100 - (\% \text{ proteínas} + \% \text{ grasa} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ hidratos de carbono} + \% \text{ contenido de agua})$. Además, se determinó el contenido de sodio por el método AOAC 977.29 (1979).

5.6.5.3.1. Determinación de nitrógeno total y proteínas

El contenido de nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl en un digestor y destilador (ICSA, Argentina) y el contenido de proteínas se calculó utilizando un factor de conversión de 5,83 según lo propuesto por Coello y col. (2022) para snacks de cereales. Los resultados se expresaron % de nitrógeno y de proteína en base a materia seca (bs).

Este método se basa en la digestión de la muestra en caliente (350 - 380 °C) en medio sulfúrico y en presencia de un catalizador. Con el objetivo de romper los enlaces de nitrógeno en la muestra y convertir al nitrógeno orgánico en iones amonio (NH_4^+), se realiza una destilación mediante la adición de NaOH al 40 % v/v. Así, los iones NH_4^+ se convierten en amoníaco (NH_3), el cual es arrastrado al vaso receptor para ser absorbido por una solución de H_3BO_3 al 4 % v/v. Por último, se realiza una titulación con HCl 0,05N. Los resultados se obtuvieron mediante la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 0,014 \times 100}{\frac{P_m}{d}} \quad (\text{Ec. 5.6})$$

$$\%P = \%N \times 5,83 \quad (\text{Ec. 5.7})$$

Donde % N y % P corresponden al porcentaje de nitrógeno y proteína. V_1 y V_2 son el volumen gastado en mL de la muestra y del blanco, N es la normalidad del HCl, P_m es el peso inicial de la muestra y d es el factor de dilución.

5.6.5.3.2. Determinación de hidratos de carbono

Se pesó $1,00 \pm 0,05$ g de muestra en un vaso de precipitados y se disolvió en 10 mL de agua Milli-Q. Luego, se agregaron 13 mL de ácido perclórico (52 % v/v) con agitación durante 20 min en baño a 40 °C. Se agregó una parte de agua Milli-Q, se dejó enfriar y se filtró recogiendo el líquido en un matraz de 250 mL y enrasando hasta el aforo con ese mismo solvente. Por otro lado, se preparó el reactivo de Clegg disolviendo 0,05 g de Antrona en 50 mL de una solución de ácido sulfúrico (74 % v/v) con posterior agitación en vórtex, ebullición durante 12 min y enfriamiento del reactivo.

Para determinar el contenido de hidratos de carbono de los snacks se tomó 1 mL de diferentes diluciones de la muestra y se agregó 5 mL de reactivo de Clegg, leyendo las absorbancias de las muestras a 630 nm en un espectrofotómetro UV-Vis Evolution 600 (Thermo Scientific, Waltham, EE.UU.). En forma similar se procedió utilizando como

muestra agua Milli-Q (blanco) y una solución patrón de glucosa (0,001 % p/v). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. El porcentaje de glucosa en la muestra se determinó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Carbohidratos totales disponibles} = \frac{25 \times b}{a \times w} \times \text{factor de dilución} \quad (\text{Ec. 5.8})$$

Donde:

w= peso corregido en g de la muestra

a= absorbancia del estándar diluido.

b= absorbancia de la muestra diluida menos la absorbancia del blanco.

5.6.5.3.3. Determinación de lípidos

Previo a la extracción en equipo Soxhlet se secó el material (balones y cartuchos) en estufa a 100 °C por 30 min, se retiraron y dejaron enfriar en desecador. Se pesó por duplicado $2 \pm 0,1$ g de muestra y se llevó al extractor. Para la extracción, se agregó en los vasos, 75 mL de éter de petróleo y estos se colocaron en la placa calefactora durante 2,5 h en un proceso de ebullición, lavado y recupero. Una vez terminado el proceso, se calculó el porcentaje de lípidos, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{P_2 - P_1}{P_3} \times 100 \quad (\text{Ec. 5.9})$$

P₁=Peso del balón vacío en g

P₂=Peso del balón con residuo lipídico en g

P₃=Peso de la muestra en g

5.6.5.3.4. Determinación de sodio

La muestra se preparó pesando $0,05 \pm 0,01$ g de cenizas provenientes de su determinación en los snacks (según el método descrito en el Capítulo 2, sección 2.2.1.1.6). Se trasvasó dicha muestra con 2 porciones de 10 mL de agua Milli-Q a un vaso de precipitados, se agregó 5 mL de HCl concentrado y se llevó a ebullición suave durante 5 min con el vaso tapado con un vidrio de reloj, se dejó enfriar y se filtró directamente a un matraz de 100 mL enrasando con agua Milli-Q.

Las mediciones se realizaron en un fotómetro (Jenway, Models PFP7 and PFP7/C, Inglaterra) contra un blanco de agua MilliQ (punto decimal 00.00 de extinción). Se realizó una curva de calibración a partir de diluciones seriadas de una solución patrón de cloruro de sodio (0,1 % p/v). Las determinaciones se realizaron por triplicado. El valor del contenido de sodio en las muestras se expresó en mg por cada 100 g de muestra.

5.6.5.4. Etiquetado frontal de los snacks

Se realizó el análisis para asignar un rótulo al producto de acuerdo a las disposiciones vigentes sobre el etiquetado frontal de alimentos (Ley N° 27.642, Promoción de la Alimentación Saludable, 2021). Para ello, se consideró el procedimiento descrito en el Manual de Aplicación de Rotulado Nutricional Frontal (2021). Para el cálculo de la relación nutrientes/energía se utiliza la siguiente fórmula:

$$(\text{Azúcares añadidos} \times 4 \times 100) / \text{Calorías} = (\%) \quad (\text{Ec. 5.10})$$

De acuerdo a dicho manual, se toma como referencia que la miel aporta 82 % de azúcares en su composición. Para el cálculo de calorías se considera que cada gramo de azúcar contiene 4 kcal/g.

5.6.5.5. Propiedades funcionales

Se determinaron los fenoles y flavonoides totales y la actividad antioxidante por DPPH y ABTS del snack frutal y su respectivo control utilizando los métodos descritos en el Capítulo 2, sección 2.2.1.1.8.

5.6.5.6. Análisis microbiológico

Para este ensayo, los snacks se retiraron del horno de cocción, se enfriaron, se envasaron en bolsas estériles selladas al vacío y se conservaron a 20 °C. Se tomaron muestras al día 1 y al día 30 de almacenamiento.

Se llevaron a cabo análisis para identificar mesófilos, mohos y levaduras, coliformes totales y *Salmonella* spp. (ICMSF, International Commission on Microbiological Specifications of Foods, 2018). Se preparó una solución inicial tomando 10 g de muestra, triturando y adicionando 90 mL de solución salina estéril (0,9 % p/v), homogenizando durante 3 min. Luego, se realizaron diluciones seriadas tomando 0,1 mL de la solución

inicial y transfiriendo a tubos con 9,0 mL de solución salina estéril, procediendo así hasta la dilución 10^{-4} .

Método del número más probable (NMP): Las muestras se sembraron por triplicado en tubos con caldo: agua 1:1 (dilución baja), 1: 5 (dilución media), 1: 50 (dilución alta). Se incubaron 24 h a 37 ± 1 °C y se expresaron los resultados como NMP/g de muestra.

5.6.5.7. Análisis sensorial

Se evaluó la aceptabilidad sensorial de los snacks mediante una escala hedónica con un panel de jueces no entrenados formado por 52 personas de edades entre 20 y 50 años (metodología detallada en el Capítulo 5A, sección 5.2.6.). La ficha de evaluación se muestra en el Anexo 8.4. Durante el ensayo, una porción de cada tipo de muestra se colocó en un plato de plástico. Las muestras se ordenaron al azar y se asignó un código de tres dígitos a cada una. Como neutralizante, se utilizó agua a temperatura ambiente para que los evaluadores se enjuaguen la boca entre cada prueba (Figura 5.22). Las muestras fueron catadas dentro de los 5 días posteriores de haber sido elaboradas.

La escala utilizada fue: 1 (me disgusta mucho) y 7 (me gusta mucho).



Figura 5.22. Imágenes de la evaluación sensorial de los snacks.

El objetivo de este panel fue caracterizar la muestra de mayor preferencia de acuerdo a ocho atributos, divididos en dos grupos de tres y cinco características. El primero de los grupos correspondió a los atributos descriptores sin probar la muestra, como apariencia, olor y color. El segundo grupo correspondió a atributos descriptores luego de probar la muestra, como crocancia, gomosidad, dulzor, acidez y aceptabilidad global.

Por otra parte, todas las palabras, descripciones y asociaciones provistas por los participantes mediante sus respuestas, se consideraron para el análisis y para determinar su frecuencia. Se realizó la técnica proyectiva asociativa denominada “Asociación de palabras”. Los datos se analizaron utilizando el programa Word Art (<https://wordart.com>) y se creó una nube de palabras para cada muestra.

5.6.5.8. Análisis estadístico de los datos

Los resultados obtenidos en cada ensayo al menos por triplicado fueron tabulados y evaluados a través de análisis de varianza ANOVA, empleando diferencias mínimas significativas de Tukey como método de comparación múltiple, con un nivel de confianza del 95 %. Dicho análisis se realizó con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo y col., 2014).

5.7. Resultados y discusión

5.7.1. Características fisicoquímicas de los ingredientes sometidos a tratamientos térmicos

Durante el desarrollo de un alimento, la calidad nutricional y organoléptica del producto final depende de las características fisicoquímicas y funcionales de los ingredientes usados en su elaboración. En el caso de las semillas de amaranto y quinoa se debe tener en cuenta su textura, ya que esta incidirá en la crocancia deseada por el consumidor de productos tipo snack como el formulado en este trabajo.

La Figura 5.23 muestra el aspecto de las semillas de quinoa luego del lavado para eliminar las saponinas y de los diferentes tratamientos térmicos para mejorar la calidad organoléptica, el color y aroma para su aplicación en formulaciones de alimentos.

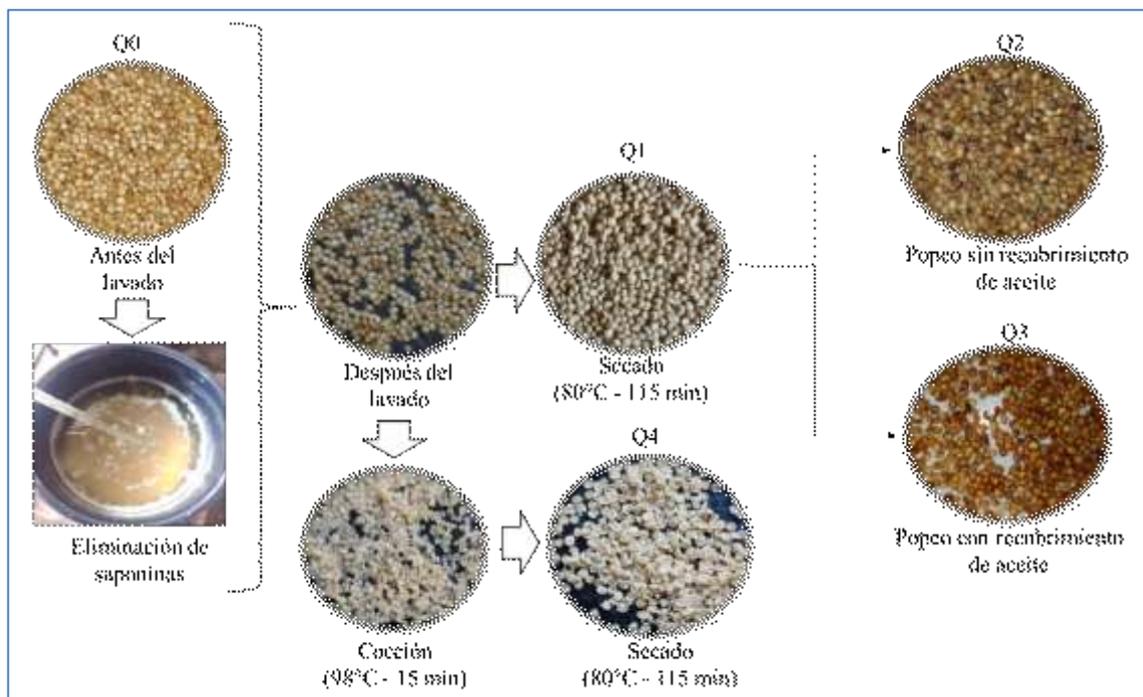


Figura 5.23. Semillas de quinoa sometidas al proceso de lavado y a diferentes tratamientos térmicos.

Según la concentración de saponinas, la quinoa se clasifica en “dulce” ($< 0,11\%$) o “amarga” ($> 0,11\%$), hallándose contenidos entre 0,1 y 5 % dependiendo de la variedad (Nickel y col., 2016). Recientemente, el Codex Alimentarius (FAO, 2020) estableció una norma para la quinoa donde se permite un máximo de 0,12 % de saponinas en el grano. De acuerdo a Torrez Irigoyen y Giner (2018), un tratamiento en baño de agua a 60 °C durante 15 min (con posterior secado a 50 °C) puede considerarse adecuado para alcanzar

un nivel seguro de saponinas (~0,05 %) para el consumo humano. Dicho tratamiento no provocó daño visible en las semillas, sin embargo, mayor tiempo y temperatura (60 - 70 °C, 70 min) las dañaron perdiendo la cubierta y el germen. Por lo tanto, si bien en el presente trabajo no se determinó el contenido de saponinas, se puede inferir que los tratamientos aplicados de lavado con remojo previo fueron efectivos para eliminarlas de las semillas de quinoa.

Respecto al color de las semillas se observa que luego del lavado conservaron la tonalidad blanquecina de las muestras sin tratar. Esta coloración poco atractiva se intensificó en aquellas sometidas a cocción en agua y luego secadas en estufa (Q4). En cambio, las semillas que se sometieron al “popeo” (Q2 y Q3) mostraron tonos amarillentos y amarronados que resultaron más atractivos para su incorporación al snack. En particular, las muestras con recubrimiento de aceite (Q3) presentaron dichos tonos intensificados respecto a aquellas sin recubrir. Zapana y col. (2020) también observaron que un recubrimiento de las semillas de quinoa compuesto por almidón, quitosano y sorbitol mejoró las características fisicoquímicas luego del “popeo” debido a la mayor capacidad de retener el vapor de agua dentro de los granos. Como ya se mencionó, durante el proceso de “popeo” este vapor sobrecalentado proporciona la fuerza impulsora para expandir el grano 5 a 6 veces su volumen y producir el estallido. Ello conduce a cambios en el color y el aroma de las semillas generando un sabor agradable a tostado, lo que mejora la palatabilidad del producto final.

La Figura 5.24 muestra que todos los tratamientos (Q1 - Q4) disminuyeron drásticamente la humedad de las muestras respecto al control (Q0), mientras que la a_w , mostró valores microbiológicamente aptos ($< 0,6$) en todas las muestras tratadas y sin tratar. Como era de esperar, las semillas que atravesaron el proceso de cocción en agua (Q4) presentaron el valor más alto de a_w (aunque sin riesgo microbiológico), probablemente debido a la absorción de agua por parte de los granos que no pudo eliminarse con el posterior tratamiento térmico. En relación a los dos tratamientos de “popeo”, se observa que la actividad acuosa fue mayor para Q3, mientras que la humedad se mantuvo sin diferencias entre Q2 y Q3.

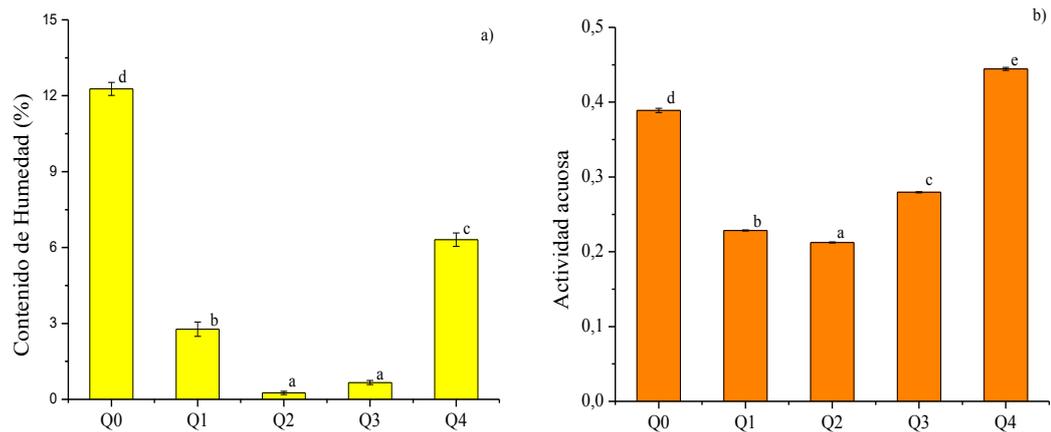


Figura 5.24. Contenido de humedad y actividad acuosa de las semillas de quinoa

(Q0) Antes del lavado.

(Q1) Secas a 80 °C durante 115 min.

(Q2) Q1 + “popeo” 5 min a fuego directo en hornalla.

(Q3) Q1 + “popeo” 5 min con recubrimiento de aceite de girasol.

(Q4) Con cocción a 98 °C durante 15 min en abundante agua + enfriamiento con agua a 25 °C + Q1.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Respecto a las propiedades funcionales de las semillas tratadas, Nickel y col. (2016) hallaron que el proceso de lavado en agua incrementó el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante, además de disminuir el contenido de saponinas reduciendo así el sabor amargo de los granos de quinoa. Dichos autores observaron que el proceso de cocción en agua, especialmente bajo presión, mostró el mayor efecto al aumentar los compuestos fenólicos totales y la actividad antioxidante, mientras que el proceso de tostado provocó una reducción en dichos compuestos. En cuanto al perfil de aminoácidos de la quinoa expandida o “popeada”, Paucar-Menacho y col. (2018) observaron que el tratamiento térmico no afectó la relación de eficiencia proteica y que la composición de aminoácidos era adecuada a la sugerida por la FAO/OMS para adultos.

El color superficial es una característica importante en la apariencia de las barras de cereal ante los consumidores. El tratamiento térmico aplicado impacta en el color del alimento y una exposición prolongada a altas temperaturas influye severamente en sus características físicas y sensoriales (Sun-Waterhouse y col., 2010). Por lo tanto, los tratamientos térmicos de los componentes utilizados en el snack interferirán directamente en la apariencia del producto final.

Para establecer el tratamiento más adecuado, se realizó una evaluación sensorial interna en el grupo de trabajo, observándose visualmente que durante el “popeo”, en el tratamiento Q3, hubo leves explosiones (no visualizadas en la fotografía) que mejoraron el ablandamiento del grano. Además, el recubrimiento en aceite intensificó el aroma y el color, por lo que se optó por este tratamiento para utilizarlo en la formulación del snack funcional.

En el caso del amaranto, el tratamiento térmico de “popeo” sin y con recubrimiento de aceite de girasol también afectó la apariencia y el color de las muestras (Figura 5.25).

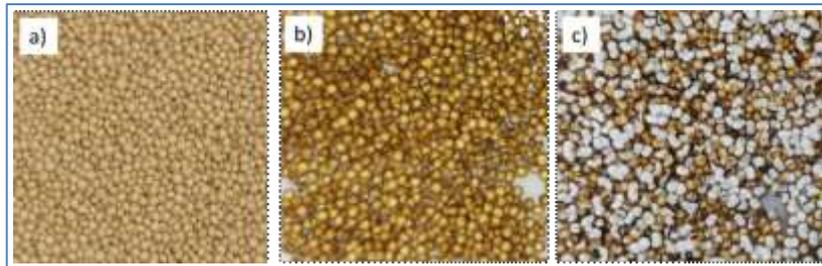


Figura 5.25. Tratamiento de las semillas de amaranto: a) Sin tratamiento térmico (A0), b) Con tratamiento térmico sin recubrimiento de aceite (A1), c) Con tratamiento térmico con recubrimiento de aceite (A2).

En forma similar a lo observado en las semillas de quinoa, el tratamiento térmico sin y con recubrimiento de aceite de girasol disminuyó los valores de humedad y a_w de las semillas de amaranto respecto al control sin tratar (Tabla 5.5). Si bien no hubo diferencias significativas entre el contenido de agua de las semillas tratadas sin y con recubrimiento de aceite, todas las muestras inclusive los granos de amaranto sin tratamiento se encontraban en un rango de humedad menor a 12 %, valor límite que establece el CAA para estas semillas.

Tabla 5.5. Actividad acuosa (a_w) y contenido de agua de las semillas de amaranto sin (A0) y con tratamiento térmico (sin (A1) y con (A2) recubrimiento de aceite).

Muestra	a_w	Humedad (%)
A0	0,48±0,02 ^c	5,7±0,0 ^b
A1	0,26±0,01 ^a	1,6±0,2 ^a
A2	0,35±0,01 ^b	1,0±0,5 ^a

En cuanto a la a_w , se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores de las tres muestras, si bien todas mostraron valores menores a 0,6 (límite considerado como microbiológicamente apto para un alimento).

Respecto a las características de apariencia, el tratamiento A1 solo intensificó el color de las semillas, mientras que el tratamiento A2, intensificó el color y generó una mayor capacidad de retención del vapor de agua dentro de los granos de amaranto. Ello produjo el estallido y la rotura de la cubierta exterior, produciendo granos más blandos, blancos, y con intensos aromas tostados, evaluados en forma sensorial por el grupo de trabajo. Por lo tanto, se seleccionó el tratamiento A2 con recubrimiento de aceite como el más adecuado para las semillas de amaranto incluidas en los snacks.

5.7.2. Características fisicoquímicas de los snacks funcionales

La Figura 5.26 muestra los snacks obtenidos a los dos tiempos de cocción ensayados, 30 y 50 min, a 140 °C. Se observa que las semillas de quinoa y amaranto y en mayor medida los copos de maíz y arroz inflado, quedaron distribuidos uniformemente en el snack.

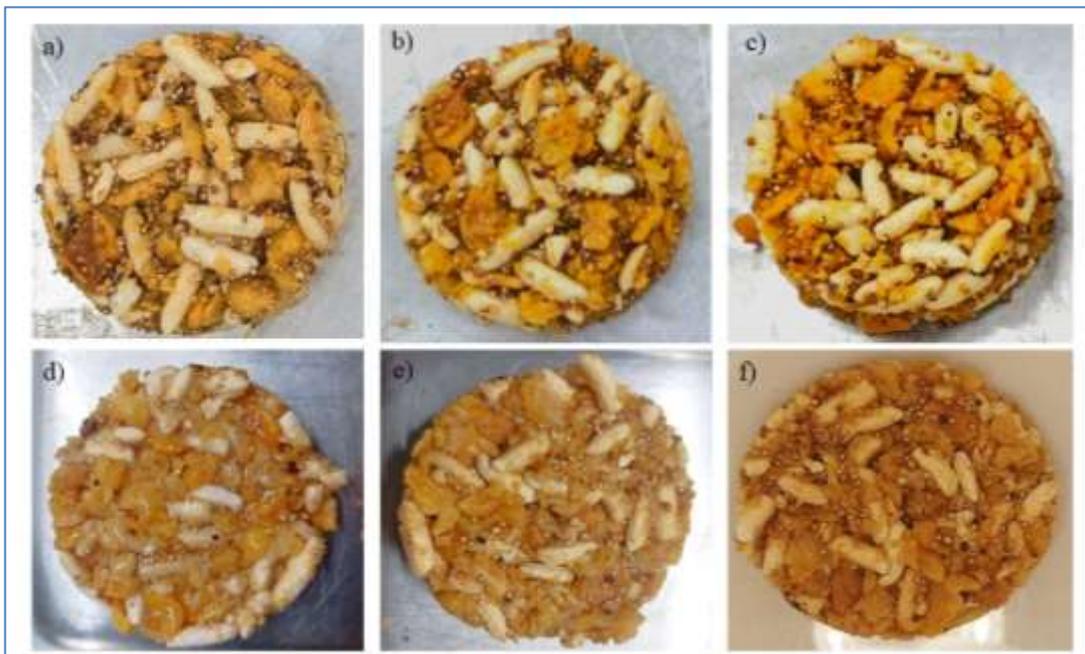


Figura 5.26. Fotografías de los snacks base (a, b y c) y frutales (d, e y f) sin cocción (a y d), cocinados durante 30 min a 140 °C (b y e) y cocinados por 50 min a 140 °C (c y f).

El tratamiento térmico tiene efecto sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de los alimentos, ya que una exposición prolongada a alta temperatura puede tener una gran influencia en el color de los productos horneados. Como se observa en la Figura 5.26, el proceso de horneado oscureció levemente los snacks. Esto se debe a las reacciones de pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard) y/o a la caramelización que se produce cuando en el producto existen reactivos tales como azúcares reductores (por ejemplo, glucosa y fructosa que provienen de la miel) y/o aminoácidos y, a su vez, la exposición a una temperatura elevada (generalmente mayor a 100 °C) (Sun-Waterhouse y col., 2010). En este caso, además de la miel, el arroz inflado contiene azúcares que podrían participar en la reacción de Maillard y caramelización durante el tratamiento térmico. En la Tabla 5.6 se observa en el SB una disminución significativa ($p < 0,05$) de la luminosidad (L^*) con la cocción, sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en este parámetro entre ambos tiempos de cocción. Por el contrario, no se hallaron diferencias significativas en L^* para el SF con y sin cocción. En ambos snacks, las coordenadas a^* y b^* disminuyeron significativamente ($p < 0,05$) con la cocción y con el mayor tiempo de duración de ésta, indicando un viraje del color rojo y amarillo del espacio de color CIELab. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en el color de ambos snacks en todas las condiciones ensayadas, excepto para la coordenada b^* .

Tabla 5.6. Coordenadas de color (L^* , a^* y b^*) de los snacks a diferentes tiempos de cocción.

Tratamiento		SB	SF
	L^*	64,0±4,2 ^{bA}	57,9±4,0 ^{aA}
Sin cocción	a^*	10,8±0,6 ^{bA}	10,7±0,5 ^{bA}
	b^*	41,5±1,3 ^{cA}	44,0±1,2 ^{bA}
	L^*	50,3±6,8 ^{aA}	53,8±3,9 ^{aA}
30 min	a^*	9,9±0,6 ^{abA}	9,9±0,7 ^{abA}
	b^*	39,0±0,8 ^{bA}	42,5±0,9 ^{bB}
	L^*	48,5±6,4 ^{aA}	53,1±5,1 ^{aA}
50 min	a^*	8,9±0,9 ^{aA}	9,5±0,6 ^{aA}
	b^*	37,0±0,9 ^{aA}	38,5±0,5 ^{aB}

SB: snack base, SF: snack frutal. Letras minúsculas para cocción y letras mayúsculas para tipo de snack diferente indican, para cada parámetro, diferencias significativas ($p < 0,05$)

Con el objetivo de seleccionar el tiempo de cocción adecuado, se analizaron los valores de humedad y a_w de los snacks luego del horneado durante 30 y 50 min a 140 °C (Figura 5.27). Estas características fisicoquímicas, además de afectar las propiedades de textura del producto, limitarán la vida útil del mismo (Sun-Waterhouse y col., 2010). En ambas condiciones de ensayo, el contenido de agua del SF supera al del SB debido al aporte de humedad de las láminas de fruta y de la miel. El tratamiento térmico durante 30 min condujo a valores de humedad elevados, por encima de 12 %, tanto para SF como para SB. Además, bajo esta condición de calentamiento ambas muestras presentaron valores altos de actividad de agua, por encima de 0,5, generando un riesgo microbiológico alto en el producto final. En cambio, un tiempo de cocción de 50 min aseguró valores de humedad y a_w óptimos para prevenir el crecimiento microbiano e incrementar la vida útil del producto. Por lo tanto, se determinó dicho tiempo como el más adecuado para la cocción a 140 °C de los snacks.

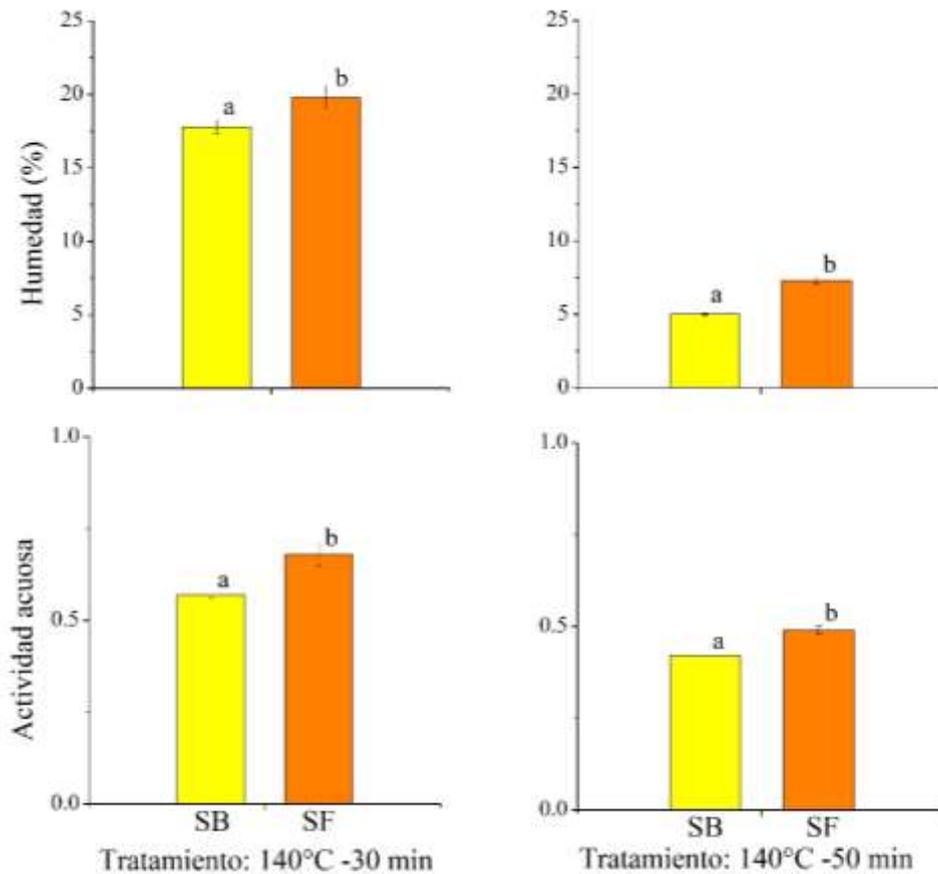


Figura 5.27. Valores de humedad y actividad acuosa de los snacks a dos tiempos de cocción. SB: snack base, SF: snack frutal.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Otros autores han desarrollado snacks empleando variedad de componentes, entre ellos miel, semillas y frutas como en el presente trabajo. Coello y col. (2022) prepararon un snack tipo barra de cereal con diferentes concentraciones de polvo de brotes de moringa, granos de avena, arroz inflado, rodajas de banana deshidratadas y semillas de quinoa y miel de caña, obteniendo valores de humedad de 7,5 %, similares a los obtenidos en este trabajo. Por su parte, Momanyi y col. (2020) formularon barras utilizando sorgo blanco y caupí tratados térmicamente, miel como aglutinante y cinco concentraciones diferentes de frutas de baobab, con valores de actividad acuosa promedio de 0,48 (similar al presente trabajo) y humedad promedio de 9,5 %.

5.7.3. Textura

La textura de alimentos no sólo es importante desde el punto de vista del consumidor sino también está muy ligada a la elección del equipamiento adecuado en la industria para el diseño de procesos eficientes y rentables.

En la Figura 5.28 se muestran los perfiles de textura (TPA) de los snacks. Los materiales ligantes utilizados en ambas formulaciones fueron capaces de mantener unidos los cereales y semillas, sin embargo, los SB presentaron valores menores de fuerza comparados con los SF.

Al observar los perfiles de textura, el correspondiente a SB presentó fracturabilidad antes del máximo de ruptura, mientras que el de SF fue lineal. Estos comportamientos pueden atribuirse a la diferencia de porosidad de cada sistema, a las proporciones de cereales en la formulación y al contenido de humedad que aportaron la miel y la suspensión gelatinizada de almidón con jugo de pomelo utilizados como ligantes.

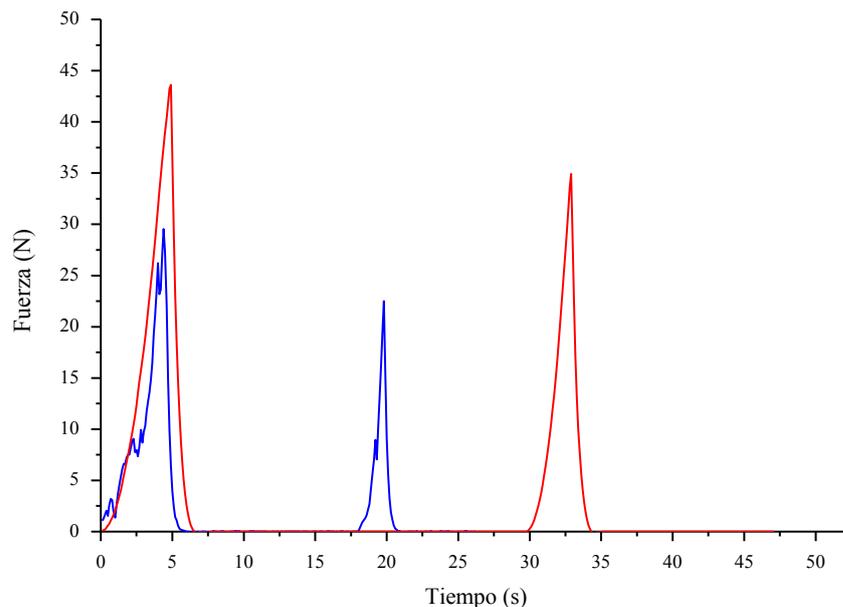


Figura 5.28. Perfil de textura de los snacks base (■) y frutal (■).

La dureza es la resistencia que ofrece un material a una deformación plástica localizada y permite entender cómo se comporta dicho material bajo ciertas cargas. La Tabla 5.7 muestra que la dureza del SF fue mucho mayor que la del SB. Dado que ambos snacks fueron sometidos al mismo proceso de cocción, la diferencia radicaría en su composición. El SF contiene una importante cantidad de miel en su formulación y probablemente las reacciones químicas que suceden durante la cocción entre los azúcares y entre éstos con

el resto de los componentes hacen que se forme una estructura sólida más difícil de fracturar. Resultados similares obtuvieron Samakradhamrongthai y col. (2021) en barras de cereales donde agregaron cantidades crecientes de endulzantes, miel entre ellos.

Tabla 5.7. Parámetros de textura de los snacks base y frutal.

Parámetro	SB	SF
Dureza (N)	26,3±7,8 ^a	41,7±2,7 ^b
Adhesividad (mJ)	0,01±0,00 ^a	0,07±0,02 ^b
Elasticidad (mm)	1,18±0,0 ^a	1,36±0,04 ^b
Cohesividad	0,25±0,07 ^a	0,46±0,07 ^b
Masticabilidad (mJ)	12,2±3,2 ^a	28,6±1,9 ^b

Letras minúsculas diferentes indican, para cada tipo de snack, diferencias significativas ($p < 0,05$).

En términos de textura instrumental, la adhesividad está relacionada con la energía de atracción con la que interaccionan el material a ensayar con la sonda del equipo. La adhesividad del SF fue significativamente ($p < 0,05$) mayor que la del SB (Tabla 5.7) debido probablemente a la presencia de miel en la formulación. Yamul y Lupano (2003) y Samakradhamrongthai y col. (2021) también encontraron un incremento de la adhesividad cuando se incrementó el contenido de miel en geles de proteínas de suero de leche y en barras de cereales, respectivamente.

La elasticidad de un material es la capacidad para deformarse bajo la acción de una fuerza y recuperar su forma original cuando cesa la fuerza que lo deforma. En los alimentos esta es una característica crucial para la aceptabilidad del producto. La elasticidad del SF fue levemente mayor que la del SB (Tabla 5.7), probablemente debido a la miel y al mayor contenido de humedad dado las propiedades plastificantes de la miel y el agua. Por otro lado, Yamul y Lupano (2003) no encontraron efectos sobre la elasticidad con el agregado de miel en geles de proteínas de suero de leche.

La cohesividad es el grado de extensión que puede sufrir un material antes de su ruptura (Szczeniak, 2002). Es decir, provee información sobre las fuerzas cohesivas que mantienen la integridad estructural de un material. La Tabla 5.7 muestra que el SF fue significativamente ($p < 0,05$) más cohesivo que el SB, probablemente al efecto ligante que tiene la miel. Este ingrediente es frecuentemente utilizado por diversos autores (Yada y Bhatnagar, 2015, Agrahar-Murugkar y col., 2020, Allai y col., 2022) como ligante de diversas preparaciones, especialmente en barras de cereales. Cabe destacar, como se verá

más adelante en este trabajo (sección 5.7.7), que los resultados de cohesividad y adhesividad hallados en este análisis de textura se correlacionaron con los obtenidos en la evaluación sensorial de los snacks.

La masticabilidad es la energía requerida para masticar un alimento sólido hasta un estado en el que se encuentre listo para ser deglutido (Szczesniak, 2002). Los resultados de la Tabla 5.7 muestran que la masticabilidad del SF es mucho mayor que la del SB. Este es un resultado esperado dado que el SF es más duro, cohesivo y elástico.

5.7.4. Composición proximal y etiquetado frontal de los snacks

En la Tabla 5.8 se muestran los resultados obtenidos del análisis proximal de la formulación de ambos tipos de snacks. Los resultados indican que el contenido de humedad y cenizas y el aporte energético fue mayor en el SF. Por otro lado, el SB mostró un mayor contenido de proteínas y fibra dietaria, lo cual podría deberse a la mayor cantidad de semillas usadas en su formulación. El mayor contenido de humedad podría deberse al agregado de la miel y la fruta deshidratada recubierta.

Tabla 5.8. Composición de los snacks base y frutal

Componente	SB	SF
Humedad	5,0±0,1 ^a	7,3±0,2 ^b
Proteínas (% bs)	6,0±0,3 ^b	5,3±0,1 ^a
Lípidos (% bs)	1,4±0,3 ^a	1,7±0,4 ^a
Cenizas (% bs)	0,7±0,1 ^a	1,0±0,1 ^b
Hidratos de carbono (% bs)	40,4±3,4 ^a	44,4±3,4 ^a
Fibra dietética*	46,5	40,3
Aporte energético (kcal /100g)	198,2	214,1

*El porcentaje de fibra dietética se calculó por diferencia. bs: base seca.

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

Varios autores (Coello y col., 2022, Momanyi y col., 2020), desarrollaron snacks a base de distintos componentes, sin embargo, la comparación entre los productos presenta diferentes obstáculos como, por ejemplo, la variabilidad de los ingredientes utilizados en la formulación. Estos productos presentan una gama diversa de ingredientes, desde granos

enteros hasta aditivos sintéticos, cada uno con su propio impacto en la textura, el sabor y, lo más importante, en la composición nutricional. Cabe destacar que los snacks desarrollados en la presente tesis, además de utilizar ingredientes naturales en su formulación, son aptos para celíacos.

Respecto al contenido de sodio, ambos snacks se adecúan a las exigencias que se establecen en el artículo 760 tris del CAA, para productos denominados snacks, permitiendo como máximo 855 mg de sodio /100 g de producto. Para los snacks desarrollados se halló un contenido de sodio de $309,3 \pm 9,7$ mg Na/100g de muestra y de $343,9 \pm 11,3$ mg Na/100g de muestra para el SF y el SB, respectivamente. Esto significa que ambos snacks contienen aproximadamente un 60 % menos de sodio cada 100g de muestra, comparado con lo permitido por el CAA, por lo que ambas formulaciones podrían calificarse bajo en sodio.

El análisis para el rotulado de los productos finales indicó que, para el caso de los snacks desarrollados en este trabajo, el único nutriente crítico añadido es el azúcar proveniente de la miel en el SF. El contenido de miel en la matriz de almidón/glicerol/miel se considera despreciable porque es muy poca la cantidad de este ingrediente en dicha matriz. Se considera que un 82 % de la miel son azúcares simples. Entonces, como se agrega en el SF un 22,9 % miel, el contenido de azúcares añadidos resultó ser 18,78 %. Utilizando la ecuación 5.10 se llega a un valor de 35 %, el cual al ser mayor que 20 se considera que el producto tiene exceso de azúcares. Por lo tanto, al snack a base de frutas (SF) le corresponde el sello: “Exceso de azúcares”.



Figura 5.29. Logo que debe llevar el snack frutal (SF) desarrollado.

En el caso de las calorías, el cálculo respectivo a través de la ecuación 5.10 dio un resultado de 214,1 kcal/100g. Este valor es menor que el límite establecido (300 kcal/100g), por lo tanto, el producto SF no tiene exceso de calorías.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se debe establecer la población hacia la cual estarían destinados los productos. En el caso del snack con miel, frutas y semillas, iría

destinado a una población infantil que necesita azúcares para su crecimiento, si bien los adultos responsables deben controlar dicha ingesta. En cambio, el snack con sólo cereales y semillas podría ser consumido por personas que tengan alguna restricción en su dieta, como los diabéticos en el caso del azúcar y los celíacos en cuanto al tipo de cereal (trigo, avena, cebada y centeno, ninguno de ellos forma parte de la formulación).

5.7.5. Propiedades funcionales

Los alimentos funcionales son una categoría especial de alimentos que ofrecen beneficios adicionales para la salud, más allá de la nutrición básica, y su inclusión en la dieta puede contribuir significativamente a la mejora del bienestar general y la prevención de enfermedades. Muchos alimentos que no caen dentro de esta categoría pueden ser enriquecidos o fortificados con alimentos naturalmente funcionales de manera que se vuelvan funcionales (Banerjee y Ray, 2019). Tal es el caso del presente trabajo donde la presencia de frutas y semillas como la quinoa y el amaranto aportan a los snacks de cereales diversos compuestos con actividad biológica beneficiosa para la salud.

La Figura 5.30 muestra el contenido de compuestos bioactivos (fenoles y flavonoides totales) y la actividad antioxidante de los snacks obtenidos. Los resultados indican que el SF posee mayor contenido de polifenoles y flavonoides, debido muy probablemente a la presencia de miel y frutas que el SB. También mostró una actividad antioxidante mayor en el ensayo de DPPH, sin embargo, no se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) con el SB en el ensayo de ABTS.

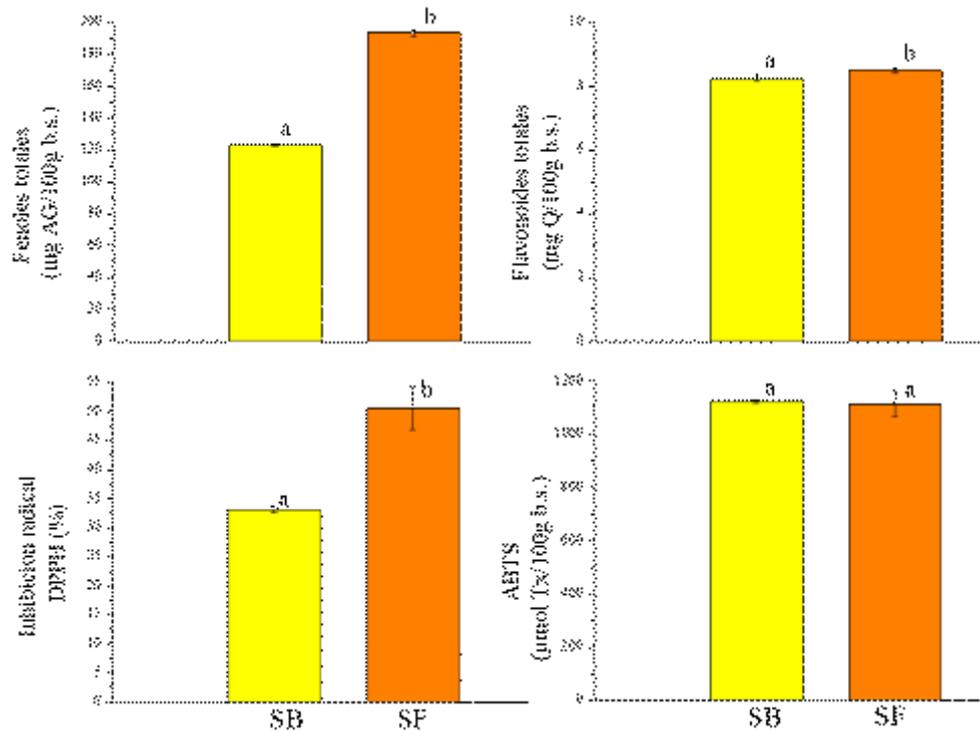


Figura 5.30. Valores de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de los snacks.

SB: snack base, SF: snack frutal.

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

El contenido de polifenoles y flavonoides, como así también la actividad antioxidante, es fuertemente dependiente de la composición y del procesamiento del producto, por lo que la comparación de estos resultados con los de otros autores no es muy significativa ya que deberían considerarse sistemas similares en su formulación. Sin embargo, podría decirse que, en líneas generales, la suplementación de snacks de cereales con ingredientes basados en frutas aumenta la actividad antioxidante del producto final, tal como lo confirman Coello y col. (2022), Rodrigues de Barros Vinhal y col. (2022) y Ramos y col. (2020). Por otro lado, se determinó que ciertos péptidos del amaranto liberados durante la digestión gastrointestinal simulada de galletitas tienen actividad antitrombótica y antihipertensiva (Sabbione y col., 2019). Este hecho sumado al contenido de polifenoles y flavonoides permitiría catalogar a los snacks como productos con propiedades funcionales.

5.7.6. Análisis microbiológico

El análisis microbiológico en snacks de cereales es crucial para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad del producto. Debido a que son alimentos procesados y listos para consumir, los snacks de cereales pueden ser susceptibles a la contaminación por microorganismos patógenos como *Salmonella spp.*, *E. coli* y *Listeria*, representando un riesgo para la salud del consumidor. Mediante el análisis microbiológico, se puede detectar la presencia de estos patógenos y otros microorganismos que podrían causar enfermedades o deteriorar el producto. Además, este análisis permite evaluar la efectividad de los procesos de producción y almacenamiento, asegurando que se cumplan con las normativas sanitarias vigentes. La identificación temprana de posibles contaminantes microbianos permite tomar medidas correctivas a tiempo, minimizando riesgos y evitando costosos retiros del mercado.

Los resultados de la incubación de las muestras de ambos snacks no mostraron desarrollo para ninguno de los microorganismos ensayados, lo que indica la inocuidad microbiológica tanto del proceso de manufactura como del producto final. Este es un resultado esperable debido a la baja actividad acuosa (Figura 5.27) que presentaron ambas formulaciones. Este hecho limita significativamente el crecimiento de bacterias, levaduras y mohos disminuyendo el riesgo de deterioro y prolongando la frescura del producto. Otros autores (Ahaotu y col., 2022) encontraron desarrollo microbiológico, pero dentro de los límites aceptados por la normativa en barras de cereales.

5.7.7. Análisis sensorial

La apariencia de un alimento es crucial en la elección del consumidor, ya que es la primera característica que evalúa frente al producto. Productos con colores y texturas atractivas y presentaciones estéticamente agradables influyen en la percepción de frescura y calidad, determinando en gran medida la decisión de compra y la disposición a probar el producto. La Figura 5.31 muestra los resultados del análisis sensorial de los snacks desarrollados, delimitando los puntajes de aceptación, indiferencia y rechazo asignados por los panelistas. Ambos snacks obtuvieron puntajes en el rango de aceptación (mayor a 5) en todos sus atributos sensoriales, excepto el color del SB que fue percibido como indiferente (rango 3 - 5). El SF mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en el puntaje de todos sus atributos respecto al SB (excepto en el olor donde no presentó diferencias ($p > 0,05$)), denotando una mayor preferencia por dicho snack a base de frutas. El SB se

desgranaba fácilmente por lo que, en algunos casos, los panelistas observaron la muestra dividida en varias partes. Estas características de apariencia y textura correlacionaron con el menor puntaje asignado al SB. La apariencia general y la gomosidad del SF presentaron mayor aprobación ($p < 0,05$), probablemente debido a su aspecto más compacto por la acción aglutinante de la miel. Sciammaro y col. (2018), en snacks tipo galletas compuestos por harina de algarroba y miel, también hallaron que la apariencia fue mucho más aceptable para los snacks de miel y harina de algarroba respecto a snacks endulzados con sacarosa. En el presente trabajo, la presencia de miel y frutas deshidratadas en el SF condujo a una mayor valoración de atributos como dulzor, color, crocancia, gomosidad y acidez (Figura 5.31).

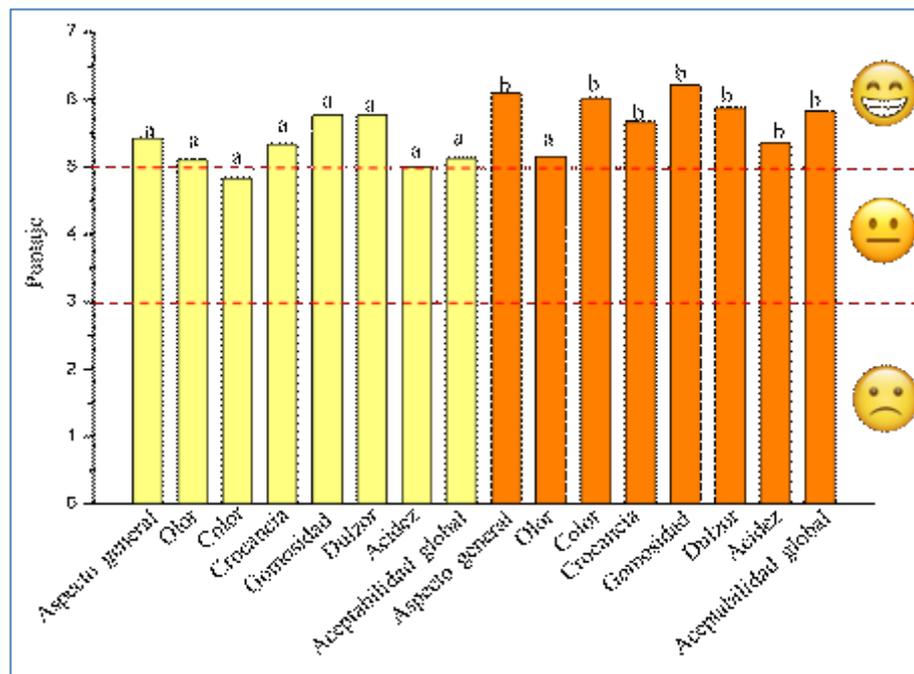


Figura 5.31. Puntaje promedio obtenido en la evaluación sensorial de snacks.

Base (■), Frutal (■).

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$).

Por otro lado, la Figura 5.32 muestra la nube de palabras con los resultados correspondientes a las asociaciones obtenidas de las encuestas sobre los snacks base (a) y frutal (b). Se obtuvo un total de 61 palabras, donde se presentaron asociaciones tanto positivas como negativas. Las asociaciones positivas mencionadas por el mayor porcentaje de los participantes para el SB fueron “crocante” ($n = 10$) y “dulce” ($n = 3$), mientras que “desgranado” ($n = 4$) y “falta dulzor” (2) fueron percibidas como

asociaciones negativas del producto (Figura 5.32a). Dentro de este tipo de asociaciones se mencionaron las siguientes sólo una vez (n= 1): “menos aceptable para digerir”, “que sea más dulce”, “poco sabor dulce”, “poca acidez”, “falta sabor dulce”, “semillas sueltas y chiquitas” y “se presenta separado”. En cambio, las asociaciones mencionadas por el mayor porcentaje de los participantes para el SF fueron: “crocante” (n= 14), “dulce” (n= 12), “ácido” (n= 5), “gomoso” (3) (Figura 5.32b). En esta formulación se apreció que las asociaciones negativas fueron: “impresionan las semillas”, “sabor amargo al final”, “pedacitos como rotos”, “piezas duras al masticar”, “granos partidos”. Estas últimas fueron mencionadas por única vez (n= 1).

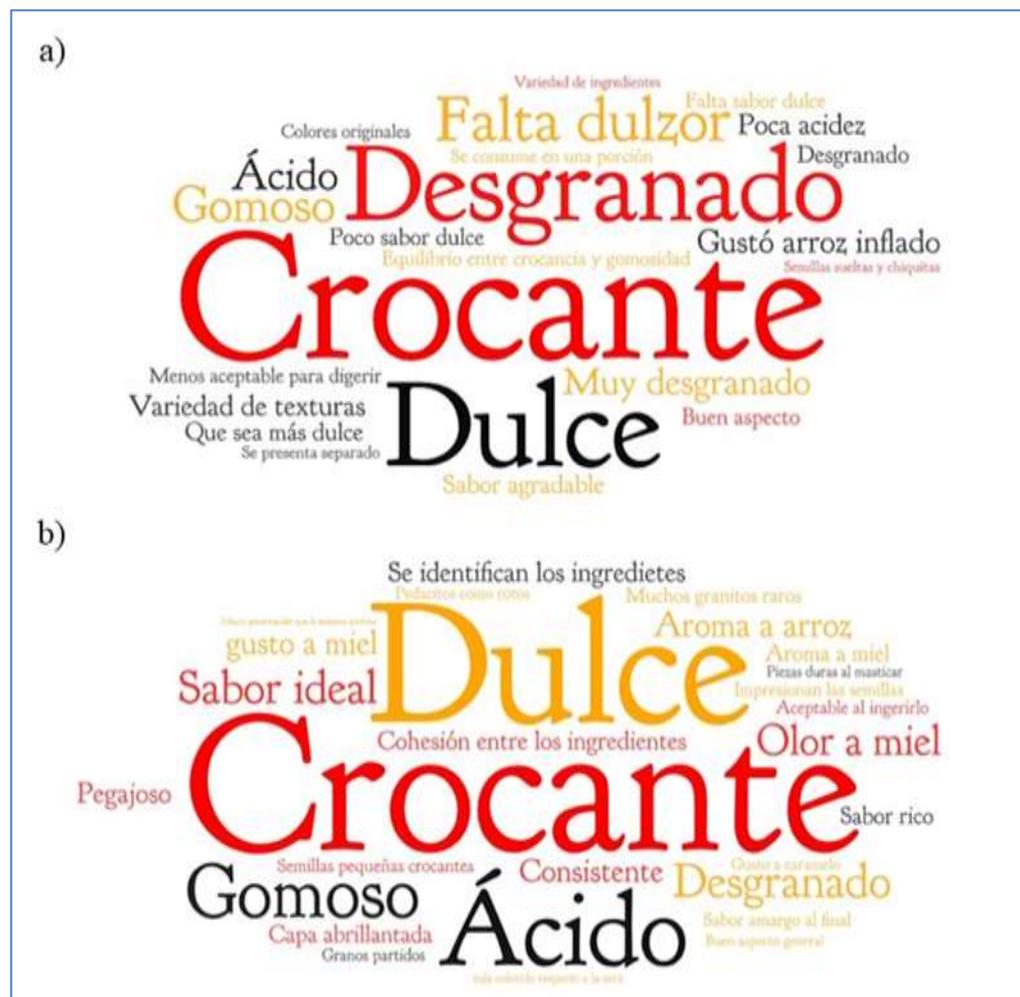


Figura 5.32. Nubes de palabras obtenidas del análisis sensorial de los snacks desarrollados: a) snack base, b) snack frutal.

La crocancia es característica de productos elaborados con caramelo, frutas y frutos secos. Este atributo quedó descrito en un 17 % para el SB y un 25 % para el SF en las

preguntas finales como uno de los atributos que más gustaron. Coello y col. (2022) observaron que en formulaciones de snacks con moringa el sabor fue el atributo que recibió puntuaciones más bajas debido al amargor y a la astringencia, asociados a la presencia de glucomoringina (un compuesto de la familia de los glucosinolatos) y otros compuestos fenólicos. En el presente estudio, la acidez fue percibida como un atributo importante en ambos snacks, aunque más en el frutal, si bien no se encontraron diferencias de acidez en el análisis de preferencias (Anexo 8.4). Es interesante mencionar que el dulzor que destacan los panelistas en la nube de palabras (Figura 5.32b) no fue suficiente para enmascarar la acidez percibida en el SF. En este producto los evaluadores percibieron un aroma a arroz, sin embargo, en el SB el arroz se percibió a través del gusto. Respecto a la textura de los snacks, las percepciones de los participantes mostraron una correlación con la medida instrumental del análisis de perfil de textura (Tabla 5.7). El SB fue descrito como “muy desgranado” y el SF como “desgranado” (aunque un grupo más pequeño de evaluadores destacó su “cohesión entre los ingredientes”), lo cual correlacionó con la menor cohesividad hallada en forma instrumental para SB. Ambos snacks fueron descritos como gomosos, aunque en mayor medida el SF, lo cual se correlaciona con la medida instrumental donde se observó un valor mayor de elasticidad en este producto. Además, el SF fue levemente percibido como “pegajoso”, correlacionándose con una mayor adhesividad en el ensayo instrumental.

5.8. Conclusiones parciales

La utilización de láminas de mamón y pomelo recubiertas deshidratadas, sumado a pseudo-cereales como la quinoa y el amaranto, aportaron proteínas, fibras, ácidos grasos y minerales a los snacks desarrollados. Además, enriquecieron al alimento en compuestos bioactivos como polifenoles y otros compuestos con propiedades antioxidantes.

Los resultados del análisis fisicoquímico indicaron que el contenido de humedad y cenizas fue mayor en los snacks frutales, confirmando el aporte de propiedades humectantes de la miel y de las láminas agregados. Asimismo, los snacks base mostraron un mayor contenido de proteínas y fibra dietaria la cual podría deberse a la mayor cantidad de semillas usadas en su formulación. Respecto al contenido de sodio, ambos snacks, podrían calificarse “bajo en sodio” comparado con lo permitido por el CAA.

El snack frutal presentó mayor contenido de polifenoles y flavonoides y una actividad antioxidante medida por DPPH, mayor que el snack base, atribuyéndose estos valores a la presencia de miel y frutas.

En el snack frutal la miel y el resto de los componentes permitieron la formación durante la cocción de una estructura sólida más difícil de fracturar. La adhesividad, elasticidad, cohesividad y masticabilidad del snack frutal fue mayor que la del snack base.

Los resultados mostraron inocuidad microbiológica tanto del proceso de manufactura como del producto final. Este comportamiento reafirma que el crecimiento microbiano es limitado o nulo debido a la baja actividad acuosa del producto, que disminuye el riesgo de deterioro.

La evaluación sensorial estableció que los atributos dulzor, color, crocancia, gomosidad y acidez, fueron percibidos como diferentes entre el snack frutal y el base, atribuyéndose las diferencias en el dulzor a la presencia de miel en el snack frutal. Además, estos resultados, fueron coincidentes con las asociaciones de palabras mencionadas por los participantes. Ambos snacks presentaron buena aceptabilidad por los consumidores.

Los snacks frutales presentaron exceso de azúcares, por lo que podrían ser destinados a la población infanto juvenil, cuyos requerimientos de hidratos de carbono son superiores. Mientras que los snacks base pueden ser destinados a poblaciones con requerimientos más estrictos en el consumo de azúcares.

La utilización de productos regionales y matrices elaboradas en este trabajo, como cereales, semillas, miel, frutas deshidratadas recubiertas y recubrimientos con

compuestos bioactivos de frutas, permitieron lograr un alimento con ingredientes naturales, sin aditivos ni conservantes artificiales, que ofrecería, además, beneficios adicionales para la salud.

6. CONCLUSIONES GENERALES

6. CONCLUSIONES GENERALES

A lo largo de esta tesis se han utilizado pomelos, mamones y moras del norte de nuestro país que permitieron obtener matrices multipropósito para uso en la industria de alimentos. Además de las frutas, se emplearon materiales de la región chaqueña, como la miel y el almidón de mandioca, para la elaboración de las matrices. Se formularon y elaboraron recubrimientos y películas a base de almidón de mandioca, glicerol y miel donde se incorporaron los compuestos bioactivos de las frutas. Ello permitió la vehiculización de dichos compuestos, generando sistemas activos para la protección de alimentos.

A continuación, se resumen los principales hallazgos de cada capítulo de la tesis:

Matrices a base de almidón de mandioca, glicerol y miel. Caracterización de la miel y su rol en matrices para recubrimientos y películas.

Todas las matrices a base de almidón de mandioca con diferentes relaciones de glicerol y miel como plastificantes mostraron potencial para su uso en recubrimientos y películas. La evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de la miel *Apis mellifera* mostró elevados niveles de compuestos antioxidantes, particularmente polifenoles, que convierten a los recubrimientos en activos. La presencia de dichos compuestos, como así también de ácidos, en la miel influyó en el comportamiento reológico de las matrices. Este hecho puede impactar favorablemente en los procesos de llenado, bombeo y esparcido del recubrimiento debido a la menor tixotropía y pseudoplasticidad de los sistemas con mayor contenido de miel. La sustitución parcial del glicerol por miel en las matrices para recubrimientos puede implicar una mejora en la eficiencia de producción y aplicación de estos materiales en la industria alimentaria, optimizando tiempo y recursos.

Por otro lado, al aumentar el contenido de miel en las formulaciones, las películas obtenidas exhibieron mejores propiedades de barrera al agua y una mayor resistencia mecánica bajo tensión de tracción. Estas características son relevantes para el almacenamiento y conservación de alimentos, ya que permiten una mejor protección contra la humedad y el deterioro, prolongando la vida útil de los productos. Sin embargo, es importante señalar que la inclusión de miel también redujo la ductilidad de las películas. A pesar de ello, los valores de deformación antes de la ruptura se mantuvieron aceptables para diversas aplicaciones. Esta disminución de ductilidad debe ser

considerada dependiendo del uso final del material, adaptándose a las necesidades específicas de cada producto.

El análisis microestructural reveló que todas las películas presentaban homogeneidad, aunque aquellas con mayor concentración de miel mostraban una microestructura más rugosa. Esta rugosidad podría influir en las propiedades superficiales y la interacción con los alimentos, potencialmente afectando la textura y la adhesión del recubrimiento.

La estabilidad de las películas en medio ácido, medio común en la mayoría de los alimentos, demostró su aptitud para ser utilizadas como envases o recubrimientos. Además, los cambios físicos en medio neutro o alcalino revelaron una capacidad adicional para detectar el crecimiento de microorganismos patógenos, lo que puede ser una ventaja en la seguridad alimentaria.

El incremento de miel también aceleró la biodegradabilidad de las películas en compost vegetal. Esta característica es significativa para el manejo de residuos, ya que contribuye a la sostenibilidad y reducción del impacto ambiental, alineándose con las tendencias actuales hacia productos más ecológicos.

Por lo tanto, las formulaciones de almidón de mandioca con glicerol y miel mostraron propiedades interesantes que pueden ser ajustadas para cumplir con requisitos específicos, proporcionando una solución versátil y sostenible para la industria de envases y recubrimientos alimentarios. La inclusión de miel no sólo mejora las propiedades mecánicas y de barrera, sino que también puede agregar valor nutricional y sensorial al producto final, presentando una combinación prometedora de funcionalidad y sostenibilidad.

Caracterización de las frutas regionales y efecto de la congelación sobre sus propiedades fisicoquímicas y funcionales

Las características físicas de las frutas y su rendimiento tras el procesamiento fueron variadas. Las moras mostraron un rendimiento casi total en pulpa y jugo, incluyendo semillas que aportan compuestos bioactivos con propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Esto sugiere que las moras, incluyendo sus semillas, pueden mejorar las propiedades de las películas desarrolladas, ofreciendo una ventaja significativa para su aplicación en recubrimientos. Además, las moras presentaron un tono púrpura oscuro indicativo del contenido de antocianinas, siendo uno de los compuestos antioxidantes relevantes que aporta esta fruta, al igual que el color anaranjado de los mamones se

relaciona con su elevado contenido de carotenoides. La concentración de estos compuestos bioactivos cambia durante la maduración, por lo tanto, la evaluación del color de las frutas regionales permitiría utilizar esta propiedad como indicador de madurez y calidad de las frutas.

En cuanto al proceso de congelación, resultó una técnica viable para conservar las frutas, particularmente en la región chaqueña donde prevalecen altas temperaturas en gran parte del año. Sin embargo, el efecto de la congelación sobre las frutas constituyó un factor crítico a tener en cuenta durante el almacenamiento. La congelación a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ afectó a las frutas, con pérdida de jugos en moras y pomelos, y daño celular en mamones, reduciendo su integridad estructural y color. En cambio, el análisis fisicoquímico mostró que la congelación no afectó significativamente el pH, acidez titulable y sólidos solubles.

Por otro lado, los compuestos bioactivos de las frutas fueron afectados por la congelación dependiendo el tipo de compuesto. Se observó una reducción significativa de polifenoles y flavonoides en moras, en cambio, las antocianinas aumentaron. En pomelo y mamón, la congelación incrementó los polifenoles y flavonoides, sin embargo, los carotenoides en mamón disminuyeron. Las semillas de mamón, generalmente desechadas, mostraron alto contenido de compuestos bioactivos, representando un recurso valioso que puede ser revalorizado para la formulación de matrices bioactivas. La congelación también afectó la textura de las frutas, disminuyendo la dureza y aumentando la elasticidad, mientras que la cohesividad y adhesividad variaron según la fruta. En base a estas observaciones sobre la textura, se generaron alternativas de uso para las frutas congeladas, ya sea para la incorporación de jugo y pulpa en las matrices desarrolladas o bien para uso como fruta cortada o láminas de fruta para recubrir.

Desarrollo de matrices con frutas para uso en recubrimientos y películas

Películas con moras

Las películas con jugo y pulpa de mora presentaron tonalidades atractivas que se intensificaron a mayor concentración de fruta, pero resultaron menos uniformes en espesor. Los ensayos de color mostraron una coloración intensa del violeta al magenta, con una disminución en la luminosidad y tonos menos amarillos, lo que las hace atractivas para la utilización en alimentos. En cuanto a sus propiedades fisicoquímicas el jugo y la pulpa aumentaron el contenido de humedad, la solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua, respecto al control. Por el contrario, el hinchamiento aumentó con jugo y disminuyó

con pulpa. Respecto a las propiedades mecánicas de las películas, el jugo de mora aumentó la elongación a la ruptura, mientras que la pulpa disminuyó este parámetro. La adición de jugo y pulpa de mora disminuyó significativamente el esfuerzo de tracción y el módulo elástico. Los resultados del SEM indicaron que las superficies de las películas con jugo de mora fueron más uniformes y continuas.

Los valores más altos de polifenoles, flavonoides y capacidad antioxidante fueron observados en películas con mayor concentración de jugo de moras, destacando el aporte significativo de compuestos bioactivos de esta fruta a las películas. Todas las formulaciones mostraron una estabilidad relativamente alta en soluciones ácidas. Además, las soluciones alcalinas indujeron cambios de color haciéndolas aptas como indicadores de pH en alimentos. Las películas con adiciones de jugo y pulpa de moras mostraron una mayor biodegradabilidad en compost vegetal en comparación con el control. Estos resultados indican el potencial de estos nuevos materiales poliméricos para aplicaciones ambientalmente amigables en la industria de envases y recubrimientos.

Películas con pomelo

Las suspensiones filmogénicas con jugo de pomelo presentaron un comportamiento pseudoplástico y se comportaron como un gel débil a todas las concentraciones ensayadas, siendo características reológicas acordes a este tipo de matrices basadas en almidón. El agregado de jugo y pulpa de pomelo aumentó el espesor de las películas y le otorgó una tonalidad amarilla manteniendo la luminosidad, lo que las torna visualmente atractivas para su uso en diferentes tipos de alimentos. En cuanto a sus propiedades fisicoquímicas el jugo y la pulpa aumentaron el contenido de humedad, la solubilidad y la permeabilidad al vapor de agua. Por el contrario, el hinchamiento disminuyó. En cuanto a las propiedades mecánicas de las películas, el jugo y la pulpa de pomelo tuvieron efectos positivos al disminuir la fuerza máxima y el módulo elástico y aumentar la elongación a la ruptura. Por otro lado, y a través del análisis de la microestructura de las películas, se pudo establecer una concentración máxima de jugo de pomelo a fin de evitar que la estructura se vuelva más porosa. También se incrementó el contenido de polifenoles, flavonoides y la actividad antioxidante con el agregado de estos ingredientes. La biodegradabilidad fue similar a ambas concentraciones de pulpa ensayadas pero menor que las películas con jugo, sin embargo, luego de 100 días el estado final fue igual para todas.

La incorporación del jugo y pulpa de pomelo en la matriz de almidón de mandioca, glicerol y miel condujo a la obtención de películas con mejores propiedades físicas y tecnológicas.

Películas con jugo de pomelo y pulpa de mamón

El agregado de pulpa disminuyó el pH de las películas respecto del control, pero no modificó el comportamiento reológico de la suspensión filmogénica, excepto por un menor valor del esfuerzo de corte lo que sugiere un debilitamiento de la estructura. La pulpa volvió las películas visualmente más atractivas y de tonos amarillo-rojizos, aunque con igual luminosidad. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, la pulpa aumentó el espesor, la permeabilidad al vapor de agua y el hinchamiento respecto del control. La humedad y la solubilidad no se vieron modificadas. El comportamiento mecánico fue el mismo que en las películas con jugo y pulpa de pomelo, disminuyó la fuerza máxima y el módulo elástico y aumentó la elongación a la ruptura. La presencia de pulpa aumentó el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante. A su vez, las películas fueron más estables en medio alcalino que en medio neutro o ácido. En cuanto al perfil de biodegradación, las películas siguieron un patrón de degradación temporal igual al de las películas con solo jugo de pomelo.

Aplicaciones de las matrices frutales desarrolladas

- **Envase de producto cárnico a partir de películas a base de miel y pulpa de pomelo**

Las películas utilizadas resaltaron el brillo y el color rojizo del producto siendo este efecto más marcado en las películas usadas como control. Estas últimas, además preservaron el color del producto sin cambios luego de 6 días de almacenamiento refrigerado. El pH de los productos almacenados y refrigerados se mantuvo bajo con el uso de las películas respecto del control. La humedad y la a_w de las hamburguesas disminuyeron levemente luego del almacenamiento refrigerado. El uso de películas y el almacenamiento no generó cambios importantes en el contenido de polifenoles del producto, pero sí en el contenido de flavonoides y de la actividad antioxidante. Las películas fueron efectivas al retardar el proceso de peroxidación lipídica en las muestras envasadas, en particular la película control hasta el día 3. Sin embargo, este efecto disminuyó al aumentar el tiempo de almacenamiento donde se observó un incremento en los valores de TBARS, al igual que en la hamburguesa sin envasar.

- **Recubrimiento de frutas con matrices a base de miel y jugo de pomelo**

El agregado de jugo de pomelo produjo en los snacks de moras un aumento en la coloración rojiza que mejoró el aspecto visual del snack. Por otro lado, las muestras recubiertas y sin recubrir mostraron valores similares en el contenido de humedad, sólidos solubles totales y pH. Si bien las moras recubiertas presentaron mayor actividad acuosa, su valor permaneció en el rango de aceptación microbiológica en alimentos.

Luego del secado, se halló un incremento en el contenido de flavonoides y en la actividad antioxidante de los laminados con recubrimiento a base de pomelo, mostrando la aptitud de las matrices para proteger los compuestos activos en el alimento final. Por otro lado, las moras recubiertas mantuvieron sus atributos de aceptabilidad global, acidez, dulzor y color con respecto a la fruta sin recubrir, obteniendo una buena aceptación por parte del panel de evaluadores.

Por lo tanto, la aplicación de recubrimientos con jugo de pomelo mejoró las características fisicoquímicas y la aptitud microbiológica de las frutas mínimamente procesadas, como así también sus atributos sensoriales. Además, dichos recubrimientos protegieron los compuestos bioactivos de la fruta lo que posibilitaría obtener snacks potencialmente saludables. Ello condujo a la aplicación de los laminados frutales en una formulación de granola con buena aceptación sensorial por parte de consumidores de este tipo de productos.

- **Desarrollo de un snack con las matrices generadas**

Los snacks formulados presentaron buenas características fisicoquímicas y se mejoró el perfil nutricional cuando se incorporaron los laminados y matriz de almidón, miel y jugo de pomelo al snack base, a fin de obtener el snack frutal. Por lo tanto, la utilización de láminas de frutas permite incluir compuestos beneficiosos para la salud en la formulación de alimentos de consumo habitual como los snacks. Sin embargo, la formulación del snack frutal incluyó miel, resultando en un producto con exceso de azúcares de acuerdo a la normativa vigente de etiquetado frontal. Las diferencias en la composición de ambos snacks se reflejaron también en la textura de ambos. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron que el snack frutal fue más aceptado que el snack base probablemente debido a su mayor dulzor percibido por los evaluadores.

Resumiendo

La creación de matrices multipropósito, utilizando almidón de mandioca, miel y otros materiales regionales, ha permitido la elaboración de recubrimientos comestibles y películas para envases de alimentos. Estas matrices demostraron ser eficientes para vehicular y proteger compuestos bioactivos de las frutas, mejorando así su aplicabilidad en la industria alimentaria. Además, estas matrices ofrecen la ventaja de poder incorporar una variedad de compuestos de interés nutricional y funcional, ampliando su utilidad.

Los recubrimientos comestibles mostraron ser efectivos para mantener el sabor de las frutas, protegiendo sus compuestos bioactivos. Las películas elaboradas a partir de diferentes combinaciones de ingredientes regionales han demostrado propiedades físicoquímicas, mecánicas y de biodegradabilidad adecuadas para su uso en envases de alimentos, mostrando potencial para la conservación y calidad de productos cárnicos.

En cuanto a las aplicaciones prácticas de los productos desarrollados, se destaca el mejoramiento de la calidad y perfil nutricional de los snacks frutales. Sin embargo, es importante tener en cuenta las implicaciones en el contenido de azúcares de los snacks frutales, según las normativas de etiquetado frontal vigentes.

Como resultado de las investigaciones realizadas en esta tesis también se destaca las implicancias sociales derivadas de la utilización de pomelos, mamones y moras de plantas de la región chaqueña que están al alcance de la población, pero sin un mayor aprovechamiento de sus compuestos nutricionales. La utilización de frutos regionales no sólo aporta una variedad de sabores únicos, sino que también tiene un impacto significativo en la población local y su economía. Al incorporar ingredientes locales, se promueve el desarrollo sostenible de las comunidades agrícolas, generando empleo y fortaleciendo la cadena de valor de los productos regionales. Las materias primas que se han utilizado, como así también los procedimientos llevados a cabo con equipamiento sencillo y de bajo costo, permitirían incorporar las matrices desarrolladas en formulaciones de alimentos y de envases. A su vez, se contribuiría a la salud y a la nutrición de la población, particularmente niños y jóvenes, que se verían beneficiados al adquirir alimentos potencialmente funcionales y de bajo costo en envases biodegradables.

En resumen, esta investigación ha demostrado el potencial de los recursos regionales para la obtención de matrices multipropósito en la industria de alimentos, ofreciendo soluciones innovadoras para la conservación, envasado y formulación de alimentos funcionales, con beneficios tanto para la salud como para la industria alimentaria.

7. REFERENCIAS

- Abdallah, M. R., Mohamed, M. A., Mohamed, H. M. & Emara, M. M. (2017). Improving the sensory, physicochemical and microbiological quality of pastirma (A traditional dry cured meat product) using chitosan coating. *LWT Food Science and Technology*, 86, 247-253.
- Abdel-Kader, M., El-Mougy, N. & Lashin, S. (2011). Evaluation of grapefruit coating with chemical preservatives as control measure against postharvest decay. *Phytopathologia*, 59, 25-38.
- Abdel-Salam, M. M. (2016). Improving grapefruit quality during storage life by using some coating materials on different temperature. *Middle East J*, 5(1), 29-36.
- Afshin, A., Sur, P. J., Fay, K. A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J. S., ... & Murray, C. J. (2019). Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 393 (10184), 1958-1972.
- Agrahar-Murugkar, D., Gulati, P. & Gupta, C. (2020). Fuzzy logic analysis of sensory attributes of snack bars prepared from multi-nutrient composite flour and natural binding agents. *Journal of Agricultural Engineering*, 57, 25-39.
- Aguirre Calvo, T. R., Santagapita, P. R. & Perullini, M. (2019). Functional and structural effects of hydrocolloids on Ca (II)-alginate beads containing bioactive compounds extracted from beetroot. *LWT Food Science and Technology*, 111, 520-526.
- Ahaotu, I., Ichendu, M. O. & Maduka, N. (2022). Microbiological, nutritional and sensory evaluation of snack bars developed using Bambara groundnut (*Vigna subterranean* L.) and maize (*Zea mays*). *African Journal of Microbiology Research*, 16, 8-23.
- Ahmad, S., Din, A. & Khan, M.R. (2024). Characterization of fresh and pre-treated dehydrated mango (*Mangifera Indica* L.) slices with respect to proximate, physicochemical, antioxidant and sensorial attributes. *Food Measure*, 18, 571-580.
- Alegbeleye, O., Odeyemi, O. A., Strateva, M. & Stratev, D. (2022). Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. *Applied Food Research*, 2, 100122.
- Ali, A., Xie, F., Yu, L., Liu, H., Meng, L., Khalid, S. & Chen, L. (2017). Preparation and characterization of starch-based composite films reinforced by polysaccharide-based crystals. *Composites Part B: Engineering*, 133, 122-128.

- Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., Özcan, M. M., Jahurul, M. H. A., Babiker, E. E., Jinap, S. Sahena, F., Sharifudin M.S. & Zaidul, I. S. M. (2018). Effect of various food processing and handling methods on preservation of natural antioxidants in fruits and vegetables. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 3872-3880.
- Al-Khayri, J.M., Sahana, G.R., Nagella, P., Joseph, B.V., Alessa, F.M. & Al-Mssallem, M.Q. (2022). Flavonoids as potential anti-inflammatory molecules: A Review. *Molecules*, 27, 2901.
- Allai, F. M., Dar, B. N., Gul, K., Adnan, M., Ashraf, S. A., Hassan, M. I., ... & Azad, Z. R. A. A. (2022). Development of protein rich pregelatinized whole grain cereal bar enriched with nontraditional ingredient: nutritional, phytochemical, textural, and sensory characterization. *Frontiers in Nutrition*, 9, 870819.
- Aloui, H., Khwaldia, K., Sánchez-González, L., Muneret, L., Jeandel, C., Hamdi, M. & Desobry, S. (2014). Alginate coatings containing grapefruit essential oil or grapefruit seed extract for grapes preservation. *International Journal of Food Science & Technology*, 49, 952-959.
- Alves, V. D., Mali, S., Beléia, A. & Grossmann, M. V. E. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. *Journal of Food Engineering*, 78, 941-946.
- Ancos, B., Ibañez, E., Reglero, G. & Cano, M. P. (2000). Frozen storage effects on anthocyanins and volatile compounds of raspberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48.
- AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Chemists, 1990, 15^a Ed.
- Apablaza, O., Basilio, A. M., Ciappini, M. C., Fagundez, G. A., Gaggiotti, M. D. C., Gutiérrez, A., Salgado, C. R. & Winter, J. (2019). Guía para la caracterización de mieles argentinas. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación*.
- Argenfoods. Capítulo Nacional de la Red Internacional de Sistemas de Datos de Alimentos. Tablas de Composición Química de los alimentos de la Universidad Nacional de Luján. *Argenfoods – FAO*, <http://www.argenfoods.unlu.edu.ar>
- ASTM - American Society for Testing and Materials. (2000). E-96. Standard test methods for water vapor transmission of materials. Annual Book for ASTM Standards. ASTM, Philadelphia.

- ASTM - American Society for Testing and Materials. (2012). D882. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Annual Book for ASTM Standards. ASTM, Philadelphia.
- Avallone, C. M., Montenegro S., Gruszycki A. & Cravzov A. (1997). Mamón (*Carica Papaya*) y sandía (*Citrullus Vulgaris* Schrad) mínimamente procesada: Cobertura más favorable para su conservación. *Facultad de Agroindustrias, 1*, 13-15.
- Avallone, C. M., Cravzov, A. L., Montenegro, S. B. & Pellizzari, E. (2000). Estudio de la actividad de polifeniloxidasas y peroxidasas en *Carica papaya* L. mínimamente procesada. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, UNNE, Argentina*.
- Ayala-Zavala, J. F., Vega-Vega, V., Rosas-Domínguez, C., Palafox-Carlos, H., Villa-Rodríguez, J. A., Siddiqui, M. W. & González-Aguilar, G. A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International, 44*, 1866-1874.
- Azarkan, M., El Moussaoui, A., Van Wuytswinkel, D., Dehon, G. & Looze, Y. (2003). Fractionation and purification of the enzymes stored in the latex of *Carica papaya*. *Journal of Chromatography B, 790*, 22.
- Baldi Coronel, B. (2010). La miel: una mirada científica. *Universidad Nacional de Entre Ríos*.
- Banerjee, P. & Ray, D. P. (2019). Functional food: A brief overview. *International Journal of Bioresource Science, 6*, 57-60.
- Bangyekan, C., Aht-Ong, D. & Srikulkit, K. (2006). Preparation and properties evaluation of chitosan-coated cassava starch films. *Carbohydrate polymers, 63*, 61-71.
- Barragán-Iglesias, J., Méndez-Lagunas, L. L. & Rodríguez-Ramírez, J. (2018). Ripeness indexes and physicochemical changes of papaya (*Carica papaya* L. cv. Maradol) during ripening on-tree. *Scientia Horticulturae, 236*, 272-278.
- Barzegar, H., Behbahani, B. A. & Mehrnia, M. A. (2020). Quality retention and shelf life extension of fresh beef using *Lepidium sativum* seed mucilage-based edible coating containing *Heracleum lasiopetalum* essential oil: an experimental and modeling study. *Food Science and Biotechnology, 29*, 717-728.
- Baschetti, M. G. & Minelli, M. (2020). Test methods for the characterization of gas and vapor permeability in polymers for food packaging application: A review. *Polymer Testing, 89*, 106606.

- Basiri, S., Haidary, N., Shekarforoush, S. S. & Niakousari, M. (2018). Flaxseed mucilage: A natural stabilizer in stirred yogurt. *Carbohydrate Polymers*, 187, 59-65.
- Bchir, B., Jean-François, T., Rabetafika, H. N. & Blecker, C. (2018). Effect of pear apple and date fibres incorporation on the physico-chemical, sensory, nutritional characteristics and the acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 24, 198-208.
- Becerril-Sánchez, A. L., Quintero-Salazar, B., Dublán-García, O. & Escalona-Buendía, H. B. (2021). Phenolic compounds in honey and their relationship with antioxidant activity, botanical origin, and color. *Antioxidants*, 10, 1700.
- Belhadj Slimen, I., Najar, T. & Abderrabba M. (2017). Chemical and antioxidant properties of betalains. *J Agric. Food Chem.*, 4, 675-689.
- Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Karlović, S., Djaković, S., Špoljarić, I., Mršić, G. & Ježek, D. (2015). Improving the controlled delivery formulations of caffeine in alginate hydrogel beads combined with pectin, carrageenan, chitosan and psyllium. *Food Chemistry*, 167, 378-386.
- Bemiller, N. & Whistler, R. L. (1996). "Carbohydrates" In: O. R. Fennema, Ed., *Food Chemistry*, Marcel Dekker, New York, 157-225.
- Ben, Z. Y., Samsudin, H. & Yhaya, M. F. (2022). Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. *European Polymer Journal*, 175, Article 111377.
- Bergo, P., Sobral, P. J. D. A. & Prison, J. M. (2010). Effect of glycerol on physical properties of cassava starch films. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34, 401-410.
- Bertuzzi, M. A., Armada, M. & Gottifredi, J. C. (2007). Physicochemical characterization of starch based films. *Journal of food engineering*, 82, 17-25.
- Bharati, M. H., Liu, J. J. & Mac Gregor, J. F. (2004). Image texture analysis: methods and comparisons. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, 72, 57-71.
- Bhatta, S., Stevanovic Janezic, T. & Ratti, C. (2020). Freeze-Drying of Plant-Based Foods. *Foods*, 1, 87.
- Blancas-Benitez, F. J., Montaña-Leyva, B., Aguirre-Güitrón, L., Moreno-Hernández, C. L., Fonseca-Cantabrana, A., Romero-Islas, L.C. & González-Estrada, R. R. (2022). Impact of edible coatings on quality of fruits: A review. *Food Control*, 139, 109063.

- Bof, M.J., Jiménez, A., Locaso, D.E., Garcia, M.A. & Chiralt, A. (2016). Grapefruit seed extract and lemon essential oil as active agents in corn starch - chitosan blend films. *Food Bioprocess Technol*, 9, 2033–2045.
- Borneo, R., León, A. E., Aguirre, A., Ribotta, P. & Cantero, J. J. (2009). Antioxidant capacity of medicinal plants from the province of Córdoba (Argentina) and their in vitro testing in a model food system. *Food Chemistry*, 112, 664-670.
- Bouarab-Chibane, L., Ouled-Bouhedda, B., Leonard, L., Gemelas, L., Bouajila, J., Ferhout, H., ... & Oulahal, N. (2017). Preservation of fresh ground beef patties using plant extracts combined with a modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology*, 243, 1997-2009.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Cabrera, M., Perez, M., Gallez, L., Andrada, A. & Balbarrey, G. (2017). Colour, antioxidant capacity, phenolic and flavonoid content of honey from the Humid Chaco Region, Argentina. *Phyton*, 86, 124.
- Caceres, P. J., Martinez-Villaluenga, C., Amigo, L. & Frias, J. (2014). Maximising the physicochemical content and antioxidant activity of Ecuadorian brown rice sprouts through optimal germination conditions. *Food Chemistry*, 152, 407–414
- Caetano, K. D. S., Hessel, C. T., Tondo, E. C., Flôres, S. H. & Cladera-Olivera, F. (2017). Application of active cassava starch films incorporated with oregano essential oil and pumpkin residue extract on ground beef. *Journal of Food Safety*, 37, e12355.
- Caicedo, C., Díaz-Cruz, C. A., Jiménez-Regalado, E. J. & Aguirre-Loredo, R. Y. (2022). Effect of plasticizer content on mechanical and water vapor permeability of maize starch/PVOH/Chitosan composite films. *Materials*, 15, 1274.
- Camelo, A. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*.
- Canizares, D. & Mauro, M.A. (2015). Enhancement of quality and stability of dried papaya by pectin-based coatings as air-drying pretreatment. *Food Bioprocess Technology*, 8, 1187-1197.
- Cardoso Reis, R.C., Viana, E.S., da Silva, S.C.S., Mamede, M.E.O. & Araújo, Í.M.S. (2018). Stability and sensory quality of dried papaya. *Food and Nutrition Sciences*, 9, 489-501.

- Castricini, A., Coneglian, R.C.C. & Deliza, R. (2012). Starch edible coating of papaya: effect on sensory characteristics. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 32, 84-92.
- Chantawee, K. & Riyajan, S. A. (2019). Effect of glycerol on the physical properties of carboxylated styrene-butadiene rubber/ cassava starch blend films. *Journal of Polymers and the Environment*, 27, 50-60.
- Choi, E.J., Park J.B., Yoon, K.D. & Bae, S.K. (2014). Evaluation of the in vitro/in vivo potential of five berries (bilberry, blueberry, cranberry, elderberry, and raspberry ketones) commonly used as herbal supplements to inhibit uridine diphospho-glucuronosyltransferase. *Food and Chemical Toxicology*, 72, 13-19.
- Código Alimentario Argentino.
<https://www.argentina.gob.ar/anmat/codigoalimentario>
- Coello, K. E., Frias, J., Martinez-Villaluenga, C., Cartea, M. E., Velasco, P. & Penas, E. (2022). Manufacture of healthy snack bars supplemented with moringa sprout powder. *LWT Food Science and Technology*, 154, 112828.
- Cömert, E. D., Mogol, B. A. & Gökmen, V. (2020). Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*, 2, 1-10.
- Conte-Junior, C.A., Monteiro, M.L.G., Patrícia, R., Mársico, E.T., Lopes, M.M, Alvares, T.S. & Mano, S.B. (2020). The effect of different packaging systems on the shelf life of refrigerated ground beef. *Foods*, 9, 495.
- Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., Corona-Rangel, M. L., Ventura-Aguilar, R.I., Jiménez-Pérez, J. L., Cruz-Orea, A., Fonseca-García, A., López-Gamboa, G. & Olvera-Cano, L., I. (2023). Morphological, optical and thermal properties of bioactive-chitosan nanostructured edible films for food packaging applications. *Food Biophysics*, 19, 207–218.
- Czech, A., Zarycka, E., Yanovych, D., Zasadna, Z., Grzegorzczuk, I. & Kłys, S. (2020). Mineral content of the pulp and peel of various citrus fruit cultivars. *Biological Trace Element Research*, 193, 555-563.
- Das, A., Uppaluri, R. & Das, C. (2019). Feasibility of poly-vinyl alcohol /starch /glycerol /citric acid composite films for wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 998-1007.
- da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O. & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food chemistry*, 196, 309-323.

- Davoodi, M., Kavooosi, G. & Shakeri, R. (2017). Preparation and characterization of potato starch-thymol dispersion and film as potential antioxidant and antibacterial materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 173 - 179.
- de Vasconcellos Santos Batista, D., Cardoso Reis, R., Mota Almeida, J., Rezende, B., Dórea Bragança, C.A. & da Silva, F. (2020). Edible coatings in post-harvest papaya: impact on physical - chemical and sensory characteristics. *Journal of Food Science and Technology*, 57, 274 - 281.
- Deighton, N., Brennan, R., Fin, C. & Davies H.V. (2000). Antioxidant properties of domesticated and wild *Rubus* species. *Huck Institutes of the Life Sciences*, 9, 1307-1313.
- Deladino L., Anbinder P.S., Navarro A.S. & Martino M.N. (2008). Encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis*. *Carbohydrate Polymers*, 71, 126-134.
- Deladino L., Navarro A. & Martino M. (2007). Encapsulation of active compounds: ionic gelation and co-crystallization as case studies. *Functional Properties of Food Components*, C. Lupano (Ed.), Research Signpost, 125-157.
- Deladino L., Navarro A.S. & Martino M.N. (2013). Carrier systems for yerba mate extract (*Ilex paraguariensis*) to enrich instant soups. Release mechanisms under different pH conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 53, 163-169.
- Demarchi, S. M., Quintero Ruiz, N.A., Concellón A. & Giner, S. (2013). Effect of temperature on hot-air drying rate and on retention of antioxidant capacity in apple leathers. *Food and Bioproducts Processing*, 91, 310-318.
- de Oliveira, E. J., Dias, N. L. P. & Dantas, J. L. L. (2012). Selection of morpho-agronomic descriptors for characterization of papaya cultivars. *Euphytica*, 185, 253-265.
- de Oliveira Filho, J. G., Braga, A. R. C., de Oliveira, B. R., Gomes, F. P., Moreira, V. L., Pereira, V. A. C. & Egea, M. B. (2021). The potential of anthocyanins in smart, active, and bioactive eco-friendly polymer-based films: A review. *Food Research International*, 142, 110202.
- Dhall, R. K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review, critical reviews. *Food Science and Nutrition*, 5, 435-450.
- Dias, F. D. S. L., Passos, M. E. A., do Carmo, M. D. G. T., Lopes, M. L. M. & Mesquita, V. L. V. (2015). Fatty acid profile of biscuits and salty snacks consumed by Brazilian college students. *Food Chemistry*, 171, 351-355.

- Díaz, L. D., Fernández-Ruiz, V. & Cámara, M. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling. *Journal of Functional Foods*, 68, 103896.
- Dini, C., Doporto M.C., Viña S.Z. & García M.A. (2014). Cassava flour and starch as differentiated ingredients for gluten free products. Molinari FP, editor. Cassava: Production, Nutritional Properties and Health Effects. 1ª ed. New York: Nova Science Publishers. 87-114.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M. & Robledo, C. W., InfoStat version (2014). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Durmus, N., Capanoglu, E. & Kilic-Akyilmaz, M. (2021). Activity and bioaccessibility of antioxidants in yoghurt enriched with black mulberry as affected by fermentation and stage of fruit addition. *International Dairy Journal*, 117, 105018.
- Ercisli, S. & Orhan, E. (2007). Chemical composition of white (*Morus alba*), red (*Morus rubra*) and black (*Morus nigra*) mulberry fruits. *Food Chemistry*, 103, 1380-1384.
- Erna, K. H., Felicia, W. X. L., Rovina, K., Vonnice, J. M. & Huda, N. (2022). Development of curcumin/rice starch films for sensitive detection of hypoxanthine in chicken and fish meat. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 3, 100189.
- Espada-Bellido, E., Ferreiro-González, M., Carrera, C.A., Palma, M., Barroso, C.G. & Barbero G.F. (2017). Optimization of the ultrasound-assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds in mulberry (*Morus nigra*) pulp. *Food Chemistry*, 219, 23-32.
- Eydurán, S. P., Ercisli, S., Akin, M., Beyhan, O., Geçer, M. K., Eydurán, E. & Ertürk, Y. E. (2015). Organic acids, sugars, vitamin C, antioxidant capacity, and phenolic compounds in fruits of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry genotypes. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88.
- Fan, Y., Zhang, L., Wang, X., Wang, K., Wang, L., Wang, Z., ... & Wang, C. (2022). Rheological thixotropy and pasting properties of food thickening gums orienting at improving food holding rate. *Applied Rheology*, 32, 100-121.
- FAO (2020). Frutas y verduras – esenciales en tu dieta. *Año Internacional de las Frutas y Verduras, 2021. Documento de antecedentes*. Roma.

- FAO (2020). Norma para la quinua CXS 333-2019. Adoptada en 2019. Enmendada en 2020. Recuperado en:
https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B333-2019%252FCXS_333s.pdf
- Farroni, A. E. (2011). Transformaciones estructurales y fisico-químicas de maíces argentinos en la producción de alimentos obtenidos por procesos de gelatinización-laminación (Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires).
- Faúndez, X., Báez, M. E., Martínez, J., Zúñiga-López, M. C., Espinoza, J. & Fuentes, E. (2023). Evaluation of the generation of reactive oxygen species and antibacterial activity of honey as a function of its phenolic and mineral composition. *Food Chemistry*, 426, 136561.
- Fauster, T., Giancaterino, M., Pittia, P. & Jaeger, H. (2020). Effect of pulsed electric field pretreatment on shrinkage, rehydration capacity and texture of freeze-dried plant materials. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 121, 108937.
- Fennema, O. R., Damodaran, S. & Parkin, K. L. (2007). Introduction to Food Chemistry. In *Fennema's Food Chemistry*, 13-28.
- Fenoglio, D., Madrid, D. S., Moyano, J. A., Ferrario, M., Guerrero, S. & Matiacevich, S. (2021). Active food additive based on encapsulated yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract: effect of drying methods on the oxidative stability of a real food matrix (mayonnaise). *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1574-1584.
- Fernández, N.L., Montenegro, S.B., Yamul, D.K. & Navarro, A.S. (2016). Parámetros fisicoquímicos de calidad y textura de frutos del noreste argentino sometidos a almacenamiento congelado. *Libro de Actas VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC)*. Córdoba. 2-4/11/16.
- Fernández, N.L., Montenegro, S.B., Yamul, D.K. & Navarro, A.S. (2017). Efecto del almacenamiento congelado sobre los parámetros de calidad y textura de moras (*Rubus* sp) del noreste argentino. *Libro de Actas I Congreso Argentino de Biología y Tecnología Postcosecha*. Concordia, Entre Ríos, 25-27/10/17.
- Fernández, N.L., Montenegro, S.B., Yamul, D.K. & Navarro, A.S. (2018). Películas biodegradables a base de almidón de mandioca con incorporación de glicerol y miel como

agentes plastificantes. *Libro de Actas VII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICYTAC)*. Córdoba. 1-3/10/18.

- Fernández, N.L., Montenegro, S.B., Yamul, D.K. & Navarro, A.S. (2019a). Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de películas biodegradables de almidón de mandioca con jugo de pomelo (*Citrus grandis*) del noreste argentino. *Libro de Actas XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos & XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL)*. Buenos Aires, 20-22/11/19.
- Fernández, N.L., Montenegro, S.B., Yamul, D.K. & Navarro, A.S. (2019b). Efecto de jugo y pulpa de pomelo (*Citrus grandis*) del noreste argentino sobre parámetros fisicoquímicos y propiedades de barrera de películas biodegradables de almidón de mandioca. *Libro de Actas XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos & XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL)*. Buenos Aires, 20-22/11/19.
- Ferraz, C.R., Carvalho, T.T., Manchope, M.F., Artero, N.A., Rasquel-Oliveira, F.S., Fattori, V., Casagrande, R. & Verri, W.A. (2020). Therapeutic potential of flavonoids in pain and inflammation: Mechanisms of action, pre-clinical and clinical data, and pharmaceutical development. *Molecules*, 25, 762.
- Franceschinis, L., Salvatori, D., Sosa, N. & Schebor, C. (2014). Physical and functional properties of blackberry freeze- and spray-dried powders. *Drying Technology: An International Journal*, 32, 197 - 207.
- Fuertes, S. P. & Navarro, A. S. (2011). Caracterización de barras de cereal fortificadas con calcio y vitamina C protegidos en una matriz de hidrocoloides. *Libro de Actas XIII Congreso de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Argentina*.
- Gagneten, M., Pieniazek, F., Archaina, D., Messina, V., Salvatori, D. & Schebor, C. (2023). Texture study of gluten-free cookies added with fibre by instrumental, image and sensory analysis. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17, 1-11.
- Gallego, M.G., Gordon, M.H., Segovia, F. & Almajano Pablos, M.P. (2016). Gelatine-based antioxidant packaging containing *Caesalpinia decapetala* and Tara as a coating for ground beef patties. *Antioxidants*, 5, 10.
- Gallo, M.A., Yamul, D.K. & Navarro, A.S. (2017). Matrices poliméricas eco-compatibles a base de extracto de yerba mate para la conservación de alimentos. *Libro de Actas VII Congreso Sudamericano de la Yerba Mate*. Erechim, Brasil, 16-18/5/17.

- Gamel, T. H., Wright, A. J., Tucker, A. J., Pickard, M., Rabalski, I. Podgorski, M., Di Ilio, N., O'Brien, Ch. & Abdel-Aal, E-S. M. (2019). Absorption and metabolites of anthocyanins and phenolic acids after consumption of purple wheat crackers and bars by healthy adults. *Journal of Cereal Science*, 86, 60–68.
- Gancel, A. L., Feneuil, A., Acosta, O., Pérez, A. M. & Vaillant, F. (2011). Impact of industrial processing and storage on major polyphenols and the antioxidant capacity of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichus*). *Food Research International*, 44, 2243-2251.
- Gao, W., Zhu, J., Kang, X., Wang, B., Liu, P., Cui, B. & Abd El-Aty, A. M. (2021). Development and characterization of starch films prepared by extrusion blowing: The synergistic plasticizing effect of water and glycerol. *LWT, Food Science and Technology*, 148, 111820.
- Garcia, C. C., Caetano, L.C., Souza Silva, K. & Mauro, M.A. (2014). Influence of edible coating on the drying and quality of Papaya (*Carica papaya*). *Food and Bioprocess Technology*, 7, 2828–2839.
- García, M. A., Martino, M.N. & Zaritzky, N.E. (1998). Plasticized starch-based coatings to improve strawberry (fragaria × ananassa) quality and stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 9, 3758-3767.
- García, M. A., Pinotti, A., Martino, M. N. & Zaritzky, N. E. (2009). Characterization of starch and composite edible films and coatings. *Edible films and coatings for food applications*, 169-209.
- Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Mayor, L., Ballesteros, R., Conidi, C. & Cassano, A. (2015). Optimization of conventional and ultrasound assisted extraction of flavonoids from grapefruit (*Citrus paradisi* L.) solid wastes. *LWT-Food Science and Technology*, 64, 1114-1122.
- Gerasopoulos, D. & Stavroulakis, G. (1997). Quality characteristics of four Mulberry (*Morus sp*) cultivars in the area of Chania, Greece. *Science of foods and agriculture*, 73, 261-264.
- Ghanbarzadeh, B., Almasi, H. & Entezami, A. A. (2011). Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. *Industrial Crops and products*, 33, 229-235.

- Giboreau, A., Cuvelier, G. & Launay, B. (1994). Rheological behaviour of three biopolymer/water systems, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. *Journal of Texture Studies*, 25, 119-138.
- Giraldo Pineda, C., Yamul, D. K. & Navarro, A. S. (2021). Effect of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) flour and yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract on physicochemical and sensory properties of a gluten free corn-based snack. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3890-3901.
- Giusti, M. M. & Wrolstad, R.E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*, 14, 217-225.
- Gnanamangai, B. M., Ramachandran, G., Maruthupandy, M., Priya, V. M., Karthikeyan, G., Mothana, R. A., ... & Nasr, F. A. (2022). Bioactive compounds coated 2D scaffold from seeds of *Carica papaya* for bacterial and parasitic skin infections. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, 101778.
- Gökmen, V. & Morales, F. J. (2014). Processing contaminants: hydroxymethylfurfural. *Encyclopedia of Food Safety*, 404-408.
- Golovinskaia, O. & Wang, C. K. (2023). The hypoglycemic potential of phenolics from functional foods and their mechanisms. *Food Science and Human Wellness*, 12(4), 986-1007.
- Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., León-González, M. E. & Madrid, Y. (2019). Citrus peels waste as a source of value-added compounds: Extraction and quantification of bioactive polyphenols. *Food Chemistry*, 295, 289-299.
- Gómez-Mejía, E., Roriz, C. L., Heleno, S. A., Calhelha, R., Dias, M. I., Pinela, J., ... & Barros, L. (2021). Valorisation of black mulberry and grape seeds: Chemical characterization and bioactive potential. *Food Chemistry*, 337, 127998.
- González, A. & Alvarez Igarzabal, C. I. (2013). Soy protein–Poly (lactic acid) bilayer films as biodegradable material for active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 33, 289-296.
- González, R. C. & Woods, R. E. (2009). Digital Image Processing, Second edition. Prentice Hall.
- Groeneveld, I., Kanelli, M., Ariese, F. & Van Bommel, M. R. (2023). Parameters that affect the photodegradation of dyes and pigments in solution and on substrate – An overview. *Dyes and Pigments*, 210, 110999.

- Gundogdu, M., Muradoglu, F., Gazioglu Sensoy, R.I. & Yilmaz, H. (2011). Determination of fruit chemical properties of *Morus nigra* L., *Morus alba* L. and *Morus rubra* L. by HPLC. *Scientia Horticulturae*, 132, 37 - 41.
- Gullón, P., Astray, G., Gullón, B., Tomasevic, I. & Lorenzo, J. M. (2020). Pomegranate peel as suitable source of high-added value bioactives: Tailored functionalized meat products. *Molecules*, 25, 2859.
- Gunness, P., Kravchuk, O., Nottingham, S. M., D'Arcy, B. R. & Gidley, M. J. (2009). Sensory analysis of individual strawberry fruit and comparison with instrumental analysis. *Postharvest Biology and Technology*, 52, 164-172.
- Günter, E. A., Popeyko, O. V., Belozerov, V. S., Martinson, E. A. & Litvinets, S. G. (2020). Physicochemical and swelling properties of composite gel microparticles based on alginate and callus cultures pectins with low and high degrees of methyl esterification. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 863-870.
- Gupta, D. (2015). Methods for determination of antioxidant capacity: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 6, 546.
- Gutiérrez, T. J. (2018). Active and intelligent films made from starchy sources/blackberry pulp. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 2374-2391.
- Gutiérrez, T. J. & Alvarez, V. A. (2018). Bionanocomposite films developed from corn starch and natural and modified nano-clays with or without added blueberry extract. *Food Hydrocolloids*, 77, 407-420.
- Gutiérrez, T. J., Morales, N. J., Pérez, E., Tapia, M. S. & Famá, L. (2015). Physicochemical properties of edible films derived from native and phosphated cush-cush yam and cassava starches. *Food Packaging and Shelf Life*, 3, 1-8.
- Gutiérrez, T. J., Tapia, M. S., Pérez, E. & Famá, L. (2014). Edible films based on native and phosphated 80:20 waxy: normal corn starch. *Starch/Stärke*, 67, 90-97.
- Gutiérrez, T. J., Tapia, M. S., Pérez, E. & Famá, L. (2015). Structural and mechanical properties of edible films made from native and modified cush-cush yam and cassava starch. *Food Hydrocolloids*, 45, 211-217.
- Han, Z., Park, A. & Su, W. W. (2018). Valorization of papaya fruit waste through low-cost fractionation and microbial conversion of both juice and seed lipids. *RSC advances*, 8, 27963-27972.
- Herrera M.S., Fogar, R.A., Romero, M.C. & Judis, M.A. (2019). Efecto de la temperatura de secado sobre la retención de compuestos antioxidantes presentes en pulpa

de frutos de ñangapirí. *Libro de Actas XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos & XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL)*. Buenos Aires, 20-22/11/19.

- Hirashima, M., Takahashi, R. & Nishinari, K. (2005). Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. *Food hydrocolloids*, 19, 909-914.
- Hu, X., Liu, C., Zhang, H., Hossen, M. A., Sameen, D. E., Dai, J., Qin, W., Liu, Y. & Li, S. (2021). In vitro digestion of sodium alginate/pectin co-encapsulated *Lactobacillus bulgaricus* and its application in yogurt bilayer beads. *International Journal of Biological Macromolecules*, 193, 1050-1058.
- Hu, Z., & Zhong, Q. (2010). Determination of thiobarbituric acid reactive substances in microencapsulated products. *Food Chemistry*, 123, 794-799.
- Idigoras, G. (2014). Estado de la integración agroalimentaria en reglamentos técnicos, sanidad y calidad en el mercosur. *Grupo de países productores del sur*.
- International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). *Microorganisms in Foods 8* (2018).
- IRAM-INTA, Norma. 15933:1994 (2014). Miel. Determinación de la acidez libre.
- Irigoiti Y., Yamul D.K. & Navarro A.S. (2021b). Co-crystallized sucrose with propolis extract as a food ingredient: Powder characterization and antioxidant stability. *LWT Food Science and Technology*, 143, 111164.
- Isla, M. I., Craig, A., Ordoñez, R., Zampini, C., Sayago, J., Bedascarrasbure, E. & Maldonado, L. (2011). Physicochemical and bioactive properties of honeys from Northwestern Argentina. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1922-1930.
- Itle, R. A. & Kabelka, E. A. (2009). Correlation between L* a* b* color space values and carotenoid content in pumpkins and squash (*Cucurbita* spp.). *HortScience*, 3, 633-637.
- Iulietto, M. F., Sechi, P., Borgogni, E. & Cenci-Goga, B. T. (2015). Meat spoilage: a critical review of a neglected alteration due to ropy slime producing bacteria. *Italian Journal of Animal Science*, 14, 4011.
- Ixtaina, V. Y., Martínez, M. L., Spotorno, V., Mateo, C. M., Maestri, D. M., Diehl, B. W. & Tomás, M. C. (2011). Characterization of chia seed oils obtained by pressing and solvent extraction. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 166-174.

- Jayasena, V. & Cameron, I. (2008). °Brix/acid ratio as a predictor of consumer acceptability of Crimson seedless table grapes. *Journal of Food Quality*, 31,736-750.
- Jimoh, M. O., Afolayan, A. J. & Lewu, F. B. (2018). Suitability of Amaranthus species for alleviating human dietary deficiencies. *South African Journal of Botany*, 115, 65-73.
- Jovanovic - Malinovska, R., Kuzmanova, S. & Winkelhausen, E. (2014). Oligosaccharide profile in fruits and vegetables as sources of prebiotics and functional foods. *International Journal of Food Properties*, 17, 949-965.
- Kamiloglu, S., Serali, O., Unal, N. & Capanoglu, E. (2013). Antioxidant activity and polyphenol composition of black mulberry (*Morus nigra* L.) products. *Journal of Berry Research*, 1, 41-51.
- Karabagias, I. K., Badeka, A. & Kontominas, M.G. (2011). Shelf life extension of lamb meat using thyme or oregano essential oils and modified atmosphere packaging, *Meat Science*, 88,109-116.
- Karabagias, I. K., Badeka, A., Kontakos, S., Karabournioti, S. & Kontominas, M. G. (2014). Characterisation and classification of Greek pine honeys according to their geographical origin based on volatiles, physicochemical parameters and chemometrics. *Food chemistry*, 146, 548-557.
- Karaklajić-Stajić, Ž., Nikolić, M., Tomić, J., Miletić, R. & Pešaković, M. (2017). Influence of ripeness stage on the rate of pigment degradation in blackberry fruits during frozen storage. *European Journal of Horticultural Science*, 82, 198-203.
- Kattil, A., Dash, K. K., Shams, R. & Sharma, S. (2024). Nutritional composition, phytochemical extraction, and pharmacological potential of mulberry: A comprehensive review. *Future Foods*, 100295.
- Khalifa, I., Li, M., Mamet, T. & Li, C. (2019). Maltodextrin or gum Arabic with whey proteins as wall-material blends increased the stability and physiochemical characteristics of mulberry microparticles. *Food Bioscience*, 31, 100445.
- Kim, E. H. J., Corrigan, V. K., Hedderley, D. I., Motoi, L., Wilson, A. J. Y. & Morgenstern, M. P. (2009). Predicting the sensory texture of cereal snack bars using instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*. 40, 457-481.
- Klerks M., Román S., Verkerk R. & Sanchez-Siles L. (2022). Are cereal bars significantly healthier and more natural than chocolate bars? A preliminary assessment in the German market. *Journal of Functional Foods*. 89, 104940.

- Koca, I. & Karadeniz, B. (2009). Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 121, 447-450.
- Kocira, A., Kozłowicz, K., Panasiewicz, K., Staniak, M., Szpunar-Krok, E. & Horthyńska, P. (2021). Polysaccharides as edible films and coatings: Characteristics and influence on fruit and vegetable quality- A review. *Agronomy*, 11, 813.
- Kowalska, G., Wyrostek, J., Kowalski, R. & Pankiewicz, U. (2021). Evaluation of glycerol usage for the extraction of anthocyanins from black chokeberry and elderberry fruits. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 22, 100296.
- Kyrikou, I. & Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15, 125-150.
- Kupervaser, M.G., Traffano-Schiffo, M.V., Dellamea, M.L., Flores, S.K. & Sosa C.A. (2023). Trends in starch-based edible films and coatings enriched with tropical fruits extracts: a review. *Food Hydrocolloids for Health*, 4, 100138.
- Kutlu, T., Durmaz, G., Ateş, B., Yilmaz, I., M. & Çetin, Ş. (2011). Antioxidant properties of different extracts of black mulberry (*Morus nigra* L.). *Turkish journal of biology*, 35, 103 – 110.
- La Cava, E. L. & Sgroppo, S. C. (2015). Evolution during refrigerated storage of bioactive compounds and quality characteristics of grapefruit [*Citrus paradisi* (Macf.)] juice treated with UV-C light. *LWT-Food Science and Technology*, 63, 1325-1333.
- Lado, J., Rodrigo, M. J. & Zacarías, L. (2014). Maturity indicators and citrus fruit quality. *Stewart Postharvest Review*, 10, 1-6.
- Lado, J., Gambetta, G. & Zacarias, L. (2018). Key determinants of citrus fruit quality: Metabolites and main changes during maturation. *Scientia Horticulturae*, 233, 238-248.
- Lara-Espinoza, C., Carvajal-Millán, E., Balandrán-Quintana, R., López-Franco, Y. & Rascón-Chu, A. (2018). Pectin and pectin-based composite materials: Beyond food texture. *Molecules*, 23, 942.
- Lawless, H.T. & Heymann, H. (2010). Sensory evaluation of food. *Food Science Text Series*.
- Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., Bacandritsos, N. & Sabatini, A. G. (2004). Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering*, 64, 9–21.
- Lee, H. S. (2000). Objective measurement of red grapefruit juice color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1507-1511.

- Lee, J. S., Lee, E. S. & Han, J. (2020). Enhancement of the water-resistance properties of an edible film prepared from mung bean starch via the incorporation of sunflower seed oil. *Scientific Reports*, *10*, 1–15.
- Lezcano, E. (2013). Cadena Quínoa y Amaranto. Alimentos Argentinos.
- Li, D., Zhu, M., Liu, X., Wang, Y. & Cheng, J. (2020). Insight into the effect of microcapsule technology on the processing stability of mulberry polyphenols. *LWT Food Science and Technology*, *126*, 109144.
- Lim, W. S., Ock, S. Y., Park, G. D., Lee, I. W., Lee, M. H. & Park, H. J. (2020). Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Packaging and Shelf Life*, *26*, 100556.
- Link, J. V., Tribuzi, G., de Moraes, J. O. & Laurindo, J. B. (2018). Assessment of texture and storage conditions of mangoes slices dried by a conductive multi-flash process. *Journal of Food Engineering*, *239*, 8-14.
- Liu, F., Chang, W., Chen, M., Xu, F., Ma, J. & Zhong, F. (2020). Film-forming properties of guar gum, tara gum and locust bean gum. *Food Hydrocolloids*, *98*, 105007.
- Liu, Y., Qin, Y., Bai, R., Zhang, X., Yuan, L. & Liu, J. (2019). Preparation of pH-sensitive and antioxidant packaging films based on κ -carrageenan and mulberry polyphenolic extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, *134*, 993-1001.
- López, O. V., García, M. A. & Zaritzky, N. E. (2008). Film forming capacity of chemically modified corn starches. *Carbohydrate polymers* *73*, 573-581.
- López, O. V. & García, M. A. (2012). Starch films from a novel (*Pachyrhizusahipa*) and conventional sources: Development and characterization. *Materials Science and Engineering: C*, *32*, 1931-1940.
- López Córdoba A.F., Morales Valencia E.M., Pacheco Valderrama M.M. & Navarro A.S. (2016). Encapsulation of soursop (*Annona muricata*) fruit pulp in calcium alginate hydrogels. *Agronomía Colombiana*, *34*, 1315-1318.
- Lovera, N. N., Ramallo, L. A. & Salvadori, V. O. (2014). Effect of processing conditions on calcium content, firmness, and color of papaya in syrup. *Journal of Food Processing*.
- Lubbers, S. & Guichard, E. (2003). The effects of sugars and pectin on flavour release from a fruit pastille model system. *Food Chemistry*. *81*, 269–273.

- Luchese, C. L., Spada, J. C. & Tessaro, I. C. (2017a). Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. *Industrial Crops & Products*, 109, 619-626.
- Luchese, C. L., Sperotto, N., Spada, J. C. & Tessaro, I. C. (2017b). Effect of blueberry agro-industrial waste addition to corn starch-based films for the production of a pH-indicator film. *International journal of biological macromolecules*, 104, 11-18.
- Luciano, G., Monahan, F. J., Vasta, V., Pennisi, P., Bella, M. & Priolo, A. (2009). Lipid and colour stability of meat from lambs fed fresh herbage or concentrate. *Meat Science*, 82, 193-199.
- Lund, M. N. & Ray, C. A. (2017). Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23, 4537-4552.
- Macoris, M. S., De Marchi, R., Janzanti, N. S. & Monteiro, M. (2012). The influence of ripening stage and cultivation system on the total antioxidant activity and total phenolic compounds of yellow passion fruit pulp. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 1886-1891.
- Machado, A.P.F., Pasquel-Reátegui, J.L., Fernández Barbero, G. & Martínez, J. (2015). Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: a comparison with conventional methods. *Food Research International*, 77, 675 - 683.
- Mahmood, T., Anwar, F., Abbas, M., Boyce, M.C. & Saari, N. (2012). Compositional variation in sugars and organic acids at different maturity stages in selected small fruits from Pakistan. *National Library of Medicine*, 13, 1380-1392.
- Maldonado, G. E., Navarro, A. S. & Yamul, D. K. (2018). A comparative study of texture and rheology of Argentinian honeys from two regions. *Journal of Texture Studies*, 49, 424-433.
- Malik, M., Sindhu, R., Dhull, S. B., Bou-Mitri, C., Singh, Y., Panwar, S. & Khatkar, B. S. (2023). Nutritional composition, functionality, and processing technologies for Amaranth. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023, 1-24.
- Mandelbrot, B. B. (1982). *The fractal geometry of nature*. San Francisco, CA, USA: Freeman.
- Manual de Aplicación de Rotulado Nutricional Frontal (2021). Aplicación de la Ley N° 27642 y el Decreto N°151/22. ANMAT. Ministerio de Salud, Argentina. Disponible en:

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_manual_rotulado_nutricional_frontal.pdf

- Márquez, C. A. & De Michelis, A. (2008). Propriedades de leitos fixos durante a secagem por convecção de cerejas doces e ácidas e frutas de rosa mosqueta: Mudanças de volume e porosidade. *Ciênc. Tecnol. Alimentos*, 2, 311-316.
- Márquez, C. A. & De Michelis, A. (2011). Comparison of drying kinetics for small fruits with and without particle shrinkage considerations. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 1212-1218.
- Martínez, L., Cilla, I., Beltrán, J. A. & Roncalés, P. (2006). Antioxidant effect of rosemary, borage, green tea, pu-erh tea and ascorbic acid on fresh pork sausages packaged in a modified atmosphere: Influence of the presence of sodium chloride. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 1298-1307.
- Martins, J. T., Cerqueira, M. A., Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Souza, B. W. & Vicente, A. A. (2012). Synergistic effects between κ -carrageenan and locust bean gum on physicochemical properties of edible films made thereof. *Food Hydrocolloids*, 29, 280-289.
- Marui, T., Niyibizi, C., Georgescu, H.I., Cao, M., Kavalkovich, K.W., Levine, R.E. & Woo, S.L-Y. (1997). Effect of growth factors on matrix synthesis by ligament fibroblasts. *Journal of Orthopaedic Research*, 15, 18-23.
- Matheus, J. R. V., Miyahira, R. F. & Fai, A. E. C. (2021). Biodegradable films based on fruit puree: A brief review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 12, 2090-2097.
- Matsuura, F. C. A. U., Folegatti, M. I. D. S., Cardoso, R. L. & Ferreira, D. C. (2004). Sensory acceptance of mixed nectar of papaya, passion fruit and acerola. *Scientia Agricola*, 61, 604-608.
- Mazza, G. & Biliaderis, C. G. (1989). Functional properties of flax seed mucilage. *Journal of Food Science*, 54, 1302-1305.
- Medina Jaramillo, C. M., Gutiérrez, T. J., Goyanes, S., Bernal, C. & Famá, L. (2016). Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 51, 150-159.
- Memete, A. R., Teuşdea, A. C., Timar, A. V. & Vuşcan A. (2022). Effects of different edible coatings on the shelf life of fresh black mulberry fruits (*Morus nigra* L.). *Agriculture*, 12, 1068

- Mesiranta, N., Närvänen, E. & Mattila, M. (2021). Framings of food waste: how food system stakeholders are responsabilized in public policy debate. *Journal of Public Policy & Marketing*, 41, 144-161.
- Miller, V., Mente, A., Dehghan, M., Rangarajan, S., Zhang, X., Swaminathan, S., ... & Bangdiwala, S. I. (2017). Fruit, vegetable, and legume intake, and cardiovascular disease and deaths in 18 countries (PURE): a prospective cohort study. *The Lancet*, 390, 2037-2049.
- Mishra, G., Joshi, D. C. & Panda, B. K. (2014). Popping and puffing of cereal grains: a review. *Journal of Grain Processing and Storage*, 1, 34-46.
- Modesto, J. H., Souza, J. M. A., Ferraz, R. A., Silva, M. S., Leonel, M. & Leonel, S. (2020). Physical and chemical characterization and bioactive compounds from blackberry under calcium chloride application. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 42, e42449-e42449.
- Mohanty, A. K., Misra, M. & Drzal, L. T. (2005). Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites, *Taylor & Francis Group*, 896.
- Mokhtari, S., Jafari S.M. & Assadpour, E. (2017). Development of a nutraceutical nano delivery system through emulsification/internal gelation of alginate. *Food Chemistry*, 229, 286-295.
- Momanyi, D., Owino, W. & Makokha, A. (2020). Formulation, nutritional and sensory evaluation of baobab-based ready-to-eat sorghum and cowpea blend snack bars. *Scientific African*. 7 e00215.
- Moshood, T. D., Nawanir, G., Mahmud, F. B., Mohamad, F., Ahmad, M. H. & AbdulGhani, A. (2022). Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution? *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 5, 100273.
- Moy, J. H. (2003). Papayas. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second edition), Academic Press, 4345-4351.
- Munekata, P. E. S., Rocchetti, G., Pateiro, M., Lucini, L., Domínguez, R. & Lorenzo, J. M. (2020). Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. *Current Opinion in Food Science*, 31, 81-87.
- Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Domínguez, R., Nieto, G., Kumar, M., Dhama, K. & Lorenzo, J. M. (2023). Bioactive Compounds from Fruits as Preservatives. *Foods*, 12, 343.

- Navruz-Varli, S. & Sanlier, N. (2016). Nutritional and health benefits of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). *Journal of Cereal Science*, 69, 371-376.
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A. & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 157-167.
- Nguyen, T. T., Shaw, P. N., Parat, M. O. & Hewavitharana, A. K. (2013). Anticancer activity of *Carica papaya*: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57, 153-164.
- Nickel, J., Spanier, L. P., Botelho, F. T., Gularte, M. A. & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of Chenopodium quinoa Wild grains. *Food Chemistry*, 209, 139-143.
- Nieto, G., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A., Peñalver, R., Ros, G. & Viuda-Martos, M. (2021). Valorization of citrus co-products: Recovery of bioactive compounds and application in meat and meat products. *Plants*, 10, 1069.
- Nieto Calvache, J., Cueto, M., Farroni, A., de Escalada Pla, M. & Gerschenson, L. N. (2016). Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). *Journal of functional foods*, 27, 319-328.
- Nogueira, G. F., Soares, C. T., Cavasini, R., Fakhouri, F. M. & de Oliveira, R. A. (2018). Bioactive films of arrowroot starch and blackberry pulp: Physical, mechanical and barrier properties and stability to pH and sterilization. *Food Chemistry*, 275, 417-425.
- Nojavan, S., Khalilian, F., Kiaie, F. M., Rahimi, A., Arabanian, A. & Chalavi, S. (2008). Extraction and quantitative determination of ascorbic acid during different maturity stages of Rosa canina L. fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 300-305.
- Norma IRAM 15941-2; 15945 (1997). Instituto Argentino de Normalización.
- Ochoa-Velasco, C.E., Pérez-Pérez, J.C., Varillas-Torres, J.M., Navarro-Cruz, A. R., Hernández-Carranza, P., Munguía-Pérez, R., Cid-Pérez, T. S. & Avila-Sosa R. (2021). Starch Edible Films/Coatings Added with Carvacrol and Thymol: In Vitro and In Vivo Evaluation against Colletotrichum gloeosporioides. *Foods*, 10(1), 175.
- Ojeda, G. A., Arias Gorman, A. M., Sgroppo, S. C. & Zaritzky, N. E. (2021). Application of composite cassava starch/chitosan edible coating to extend the shelf life of black mulberries. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1, e15073.

- Olsson, E., Hedenqvist, M. S., Johansson, C. & Järnström, L. (2013). Influence of citric acid and curing on moisture sorption, diffusion and permeability of starch films. *Carbohydrate Polymers*, 94, 765-772.
- Olubode, O. O., Odeyemi, O. M. & Aiyelaagbe, I. O. O. (2023). Papaya. *Tropical and Subtropical Fruit Crops. 1st Edition*.
- Oluwasina, O.O., Olaleye, F.K., Olusegun, S.J., Oluwasina, O.O. & Mohallem, N.D.S. (2019). Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 282-293.
- Onyeaka, H., Obileke, K., Makaka, G. & Nwokolo, N. (2022). Current Research and Applications of Starch-Based Biodegradable Films for Food Packaging. *Polymers*, 14, 1126.
- Oomah, B. D. (2001). Flaxseed as a functional food source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 889-894.
- Ortega-Toro, R., Collazo-Bigliardi, S., Talens, P. & Chiralt, A. (2015). Influence of citric acid on the properties and stability of starch-polycaprolactone based films. *Journal Applied Polymer Science*, 132, 42220.
- Osuna, M. B., Avallone, C. M., Montenegro, S. B. & Aztarbe, M. (2006). Elaboración de pan fortificado con ácidos grasos Omegas 3 y 6. *Reunión de Comunicaciones Científicas*, UNNE, Argentina.
- Oyarzún, A., Nakash, T., Ayala, J., Lucero, Y. & Araya, M. (2015). Following gluten-free diet: less available, higher cost and poor nutritional profile of gluten-free school snacks. *International Journal of Celiac Disease*, 3, 102-107.
- Pająk, P., Gałkowska, D., Juszczak, L. & Khachatryan, G. (2022). Octenyl succinylated potato starch-based film reinforced by honey-bee products: Structural and functional properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 34, Article 100995.
- Palm, C. (2004). Colour texture classification by integrative co-occurrence matrices. *Pattern Recognition*, 37, 965–976.
- Pandey, S., Walpole, C., Cabot, P. J., Shaw, P. N., Batra, J. & Hewavitharana, A. K. (2017). Selective anti-proliferative activities of *Carica papaya* leaf juice extracts against prostate cancer. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 89, 515-523.

- Pandya, Y., Sharma, A. & Bakshi, M. (2023). Edible coatings in fruits: effectiveness and applicability: A Review. *Food Sci: Indian Journal of Research in Food Science and Nutrition, (1)*, 01-10.
- Panyawong, S. & Devahastin, S. (2007). Determination of deformation of a food product undergoing different drying methods and conditions via evolution of a shape factor. *Journal of Food Engineering, 78*, 151-161.
- Parniakov, O., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Grimi, N., Lebovka, N. & Vorobiev, E. (2015). New approaches for the effective valorization of papaya seeds: Extraction of proteins, phenolic compounds, carbohydrates, and isothiocyanates assisted by pulsed electric energy. *Food Research International, 77*, 711-717.
- Paško, P., Bartoń, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Fołta, M. & Zachwieja, Z. (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry, 115*, 994-998.
- Paucar-Menacho, L., Dueñas, M., Peñas, E., Frias, J. & Martínez-Villaluenga, C. (2018). Effect of dry heat puffing on nutritional composition, fatty acid, amino acid and phenolic profiles of pseudo cereals grains. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 68*, 289-297.
- Pękal, A. & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods, 7*, 1776-1782.
- Pereira, E., Encina-Zelada, C., Barros, L., Gonzales-Barron, U., Cadavez, V. & Ferreira, I. C. (2019). Chemical and nutritional characterization of Chenopodium quinoa Wild (quinoa) grains: A good alternative to nutritious food. *Food Chemistry, 280*, 110-114.
- Peng, S., Xue, L., Leng, X., Yang, R., Zhang, G. & Hamaker, B. R. (2015). Slow Digestion Property of Octenyl Succinic Anhydride Modified Waxy Maize Starch in the Presence of Tea Polyphenols. *J Agri Food Chem. 63*, 2820-9.
- Perez-Vazquez, A., Barciela, P., Carpena, M. & Prieto, M.A. (2023). Edible coatings as a natural packaging system to improve fruit and vegetable shelf life and quality. *Foods, 19*, 3570.
- Peterson, G., Aguilar D., Espeche, M., Mesa, M., Jáuregui P., Díaz, H., Simi, M. & Tavella, M. (2004). Ácidos grasos trans en alimentos consumidos habitualmente por los jóvenes en Argentina. *Archivos Argentinos de Pediatría, 102*, 102-109.

- Pham, T.N., Nguyen, T.V., Le, D.T., Diep, L.M.N., Nguyen, K.N., To, T.H.N., Le, T.H. & Nguyen, Q.V. (2022). Phenolic profiles, antioxidant, antibacterial activities and nutritional value of vietnamese honey from different botanical and geographical sources. *Agri Engineering*, 4, 1116-1138.
- Phothiset, S. & Charoenrein, S. (2014). Effects of freezing and thawing on texture, microstructure and cell wall composition changes in papaya tissues. *J Sci Food Agric*, 94, 189 -196.
- Pieniazek, F. & Messina, V. (2018). Texture analysis of freeze dried banana applying scanning electron microscopy combined with image analysis techniques. *International Journal of Food Engineering*, 4, 127-131.
- Piñeros-Hernandez, D., Medina Jaramillo, C., López-Córdoba, A. & Goyanes, S. (2016). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids*, 6, 488 - 495.
- Pontis, J. A., Costa, L. A. M. A. D., Silva, S. J. R. D. & Flach, A. (2014). Color, phenolic and flavonoid content, and antioxidant activity of honey from Roraima, Brazil. *Food Science and Technology*, 34, 69-73.
- Rael, L. T., Thomas, G. W., Craun, M. L., Curtis, C. G., Bar-Or, R. & Bar-Or, D. (2004). Lipid peroxidation and the thiobarbituric acid assay: standardization of the assay when using saturated and unsaturated fatty acids. *BMB Reports*, 37, 749-752.
- Rahman, M. A., Hossain, M. M. & Barman, D. N. (2023). Organic Acids in Honey. *Honey: Composition and Health Benefits*, 102-112.
- Ramos, R. D. O., Pertuzatti, P. B., Gomes, I. M., Santana Jr, M. B., Brito, R. D. M., Tussolini, M., ... & Tussolini, L. (2020). Chemical and antioxidant characterization, sensory and shelf-life analysis of cereal bars with almonds from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). *Food Science and Technology*, 41, 368-374.
- Ravishankar, S., Jaroni, D., Zhu, L., Olsen, C., McHugh, T. & Friedman, M. (2012). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on ham and bologna using pectin-based apple, carrot, and hibiscus edible films containing carvacrol and cinnamaldehyde. *Journal of food science*, 77, 377-382.
- Razavi, B. M. & Hosseinzadeh, H. (2019). A review of the effects of *Citrus paradisi* (grapefruit) and its flavonoids, naringin, and naringenin in metabolic syndrome. *Bioactive Food as Dietary Interventions for Diabetes, Second edition, Academic Press*, 515-543.

- Razavi, S. M. & Karazhiyan, H. (2009). Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modeling studies. *Food hydrocolloids*, 23, 908-912.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26, 1231-1237.
- Reis, L. C. B., de Souza, C. O., da Silva, J. B. A., Martins, A. C., Nunes, I. L. & Druzian, J. I. (2015). Active biocomposites of cassava starch: The effect of yerba mate extract and mango pulp as antioxidant additives on the properties and the stability of a packaged product. *Food and Bioproducts Processing*, 94, 382-391.
- Ribeiro Rodrigues de Barros Vinhal, G. L., Ribeiro Sanches, M. A., Barcia, M. T., Rodrigues, D. & Becker Pertuzatti, P. (2022). Murici (*Byrsonima verbascifolia*): a high bioactive potential fruit for application in cereal bars. *LWT Food Science and Technology*, 160, 113279.
- Richter Reis, F., Marques, C., de Moraes, A. C. S. & Masson, M. L. (2022). Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*, 142, 109254.
- Rodríguez, G.M., Sibaja, J.C., Espitia, P.J.P. & Otoni, C.G. (2019). Antioxidant active packaging based on papaya edible films incorporated with *Moringa oleifera* and ascorbic acid for food preservation. *Food Hydrocolloids*, 103, 105630.
- Romero, M. C., Fogar, R. A., Fernández, C. L., Doval, M. M., Romero, A. M. & Judis, M. A. (2021). Effects of freeze-dried pulp of *Eugenia uniflora* L. and *Opuntia ficus-indica* fruits on quality attributes of beef patties enriched with n-3 fatty acids. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1918-1926.
- Roidoung, S., Dolan, K.D. & Siddiq, M. (2016). Gallic acid as a protective antioxidant against anthocyanin degradation and color loss in vitamin-C fortified cranberry juice. *Food Chem.*, 210, 422–427.
- Ross-Murphy, S.B. (1995). Rheological characterisation of gels. *Journal of texture studies*, 26, 391-400.
- Rutz, J. K., Zambiasi, R. C., Borges, C. D., Krumreich, F. D., da Luz, S. R., Hartwig, N. & da Rosa, C. G. (2013). Microencapsulation of purple Brazilian cherry juice in xanthan, tara gums and xanthan-tara hydrogel matrixes. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1256-1265.

- Sabbione, A. C., Suárez, S., Añón, M. C. & Scilingo, A. (2019). Amaranth functional cookies exert potential antithrombotic and antihypertensive activities. *International Journal of Food Science & Technology*, 54, 1506-1513.
- Sabir, F., K., Unal, S., Aydın, S. & Sabir, A. (2024). Pre- and postharvest chitosan coatings extend the physicochemical and bioactive qualities of minimally processed ‘Crimson Seedless’ grapes during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104, 7834-7842.
- Sadler, G. D. & Murphy, P. A. (2010). pH and titratable acidity. *Food Analysis*, 4, 219-238.
- Saeed, A., Sharif, M. & Iqbal, M. (2010). Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: kinetics, equilibrium and mechanism of crystal violet adsorption. *Journal of hazardous materials*, 179, 564-572.
- Sahari, J., Sapuan, S. M., Zainudin, E. S. & Maleque, M. A. (2012). A new approach to use *Arenga pinnata* as sustainable biopolymer: Effects of plasticizers on physical properties. *Procedia Chemistry*, 4, 254-259.
- Saini, R.K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K.G.M. & Keum, Y.S. (2022). Bioactive compounds of citrus fruits: A Review of composition and health benefits of carotenoids, flavonoids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11, 239.
- Sakooei-Vayghan, R., Peighambaroust, S. H., Hesari, J., Soltanzadeh, M. & Peressini, D. (2020). Properties of dried apricots pretreated by ultrasound-assisted osmotic dehydration and application of active coatings. *Food Technology & Biotechnology*, 58, 3.
- Salazar, J.A., Martínez-Gómez, P. & Ruiz, D. (2022). Varietal evaluation of postharvest behavior in apricot fruits. *Eur. J. Hortic. Sci.*, 1, 1-14.
- Salgado, C.R. & Maidana, J.F. (2014). Physicochemical characterisation of honey produced in the Chaco province (Argentina). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46, 191-201.
- Samakradhamrongthai, R. S., Jannu, T. & Renaldi, G. (2021). Physicochemical properties and sensory evaluation of high energy cereal bar and its consumer acceptability. *Heliyon*, 7.
- Sánchez-Ortega, I., García-Almendárez, B. E., Santos-López, E. M., Amaro-Reyes, A., Barboza-Corona, J. E. & Regalado, C. (2014). Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation. *The Scientific World Journal*, 248935.

- Sánchez-Salcedo, E. M., Mena, P., García-Viguera, C., Martínez, J. J. & Hernández, F. (2015). Phytochemical evaluation of white (*Morus alba* L.) and black (*Morus nigra* L.) mulberry fruits, a starting point for the assessment of their beneficial properties. *Journal of functional foods*, 12, 399 - 408.
- Sanchez-Siles L. M., Michel F., Román S., Bernal M. J., Philipsen B., Har J. F. & Siegrist M. (2019). The Food Naturalness Index (FNI): An integrative tool to measure the degree of food naturalness. *Trends in Food Science and Technology*. 91, 681–690.
- Santagata, G., Mallardo, S., Fasulo, G., Lavermicocca, P., Valerio, F., Di Biase, M., Di Stasio M., Malinconico M. & Volpe, M. G. (2018). Pectin-honey coating as novel dehydrating bioactive agent for cut fruit: Enhancement of the functional properties of coated dried fruits. *Food Chemistry*, 258, 104-110.
- Santana, L.F., Inada, A.C., Espirito Santo, B.L.S.D., Filiú, W.F.O., Pott, A., Alves, F.M., Guimarães, R.C.A., Freitas, K.C. & Hiane, P.A. (2019). Nutraceutical potential of *Carica papaya* in metabolic syndrome. *Nutrients*, 7, 1608.
- Santos, A. M. P. & Yoshida, C. M. P. (2011). Embalagens (Técnico em Alimento). UFRPE.
- Santos, P. H. S. & Silva, M. A. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables - a Review. *Drying Technology*, 12, 1421–1437.
- Sargi, S. C., Silva, B. C., Santos, H. M. C., Montanher, P. F., Boeing, J. S., Santos Júnior, O. O., Souza, N. E. & Visentainer, J. V. (2013). Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla. *Food Science and Technology*, 33, 541-548.
- Sartika, M., Rambe, F.R., Parinduri, S.Z.D.M., Harahap, H., Nasution, H., Lubis, M., Taslim, T. & Manurung, R. (2022). Tensile properties of edible films from various types of starch with the addition of glycerol as plasticizer: a review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1, 012075.
- Saensouk, S., Senavongse, R., Papayrata, C. & Chumroenphat, T. (2022). Evaluation of color, phytochemical compounds and antioxidant activities of mulberry fruit (*Morus alba* L.) during ripening. *Horticulturae*, 12, 1146.
- Sciammaro L., Ferrero C. & Puppo C. (2018). Physicochemical and nutritional characterisation of sweet snacks formulated with *Prosopis alba* flour. *LWT – Food Science and Technology*. 93, 24–31.

- Seeram, N.P., Aviram, M., Zhang, Y., Henning, S. M., Feng, L., Dreher, M. & Heber, D. (2008). Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 1415–1422.
- Senturk Parreidt, T., Müller, K. & Schmid, M. (2018). Alginate-based edible films and coatings for food packaging applications. *Foods*, 7, 170.
- Sette, P., Franceschinis, L., Schebor, C. & Salvatori, D. (2017). Fruit snacks from raspberries: influence of drying parameters on colour degradation and bioactive potential. *International Journal of Food Science and Technology*, 52.
- Shapla, U. M., Solayman, M., Alam, N., Khalil, M. I. & Gan, S. H. (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products: effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12, 1-18.
- Shim, Y. Y., Gui, B., Arnison, P. G., Wang, Y. & Reaney, M. J. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 38, 5-20.
- Silva, O. A., Pella, M. G., Pella, M. G., Caetano, J., Simões, M. R., Bittencourt, P. R. & Dragunski, D. C. (2019). Synthesis and characterization of a low solubility edible film based on native cassava starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 290 - 296.
- Silvano, M. F., Varela, M. S., Palacio, M. A., Ruffinengo, S. & Yamul, D. K. (2014). Physicochemical parameters and sensory properties of honeys from Buenos Aires region. *Food Chemistry*, 152, 500-507.
- Silva-Weiss, A., Bifani, V., Ihl M., Sobral P.J.A. & Gómez-Guillén, M.C. (2013). Structural properties of films and rheology of film-forming solutions based on chitosan and chitosan-starch blend enriched with murta leaf extract. *Food Hydrocolloids*, 31, 458-466.
- Singleton, V. L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Sganzerla, W.G., Pereira Ribeiro, C.P., Uliana, N.R., Cassetari Rodrigues, M.B., Gonçalves da Rosa, C., Peruzzo Ferrareze, J., de Lima Veeck, A.P. & Ramos Nunes, M. (2021). Bioactive and pH-sensitive films based on carboxymethyl cellulose and blackberry (*Morus nigra* L.) anthocyanin-rich extract: A perspective coating material to

improve the shelf life of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.var. *cerasiforme*). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101989.

- Sgroppo, S. C., Pereyra, M. V., Wlosek Stañgret, C. R. & Canteros, B. I. (2015). Characterization of grapefruit (*Citrus paradisi*) fruits produced in Argentina and Paraguay. *Acta Horticulturae*, 1065.
- Slavutsky A. M. & Bertuzzi M. A. (2014). Water barrier properties of starch films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from sugarcane bagasse. *Carbohydrate Polymers*, 110, 53-61.
- Smaoui, S., Hlima, H. B., Tavares, L., Braïek, O. B., Ennouri, K., Abdelkafi, S., ... & Khaneghah, A. M. (2022). Application of eco-friendly active films and coatings based on natural antioxidant in meat products: A review. *Progress in Organic Coatings*, 166, 106780.
- Soininen, J. T., Heinämäki, J. & Yliruusi, J. (2013). From acacia honey monosaccharide content to a new external binary plasticizer applicable in aqueous whey protein films. *Food and bioproducts processing*, 91, 440-446.
- Solanki, C., Indore, N., Saha, D. & Kudos, A. (2018). Effect of popping methods on popping characteristics of amaranth grain. *International Journal of Chemical Studies*, 2, 2779-2782.
- Somjai, Ch., Siriwoharn, T., Kulprachakarn, K., Chaipoot, S., Phongphisutthinant, R. & Wiriyaacharee, P. (2021). Utilization of Maillard reaction in moist-dry-heating system to enhance physicochemical and antioxidative properties of dried whole longan fruit. *Heliyon*, 7, e07094.
- Song, Z., Ma, T., Zhi, X. & Du, B. (2021). Cellulosic films reinforced by chitosan-citric complex for meat preservation: Influence of nonenzymatic browning. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118476.
- Soro, A.B, Noore, S., Hannon S., Whyte, P., Bolton, D.J. O'Donnell, C. & Tiwari, B.K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100722.
- Sothornvit, R. & Rodsamran, P. (2008). Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47, 407-415.
- Sousa, M.B., Canet, W., Alvarez, M.D. & Tortosa ME. (2007). Effect of processing on the texture and sensory attributes of Raspberry (Cv. Heritage) and Blackberry (Cv. Thornfree). *Journal of Food Engineering*, 78, 9-21.

- Souza, A. C., Goto, G. E. O., Mainardi, J. A., Coelho, A. C. V. & Tadini, C. C. (2013). Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT - Food Science and Technology*, 54, 346-352.
- Souza, P.L. & Silva, M.R. (2013). Quality of granola prepared with dried caju-do-cerrado (*Anacardium othonianum* Rizz) and baru almonds (*Dipteryx alata* Vog). *J Food Sci Technol*, 52,1712.
- Spickett, C. M., Wiswedel, I., Siems, W., Zarkovic, K. & Zarkovic, N. (2010). Advances in methods for the determination of biologically relevant lipid peroxidation products. *Free Radical Research*, 10, 1172–1202.
- Sriburi, P., Hill, S. E. & Mitchell, J. R. (1999). Effects of L-ascorbic acid on the conversion of cassava starch. *Food hydrocolloids*, 13, 177-183.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd Edition, *Freeman Press, East Lansing*.
- Suman, S. P., Mancini, R. A., Joseph, P., Ramanathan, R., Konda, M. K. R., Dady, G. & Yin, S. (2010). Packaging-specific influence of chitosan on color stability and lipid oxidation in refrigerated ground beef. *Meat Science*, 86, 994-998.
- Sun-Waterhouse, D., Teoh, A., Massarotto, C., Wibisono, R. & Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. *Food Chemistry*, 119, 1369-1379.
- Sun-Waterhouse, D. (2011). The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 46, 899-920.
- Szabó, R.T., Mézes, M., Szalai, T., Zajác, E. & Kovács-Weber, M. (2016). Colour identification of honey and methodical development of its instrumental measuring. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 3, 29-36.
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215–225.
- Tadeo, F. R., Cercos, M., Colmenero-Flores, J. M., Iglesias, D. J., Naranjo, M. A., Ríos, G., Carrera, E., Ruiz-Rivero, O., Lliso, I., Morillon, R. L., Ollitrault, P. & Talon, M. (2008). Molecular physiology of development and quality of citrus. *Advances in Botanical Research*, 47, 147-223.

- Talens, P., Pérez-Masía, R., Fabra, M.J., Vargas, M. & Chiralt, A. (2012). Application of edible coatings to partially dehydrated pineapple for use in fruit - cereal products. *Journal of Food Engineering*, 112, 86- 93.
- Tallini, L.R., Pedrazza, G.P.R., de L. Bordignon, S.A., Costa, A.C.O., Steppe, M, Fuentefria, A. & Zuanazzi, J.A.S. (2015). Analysis of flavonoids in *Rubus erythrocladus* and *Morus nigra* leaves extracts by liquid chromatography and capillary electrophoresis. *Journals & Books*, 25, 219-227.
- Tapia, M.S., Rojas-Graü, M.A., Carmona, A. & Rodríguez F. J. (2008). Use of alginate- and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya. *Food Hydrocolloids*, 22, 1493-1503.
- Tarique, J., Sapuan, S. M. & Khalina, A. (2021). Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific Reports*, 11, Article 13900.
- Toivonen, P.M.A. & Brummell, D.A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 48, 1-14.
- Torley, P. J., Rutgers, R. P. G., D'Arcy, B. & Bhandari, B. R. (2004). Effect of honey types and concentration on starch gelatinization. *LWT-Food Science and Technology*, 37, 161-170.
- Torres, F.G., Troncoso, O.P., Torres, C., Díaz, D.A. & Amaya, E. (2011). Biodegradability and mechanical properties of starch films from Andean crops. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48, 603-606.
- Torrez Irigoyen, R. & Giner, S. A. (2018). Extraction kinetics of saponins from quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd). *International Journal of Food Studies*, 7, 76- 78.
- Tumbariski, Y. D, Todorova, M. M., Topuzova, M. G., Georgieva, P. I., Ganeva, Z. A., Mihov, R. B. & Yanakieva, V. B. (2021). Antifungal activity of carboxymethyl cellulose edible films enriched with propolis extracts and their role in improvement of the storage life of kashkaval cheese. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 9, 487-499.
- Türkan, K., Gökhan, D., Burhan, A., İsmet, Y. & M. Şevket, Ç. (2011). Antioxidant properties of different extracts of black mulberry (*Morus nigra* L.). *Turkish Journal of Biology*, 35, 103 – 110.

- USP 34 (2011). United States Pharmacopeia - National Formulary 29. EE.UU: Rockwell, MD.
- Varela, M. S., Palacio, M. A., Navarro, A. S. & Yamul, D. K. (2023). Structural and functional properties and digital image texture analysis of gelatin, pectin, and carrageenan gels with honey addition. *Journal of Texture Studies*, 54, 646-658.
- Vasile F. E., Romero A. M., Judis M. A. & Mazzobre M. F. (2016). *Prosopis alba* exudate gum as excipient for improving fish oil stability in alginate - chitosan beads. *Food Chemistry*, 190, 1093-1101.
- Vasile F.E., Judis M.A. & Mazzobre M.F. (2018). Impact of *Prosopis alba* exudate gum on sorption properties and physical stability of fish oil alginate beads prepared by ionic gelation. *Food Chemistry*, 250, 75-82.
- Veberic, R., Stampar, F., Schmitzer, V., Cunja, V., Zupan, A., Koron, D. & Mikulic-Petkovsek, M. (2014). Changes in the contents of anthocyanins and other compounds in blackberry fruits due to freezing and long-term frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 6926-6935.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L. & Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 2541-2547.
- Velásquez, P., Montenegro, G., Valenzuela, L. M., Giordano, A., Cabrera-Barjas, G. & Martin-Belloso, O. (2022). k-carrageenan edible films for beef: Honey and bee pollen phenolic compounds improve their antioxidant capacity. *Food Hydrocolloids*, 124, 107250.
- Velić, D., Planinić, M., Tomas, S. & Bilić, M. (2004). Influence of airflow velocity on kinetics of convection apple drying. *Journal of Food Engineering*, 64, 97-102.
- Venskutonis, P. R. & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews. Food Science and Food Safety*, 12, 381-412.
- Verma, S. P. & Sahoo, J. (2000). Improvement in the quality of ground chevon during refrigerated storage by tocopherol acetate pre-blending. *Meat Science*, 56, 403-413.
- Versino, F., Lopez, O. V., Garcia, M. A. & Zaritzky, N. E. (2016). Starch-based films and food coatings: An overview. *Starch-Stärke*, 68, 1026-1037.

- Vidinamo, F., Fawzia, S. & Karim, M.A. (2021). Investigation of the effect of drying conditions on phytochemical content and antioxidant activity in pineapple (*Ananas comosus*). *Food and Bioprocess Technology*, 15.
- Vij, T. & Yash, P. (2015). A review on medicinal properties of *Carica papaya* Linn. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 5(1), 1–6.
- Vijayan, K. & Tsou, C.H. (2010). DNA barcoding in plants: Taxonomy in a new perspective. *Current Science*, 11, 1530-1541.
- Walayat, N., Campagnol, P. C., Zhang, W., Su, Z. & Lorenzo, J. M. (2024). Films with antimicrobial activity for meat products. *Current Opinion in Food Science*, 56, 101127.
- Wall, M. M. (2006). Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19: 434-445.
- Watson, L. & Dallwitz, M. J. (1994). The Families of flowering plants. Interactive identification and information retrieval. *Nordic journal of botany*, 14, 486.
- Wong, Y., Chan, C. H., Venkatakrishnan, K., Chiu, H. F., Shen, Y. C., Glovinskaia, O. & Wang, C. K. (2021). Impact of dietary nutrients (functional foods/nutraceuticals) and micronutrients on COVID-19: A review. *Journal of Food Bioactives*, 15.
- Wongphan, P. & Harnkarnsujarit, N. (2020). Characterization of starch, agar and maltodextrin blends for controlled dissolution of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 156, 80- 93.
- Wu, T., Guan, Y. & Ye, J. (2007). Determination of flavonoids and ascorbic acid in grapefruit peel and juice by capillary electrophoresis with electrochemical detection. *Food Chemistry*, 100, 1573-1579.
- Yadav, L. & Bhatnagar, V. (2015). Optimization of ingredients in cereal bar. *Food Science Research Journal*, 6, 273-278.
- Yahia, E. M., Ornelas-Paz, J. D. J. & Elansari, A. (2011). Postharvest technologies to maintain the quality of tropical and subtropical fruits. *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits*, 142-193.
- Yamul, D. K. & Lupano, C. E. (2003). Properties of gels from whey protein concentrate and honey at different pHs. *Food Research International*, 36, 25-33.
- Yamul, D. K. & Navarro, A. S. (2020). Effect of hydrocolloids on structural and functional properties of wheat/potato (50/50) flour dough. *Food Structure*, 24, 100138.

- Yang, J. H., Yu, J. G. & Ma, X. F. (2006). Preparation and properties of ethylenebisformamide plasticized potato starch (EPTPS). *Carbohydrate Polymers*, 63, 218-223.
- Yang, C., Han, B., Zheng, Y., Liu, L., Li, C., Sheng, S., Zhang, J., Wang, J. & Wu, F. (2016). The quality changes of postharvest mulberry fruit treated by chitosan-g-caffeic acid during cold storage. *Journal of Food Science*, 4, 881- 888.
- Yemencioğlu, A., Farris, S., Turkyilmaz, M. & Gulec, S. (2020). A review of current and future food applications of natural hydrocolloids. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 1389-1406.
- Yu, J., Dandekar, D. V., Toledo, R. T., Singh, R. K. & Patil, B. S. (2007). Supercritical fluid extraction of limonoids and naringin from grapefruit (*Citrus paradise* Macf.) seeds. *Food Chemistry*, 105, 1026-1031.
- Yun, D. & Liu, J. (2022). Recent advances on the development of food packaging films based on citrus processing wastes: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 9, 100316.
- Zapana, F., de Bruijn, J., Vidal, L., Melín, P., González, M. E., Cabrera, G. & Bórquez, R. (2020). Physical, chemical and nutritional characteristics of puffed quinoa. *International Journal of Food Science & Technology*, 55, 313-322.
- Zaritzky, N. (2010). Edible Coatings to Improve Food Quality and Safety. *Food Engineering Interfaces*, 109-134.
- Zayed, A., Badawy, M. T. & Farag, M. A. (2021). Valorization and extraction optimization of Citrus seeds for food and functional food applications. *Food Chemistry*, 355, 129609.
- Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., ... & Holmes, M. (2017). Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 69, 308-317.
- Zhang, X., Zhao, Y., Shi, Q., Zhang, Y., Liu, J., Wu, X. & Fang, Z. (2021). Development and characterization of active and pH-sensitive films based on psyllium seed gum incorporated with free and microencapsulated mulberry pomace extracts. *Food Chemistry*, 352, 129333.
- Zhang, W., Roy, S., Assadpour, E., Cong, X. & Jafari, S. M. (2023). Cross-linked biopolymeric films by citric acid for food packaging and preservation. *Advances in colloid and interface science*, 102886.

- Zheng, C., Sun, D. & Zheng, L. (2006). Recent applications of image texture for evaluation of food qualities-a review. *Trends in foodscience&technology*, 17, 113-128.
- Zhou, K., Wang, H., Mei, W., Li, X., Luo, Y. & Dai, W. (2011). Antioxidant activity of papaya seed extracts. *Molecules*, 16, 6179-6192.
- Zia-Ul-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H.Z.E. & Moga, M. (2014). *Rubus Fruticosus* L.: Constituents, biological activities and health related uses. *Molecules*, 19, 10998-11029.

8. ANEXO

8. ANEXO

8.1. Tabla de Chataway para la determinación del contenido de humedad en miel

En el caso de valores de índice de refracción no incluidos en la Tabla 8.1, el valor deseado se puede calcular utilizando la Ec. 8.1, (Sereia y col., 2017), donde “y” es el % de humedad y “x” el IR.

$$y = 614,60 - 400x \quad (\text{Ec. 8.1})$$

Tabla 8.1. Tabla de Chataway para la determinación del contenido de humedad en miel

Índice de refracción (20°C)	Contenido de humedad (%)	Índice de refracción (20°C)	Contenido de humedad (%)	Índice de refracción (20°C)	Contenido de humedad (%)
1,5044	13,0	1,4935	17,2	1,4830	21,4
1,5038	13,2	1,4930	17,4	1,4825	21,6
1,5033	13,4	1,4925	17,6	1,4820	21,8
1,5028	13,6	1,4920	17,8	1,4815	22,0
1,5023	13,8	1,4915	18,0	1,4810	22,2
1,5018	14,0	1,4910	18,2	1,4805	22,4
1,5012	14,2	1,4905	18,4	1,4800	22,6
1,5007	14,4	1,4900	18,6	1,4795	22,8
1,5002	14,6	1,4895	18,8	1,4790	23,0
1,4997	14,8	1,4890	19,0	1,4785	23,2
1,4992	15,0	1,4885	19,2	1,4780	23,4
1,4987	15,2	1,4880	19,4	1,4775	23,6
1,4982	15,4	1,4875	19,6	1,4770	23,8
1,4976	15,6	1,4870	19,8	1,4765	24,0
1,4971	15,8	1,4865	20,0	1,4760	24,2
1,4966	16,0	1,4860	20,2	1,4755	24,4
1,4961	16,2	1,4855	20,4	1,4750	24,6
1,4956	16,4	1,4850	20,6	1,4745	24,8
1,4951	16,6	1,4845	20,8	1,4740	25,0
1,4946	16,8	1,4840	21,0		
1,4940	17,0	1,4835	21,2		

8.2. Determinación de color de la miel

La escala Pfund es un método basado en la comparación óptica y tiene un rango de 0 a 140 mm (tabla 8.2), según aumenta el valor Pfund, también lo hace el color de la miel.

Tabla 8.2. Escala de color en mm Pfund

ESCALA INTERNACIONAL	mm Pfund
Blanco agua	0 – 8,9
Extra blanco	9 – 17,9
Blanco	18 – 34,9
Ámbar extra claro	35 – 48,9
Ámbar claro	49 – 83,9
Ámbar	84 – 114
Ámbar oscuro	más de 114



Figura 8.1. Colorímetro portátil utilizado para las medidas de color de miel y muestras de miel.

8.3. Análisis de textura por imágenes

Una imagen puede ser definida como una función bidimensional, $f(x,y)$, donde x e y son coordenadas espaciales y la amplitud de f en cualquier par de coordenadas (x, y) es la intensidad del nivel de grises de la imagen en ese punto. La textura es la característica principal de cualquier imagen, que define la relación entre los valores de escala de grises de los píxeles en una región de la imagen. (González y Wood, 2009). Existen 4 tipos diferentes de texturas donde cada una puede calcularse con diversos algoritmos, como se indica en la Figura 8.2.

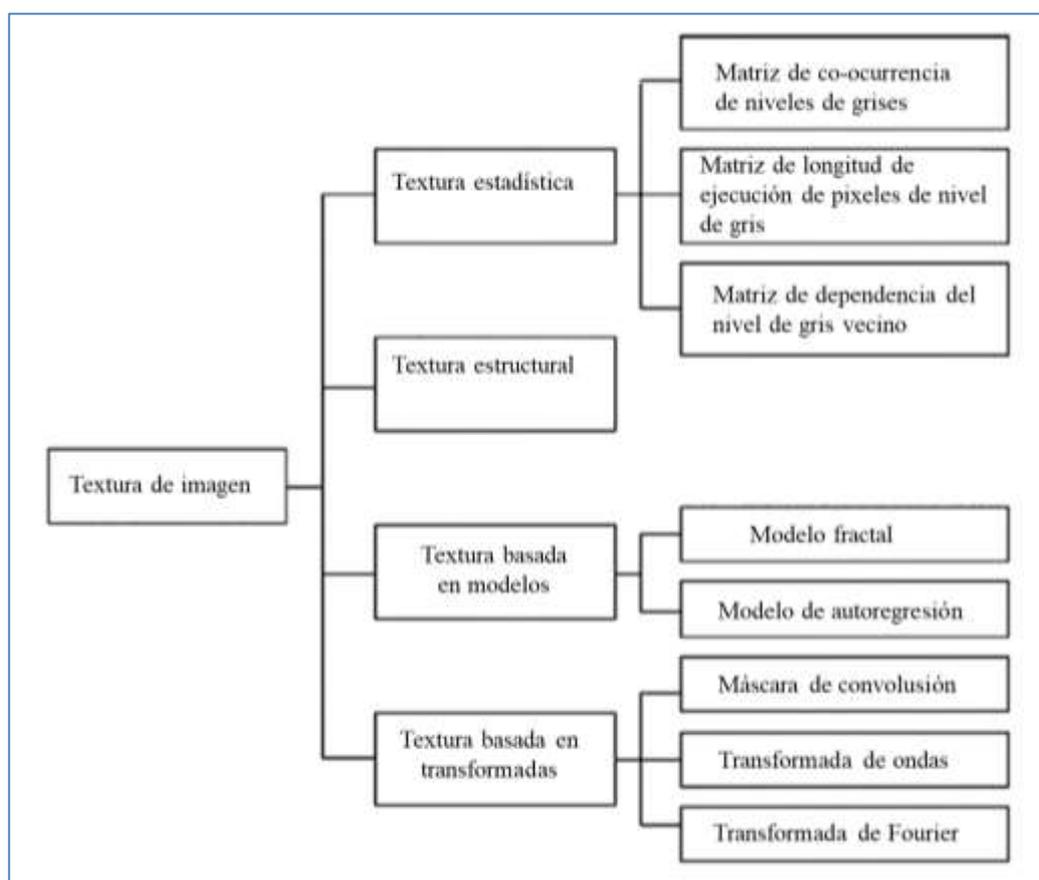


Figura 8.2. Clasificación de los métodos de análisis de textura de imágenes.

Adaptada de Zheng y col. (2006).

8.3.1. Matriz de coocurrencia de niveles de grises

La matriz de co-ocurrencia describe la frecuencia de un nivel de gris que aparece en una relación espacial específica con otro valor de gris, dentro del área de una ventana determinada. La matriz de co-ocurrencia es un resumen de la forma en que los valores de los píxeles ocurren al lado de otro valor en una pequeña ventana. Una vez construida, de

esta matriz pueden derivarse diferentes medidas texturales siendo las más usadas las que se describen a continuación:

- i) Homogeneidad: Se refiere a texturas que contienen estructuras repetitivas. La homogeneidad es alta cuando la imagen es localmente homogénea de acuerdo al tamaño de la ventana, mientras que una baja homogeneidad se refiere a una gran variación en los elementos de textura y sus arreglos espaciales.
- ii) Contraste: Es lo opuesto a la homogeneidad, el contraste mide las variaciones locales del nivel de gris en una imagen. Se esperan valores altos de contraste para texturas pesadas (con grandes diferencias en el nivel de grises de los píxels dentro de la ventana) y bajos para texturas suaves.
- iii) Correlación: Es la dependencia lineal del nivel de gris en la imagen, si la correlación es 0, no hay correlación lineal entre los niveles de gris. Los valores de la correlación pueden estar entre -1 y 1. Los píxeles cercanos están más correlacionados entre sí que los píxeles más distantes.
- iv) Energía: Es una medida de la uniformidad local de la imagen.
- v) Entropía: Es una medida del orden/desorden de los elementos espaciales dentro de una imagen. Es alta cuando los elementos de la matriz de coocurrencia tienen relativamente valores iguales. Es baja cuando los elementos son cercanos a 0 o 1 (por ejemplo cuando la imagen es uniforme dentro de la ventana).

8.3.2. Modelos fractales

Un fractal es una figura geométrica o patrón que exhibe una propiedad llamada autosimilitud a diferentes escalas. Esto significa que una parte del fractal se asemeja a la figura completa, sin importar cuánto se la amplíe o reduzca. Los fractales son estructuras complejas que pueden repetirse infinitamente en un patrón irregular. En muchas de las áreas de aplicación el interés principal radica en conocer la dimensión fractal pues esta tiene información sobre la estructura geométrica del objeto de estudio. Existen diversas técnicas de cálculo de la dimensión fractal, siendo la más usada el método de conteo de cajas, del cual se puede derivar el parámetro lacunaridad. Esta es la contraparte de la dimensión fractal que describe la textura de una imagen. La lacunaridad está relacionada con la forma en que los objetos se distribuyen en el espacio. Cuando se examina un conjunto de objetos, la lacunaridad proporciona información sobre la cantidad de vacíos o espacios vacíos presentes entre los objetos. En esencia, mide la irregularidad de un

conjunto de manera cuantitativa. Un conjunto altamente lacunar tiene una distribución más dispersa de objetos y contiene muchos vacíos o espacios entre ellos, mientras que un conjunto con baja lacunaridad tiene una distribución más densa de objetos y menos espacios vacíos entre ellos.

8.4. Planilla para la evaluación sensorial

La siguiente planilla fue utilizada tanto para la evaluación sensorial de los snacks de frutas recubiertas, como para los snacks de cereales, frutas y miel.

Fecha:...../...../.....

Usted recibirá tres muestras de moras deshidratadas ordenadas al azar, previamente codificadas. Deberá evaluarla por los atributos aspecto general, olor, color, crocancia, gomosidad, dulzor, acidez y aceptabilidad global marcando con una “x” en cualquier espacio de la escala provista.

Muestra N° 263

1. Por favor sin probar la muestra evalúe las siguientes características según la escala correspondiente:

- Aspecto General

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

Olor

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

Color

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

2. Por favor pruebe la muestra y evalúe las características según la escala correspondiente.

Crocancia

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

Gomosidad

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

Dulzor

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

Acidez

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

Aceptabilidad Global

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

¡Muchas Gracias por su Colaboración!