



## **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR**

TESIS DOCTORAL EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS  
ALIMENTOS

Geles de pectina con fibra dietaria. Aplicación en la  
elaboración de dulces de fruta saludables.

**Lilian Elisa Figueroa**

BAHÍA BLANCA

ARGENTINA

2019

# PREFACIO

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la Planta Piloto de Ingeniería Química y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Bahía Blanca, durante el período comprendido entre agosto de 2014 y diciembre de 2018, bajo la dirección del Dr. Diego B. Genovese.

Figuroa Lilian Elisa



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR  
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el .../.../....., mereciendo la calificación de .....

# DEDICATORIA

*A Franco...por creer en mí y alentarme a volar alto.*

*A mamá Mony y papá Olver... por ser mis pilares y mi inspiración.*

*A Emi, mi hermanita...por ser mi cable a tierra.*

*A TODA mi familia... por ser mi corazón.*

*“Si me caí,*

*es porque estaba caminando.*

*Y caminar vale la pena*

*aunque te caigas”*

*- Galeano -*

# AGRADECIMIENTOS

*Mi mamá me enseñó que en la vida hay que ser agradecidos...*

Primero voy a agradecer a mi director el Dr. Diego Genovese, por tener la paciencia y la predisposición para ayudarme, guiarme y corregirme. Por confiar en mi trabajo, por exigirme a pensar más allá de mis límites y tener siempre una palabra de aliento para llevar a cabo todo el trabajo realizado.

A Clarisa Cicchelli, por adoptarme apenas llegué al grupo, por los conocimientos, los “correctivos” y por los consejos brindados... y sobre todo por ser un apoyo incondicional.

A Analía Muñoz, por toda la ayuda prestada, los conocimientos y los consejos brindados. Por ser tan linda persona.

A Fer Cabrera y Agus Di Battista, por la predisposición, la ayuda y los conocimientos brindados con algunos equipos.

Al grupo de Reactores (Matías Méndez), por el préstamo de sus equipos y su asesoramiento.

A Marina Dello Staffolo, por las fibras donadas para realizar este trabajo y por los conocimientos compartidos.

Al Grupo de Alimentos por la colaboración brindada en el trabajo experimental, por los mates y reuniones compartidas.

A mis padres, hermanos, abuelos y tíos por mandarme siempre su amor y su apoyo.  
¡Los Amo!

A Lu, por ser mi gran amiga y consejera, por los mates, las charlas, las anécdotas y las risas... por ser un respiro y mi resguardo cuando lo necesité.

A Pame, por ser mi amiga y darme un lugar en su hogar cuando llegué a Bahía Blanca.

A mis amigas de Salta, Cele, Pao, Joha, Naty, Ana, Pitu, Vane, Dani, Ale y Gaby por permanecer en mi vida y en mi corazón a pesar de la distancia. ¡Las Quiero!

Finalmente agradezco a CONICET, PLAPIQUI y a la Universidad Nacional del Sur por brindarme el lugar, las herramientas y los medios para elaborar esta tesis.

# RESUMEN

Se ha acuñado el término «alimentos funcionales» para todos aquellos productos alimentarios, naturales o elaborados, que proporcionan beneficios más allá de las propiedades sensoriales o nutricionales, y que afectan a las funciones fisiológicas de un modo mensurable en términos de prevención de enfermedad o promoción de la salud. Los alimentos funcionales contienen uno o más ingredientes que afectan positivamente determinadas funciones del organismo. Dentro de este grupo de ingredientes se encuentra la fibra dietética o dietaria.

El uso de fibra dietaria por parte de la industria se ha incrementado en las últimas décadas con el aumento de la demanda de productos enriquecidos con fibra por parte de los consumidores, debido a una mayor concientización por la salud. Es probable que el uso de fibra dietética como complemento alimenticio aumente en un futuro próximo, no solo por sus atributos saludables sino también por los beneficios tecnológicos que su uso proporciona a una variedad de productos alimenticios.

Dentro de este marco, los objetivos específicos de la presente tesis fueron:

- ♣ Determinar el efecto del agregado de fibra dietaria sobre la estructura, estabilidad y aspecto de geles de pectina.
- ♣ Desarrollar jaleas de fruta enriquecidas con variedades de fibra dietaria que normalmente no se encuentran en productos de confitería, por no ser de origen frutícola.
- ♣ Garantizar un 3 % p/p de fibra dietaria en el producto, que permita rotularlo según el CAA como “fuente de fibra”.
- ♣ Realizar análisis sensoriales para optimizar la formulación de las jaleas con fibra, en base a la aceptación y preferencia de los consumidores.

A continuación se detalla la organización del trabajo. En cada uno de los capítulos se incluyó la revisión del tema, los métodos experimentales, los resultados, las conclusiones y la bibliografía consultada.

En el **Capítulo 1** se realizó la caracterización de las fibras seleccionadas para el desarrollo de la presente tesis (manzana, bambú, trigo y plántago). El análisis consistió en la determinación del color, tamaño de partículas, propiedades de hidratación y presencia de almidón en la fibra de trigo.

En el **Capítulo 2** se estudiaron las propiedades reológicas, mecánicas, sinéresis, color y microestructura de geles de pectina de alto metoxilo, adicionados con fibras. Se analizó el efecto del contenido de pectina y de las fibras agregadas al gel de a una y en combinaciones de a dos (en iguales proporciones) en la cantidad requerida por el CAA para garantizar el 3 %p/p de fibra dietaria en el producto final.

En el **Capítulo 3** se llevó a cabo la elaboración de una jalea enriquecida con fibra dietaria y un análisis detallado del efecto de la fibra sobre las propiedades reológicas, mecánicas, sinéresis y color de las jaleas, para finalizar el estudio con un análisis sensorial y la comparación del producto formulado con dos dulces comerciales.

Por último, en el **Capítulo 4** se presentaron las conclusiones generales originadas del estudio experimental, las publicaciones a las que dio lugar la tesis y las propuestas futuras de trabajo.

# ABSTRACT

The term "functional foods" has been coined for those food products, natural or processed, which provide benefits beyond sensory or nutritional properties, and that affect physiological functions in a measurable way in terms of disease prevention or health promotion. Functional foods contain one or more ingredients that positively affect some body functions. Within this group of ingredients is dietetic or dietary fibre.

The industrial use of dietary fibre has increased in recent decades with the increasing consumers demand for fibre-enriched products, due to a greater awareness for health. It is likely that the use of dietary fibre as a food supplement will increase soon, not only because of its healthy attributes but also because of the technological benefits that its use provides to a variety of food products.

Within this framework, the specific objectives of this thesis were:

- ♣ To Determine the effect of dietary fibre addition on the structure, stability and appearance of pectin gels.
- ♣ To Develop fruit jellies enriched with dietary fibre varieties that are not normally found in confectionery products, as they are not from fruit sources.
- ♣ To Guarantee a 3% w/w content of dietary fibre in the product, which allows labeling it as "source of fibre" according to the CAA.
- ♣ To Perform sensory analysis to optimize the formulation of jellies with fibre, based on the acceptance and preference of consumers.

The organization of the work is detailed below. In each of the chapters the review of the topic, the experimental methods, the results, the conclusions and the consulted bibliography were included.

In **Chapter 1**, the characterization of the fibre varieties (apple, bamboo, wheat and psyllium) selected for the development of this thesis was carried out. The analysis



consisted in the determination of color, particle size, hydration properties and the presence of starch in wheat fibre

In **Chapter 2**, the rheological, mechanical, syneresis, color and microstructure properties of fibre enriched high methoxyl pectin gels, were studied. The effect of pectin content and fibre added to the gel as one or two varieties (in equal proportions) in the amount required by the CAA to guarantee 3% w / w of dietary fibre content in the final product, was analyzed.

In **Chapter 3**, the manufacture of a dietary fibre enriched jelly and a detailed analysis of the effect of fibre on the rheological, mechanical, syneresis and color properties of the jellies was carried out. The study was completed with a sensory analysis and the comparison of the formulated product with two commercial jams.

Finally, in **Chapter 4**, the general conclusions obtained from the experimental study, the publications originated from the thesis and future work proposals were enunciated.

***Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.***

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii

## CAPÍTULO 1: FIBRA DIETARIA

1. Introducción.....	2
1.1 ¿Qué es la fibra dietaria (o fibra dietética)?.....	2
1.2 Composición y tipos de fibra dietaria.....	4
1.3 Efectos fisiológicos de la fibra dietaria.....	11
1.4 Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietaria.....	13
1.4.1 Solubilidad.....	13
1.4.2 Capacidad de retención de agua.....	14
1.4.3 Capacidad espesante y gelificante .....	14
1.4.4 Capacidad de unión (binding ability).....	15
1.4.5 Capacidad de hinchamiento (bulking ability).....	15
1.4.6 Fermentabilidad.....	15
1.5 Aplicaciones de la fibra dietaria en alimentos.....	16
1.5.1 Aplicación en productos a base de harina .....	16
1.5.2 Aplicación en productos cárnicos.....	17
1.5.3 Aplicación en productos lácteos.....	17

1.5.4	Aplicación en productos de confitería .....	17
2.	Materiales y Métodos .....	18
2.1	Materiales.....	18
2.2	Métodos.....	20
2.2.1	Color.....	20
2.2.2	Distribución del tamaño de partícula.....	20
2.2.3	Propiedades de Hidratación.....	21
2.2.4	Determinación cualitativa de la presencia de almidón (Test del Lugol)...	22
3.	Resultados y discusión .....	23
3.1	Color.....	23
3.2	Distribución de tamaño de partícula.....	24
3.3	Propiedades de hidratación.....	27
3.4	Presencia de almidón.....	29
4.	Conclusiones del capítulo .....	29
5.	Bibliografía.....	30
 <b>CAPÍTULO 2: GELES DE PECTINA ENRIQUECIDOS CON FIBRA DIETARIA</b>		
1.	Introducción .....	39
1.1	Geles alimenticios.....	39
1.2	Pectina.....	40
1.3	Mecanismo de gelificación.....	42
1.4	Aplicaciones de la pectina.....	46
1.5	Comportamiento reológico de los geles de pectina.....	47
1.6	Geles rellenos .....	50

<b>2.</b>	<b>Materiales y Métodos.....</b>	<b>52</b>
<b>2.1</b>	<b>Materiales.....</b>	<b>52</b>
<b>2.2</b>	<b>Métodos.....</b>	<b>52</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Preparación del gel.. ..</b>	<b>52</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Determinación de propiedades reológicas .....</b>	<b>53</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Determinación de propiedades mecánicas .....</b>	<b>54</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Color.. ..</b>	<b>56</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Sinéresis.. ..</b>	<b>56</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Microscopía óptica.....</b>	<b>57</b>
<b>2.2.7</b>	<b>Determinación del contenido de fibra dietaria.....</b>	<b>58</b>
<b>2.2.8</b>	<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>58</b>
<b>3.</b>	<b>Resultados y Discusión.. ..</b>	<b>58</b>
<b>3.1</b>	<b>Efecto del contenido de pectina y del tipo de fibra.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Determinación de fibra dietaria total, insoluble y soluble.....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Propiedades reológicas.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Propiedades mecánicas .....</b>	<b>68</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Sinéresis.. ..</b>	<b>72</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Color.. ..</b>	<b>74</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Microestructura.....</b>	<b>75</b>
<b>3.2</b>	<b>Efecto de la combinación de fibras.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Propiedades reológicas .....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Propiedades mecánicas .....</b>	<b>85</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Sinéresis.. ..</b>	<b>88</b>

<b>3.2.4</b> Color .....	89
<b>3.2.5</b> Microestructura de las mezclas .....	90
<b>4.</b> Conclusiones del capítulo .....	92
<b>5.</b> Bibliografía.....	93

**CAPITULO 3: ELABORACIÓN DE JALEAS FRUTALES ENRIQUECIDAS CON FIBRA DIETARIA DE DIVERSOS ORÍGENES**

<b>1.</b> Introducción.....	99
<b>1.1</b> Alimentos funcionales.....	99
<b>1.2</b> Elaboración de jaleas, dulces y mermeladas.....	103
<b>1.2.1</b> Variables del proceso .....	110
<b>1.3</b> Geles frutales.....	113
<b>2.</b> Materiales y Métodos.....	115
<b>2.1</b> Materiales.....	115
<b>2.2</b> Métodos.....	116
<b>2.2.1</b> Proceso de extracción de jugo.....	116
<b>2.2.2</b> Elaboración de las jaleas con y sin fibra .....	116
<b>2.2.3</b> Determinación de propiedades reológicas ..	120
<b>2.2.4</b> Determinación de propiedades mecánicas – Test de penetración.....	120
<b>2.2.5</b> Color.....	122
<b>2.2.6</b> Sinéresis.. ..	122
<b>2.2.7</b> Análisis sensorial.....	123
<b>2.2.8</b> Análisis estadístico ..	124
<b>3.</b> Resultados y discusión .....	125

<b>3.1</b>	<b>Efecto del agregado de una sola variedad de fibra.....</b>	<b>125</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Propiedades reológicas.....</b>	<b>125</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Propiedades mecánicas.....</b>	<b>136</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Sinéresis.. ..</b>	<b>139</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Color.....</b>	<b>141</b>
<b>3.2</b>	<b>Efecto del agregado de combinaciones de dos variedades de fibra en proporción 1:1.....</b>	<b>142</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Propiedades reológicas .....</b>	<b>142</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Propiedades mecánicas .....</b>	<b>151</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Sinéresis.....</b>	<b>153</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Color.....</b>	<b>155</b>
<b>3.3</b>	<b>Efecto del agregado de combinaciones de dos variedades de fibra en proporción 3:1.....</b>	<b>156</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Propiedades reológicas .. ..</b>	<b>156</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Propiedades mecánicas . .....</b>	<b>165</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Sinéresis.. ..</b>	<b>167</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Color.....</b>	<b>168</b>
<b>3.4</b>	<b>Comparación entre las jaleas enriquecidos con fibra y dulces de fruta comerciales.....</b>	<b>168</b>
<b>3.4.1</b>	<b>Propiedades reológicas .....</b>	<b>170</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Propiedades mecánicas .....</b>	<b>175</b>
<b>3.4.3</b>	<b>Sinéresis.....</b>	<b>177</b>
<b>3.4.4</b>	<b>Color.....</b>	<b>178</b>
<b>3.4.5</b>	<b>Análisis sensorial.....</b>	<b>178</b>

4. Conclusiones del capítulo .....	180
5. Anexo I.....	183
6. Bibliografía.....	184

#### **CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES GENERALES Y TRABAJOS FUTUROS**

4.1 Conclusiones generales.....	192
4.2 Trabajos futuros.....	196

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Beneficios asociados con los componentes de la fibra dietaria.....	11
<b>Tabla 1.2.</b> Contenido de FDT, FDI, FDS, celulosa, hemicelulosa y lignina.....	19
<b>Tabla 1.3.</b> Especificaciones de las fibras de manzana, bambú, trigo y plántago suministrada por los fabricantes.....	19
<b>Tabla 1.4.</b> Parámetros de color ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) de las fibras dietarias.....	23
<b>Tabla 1.5.</b> Tamaño medio ( $D_m$ ) de partícula y amplitud de la distribución de tamaños ( $S_p$ ) de las muestras analizadas.....	26
<b>Tabla 1.6.</b> Propiedades de hidratación de las fibras dietarias.....	28
<b>Tabla 2.1.</b> Contenido de fibra total, insoluble y soluble de los geles enriquecidos con fibras de distintos orígenes y mermeladas comerciales.....	59
<b>Tabla 2.2.</b> Módulos elástico y viscoso al final del curado de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r, T y T-r.....	65
<b>Tabla 2.3:</b> Parámetros mecánicos del test APT de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r, T y T-r.....	71
<b>Tabla 2.4:</b> Sinéresis y parámetros de color de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r, T y T-r.....	73
<b>Tabla 2.5:</b> Módulos elástico y viscoso, módulo complejo y valores predichos de los geles M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	81
<b>Tabla 2.6.</b> Parámetros mecánicos del test APT de los geles	



M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	86
<b>Tabla 2.7:</b> Sinéresis y parámetros de color de los geles	
M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	88
<b>Tabla 3.1.</b> Tipos de agentes gelificantes usados en la producción de jaleas.....	106
<b>Tabla 3.2.</b> Coeficientes $G'_0$ , $n$ y $R^2$ de las muestras C, T, B, P y M.....	128
<b>Tabla 3.3.</b> Parámetros reológicos $G'_0$ , $n$ , $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ , $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ y $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$ de las muestras C, T, B, P y M.....	134
<b>Tabla 3.4.</b> Parámetros del modelo del gel débil de las muestras C, T, B, P y M.....	135
<b>Tabla 3.5.</b> Propiedades mecánicas del test de penetración de las muestras C, T, B, P y M .....	139
<b>Tabla 3.6.</b> Sinéresis y parámetros de color de las muestras C, T, B, P y M.....	140
<b>Tabla 3.7.</b> Coeficientes $G'_0$ , $n$ y $R^2$ de las jaleas con fibra MP11, BP11 y TP11.....	144
<b>Tabla 3.8.</b> Parámetros reológicos $G'_0$ , $n$ , $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ , $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ y $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$ de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	148
<b>Tabla 3.9.</b> Parámetros del modelo del gel débil, módulo complejo y valores predichos de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	150
<b>Tabla 3.10.</b> Propiedades mecánicas del test de penetración de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	152
<b>Tabla 3.11.</b> Sinéresis y parámetros de color de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	154

<b>Tabla 3.12.</b> Coeficientes $G'_0$ , $n$ y $R^2$ de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31.....	158
<b>Tabla 3.13.</b> Parámetros reológicos $G'_0$ , $n$ , $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ , $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ y $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$ de las jaleas con fibra MP11, BP11, TP11, MP31, BP31 y TP31.....	162
<b>Tabla 3.14.</b> Parámetros del modelo del gel débil, módulo complejo y valores predichos de las jaleas con fibra MP11, BP11, TP11, MP31, BP31 y TP31...	164
<b>Tabla 3.15.</b> Propiedades mecánicas del test de penetración de las jaleas con fibra MP11, BP11, TP11, MP31, BP31 y TP31.....	166
<b>Tabla 3.16.</b> Sinéresis y parámetros de color de las jaleas con fibra MP11, BP11, TP11, MP31, BP31 y TP31.....	167
<b>Tabla 3.17.</b> Parámetros reológicos $G'_0$ , $n$ , $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ , $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ y $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$ de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31 y el dulce comercial DMC2....	173
<b>Tabla 3.18.</b> Parámetros del modelo para gel débil de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31 y el dulce comercial DMC2.....	174
<b>Tabla 3.19.</b> Propiedades mecánicas del test de penetración de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31 y los dulces comerciales DMC1 y DMC2.....	176
<b>Tabla 3.20.</b> Sinéresis y parámetros de color de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31 y los dulces comerciales DMC1 y DMC2.....	177
<b>Tabla 3.21.</b> Aceptabilidad global de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31 y el dulce comercial DMC2.....	180

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Composición de la fibra dietaria.....	5
<b>Figura 1.2.</b> Unidad estructural básica de la celulosa.....	6
<b>Figura 1.3.</b> Estructura básica de la hemicelulosa.....	7
<b>Figura 1.4.</b> Unidad básica de la pectina.....	7
<b>Figura 1.5.</b> Clases de almidón resistente y sus fuentes.....	8
<b>Figura 1.6.</b> Fibras dietarias.....	23
<b>Figura 1.7.</b> Distribución de tamaños de partícula de las muestras secas e hidratadas.....	25
<b>Figura 1.8.</b> Micrografías de la fibra de trigo a) Seca y b) Hidratada.....	27
<b>Figura 1.9.</b> Muestras de harina, fibra y almidón luego de agregar el reactivo de Lugol.....	29
<b>Figura 2.1.</b> Estructura de la cadena de pectina.....	41
<b>Figura 2.2.</b> Representación de la estructura química de la pectina, a) Alto metoxilo y b) Bajo metoxilo.....	42
<b>Figura 2.3.</b> Rango de ajuste de pectinas altamente esterificadas.....	43
<b>Figura 2.4.</b> a) Red formada por las cadenas de pectina. b) Estructura de las zonas de conexión de las pectinas de HM.....	45
<b>Figura 2.5.</b> Clasificación comercial de la pectina.....	45
<b>Figura 2.6.</b> Mercado mundial estimado de las aplicaciones de pectina en 2005.....	47

<b>Figura 2.7.</b> Métodos reológicos para caracterizar geles.....	49
<b>Figura 2.8.</b> Métodos no reológicos para caracterizar geles.....	50
<b>Figura 2.9.</b> Curva típica Fuerza vs Tiempo.....	55
<b>Figura 2.10.</b> Evolución de los módulos a) $G'$ y b) $G''$ , durante el enfriamiento de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r y T y T-r.....	61
<b>Figura 2.11.</b> Evolución de los módulos a) $G'$ y b) $G''$ durante el curado de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r y T y T-r.....	62
<b>Figura 2.12.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ durante el barrido de frecuencia de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r y T y T-r.....	67
<b>Figura 2.13.</b> Curvas Fuerza vs Tiempo de los geles C y C-r, M y M-r, B y B-r, P y P-r y T y T-r.....	68
<b>Figura 2.14.</b> Micrografías de los geles adicionados con distintas variedades de fibra, a) M, b) P, c) B y d) T.....	76
<b>Figura 2.15.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ durante el enfriamiento de los geles M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	78
<b>Figura 2.16.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ durante el curado de los geles M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	79
<b>Figura 2.17.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ durante el barrido de frecuencia de los geles M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	84
<b>Figura 2.18.</b> Curvas Fuerza vs Tiempo de los geles M, B, P, T, M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.....	85
<b>Figura 2.19.</b> Micrografías de los geles con combinaciones de fibras a) M-P; b) B-P; c) T-P; d) M-B y e) M-T.....	91

<b>Figura 3.1:</b> Efecto del pH, concentración de azúcar y pectina sobre la estructura y fuerza del gel.....	107
<b>Figura 3.2:</b> Factores que controlan el proceso de fabricación de mermeladas.....	111
<b>Figura 3.3.</b> Pasos seguidos para la elaboración de las jaleas con y sin fibra.....	119
<b>Figura 3.4.</b> Curva típica Fuerza vs Tiempo de un test de penetración.....	121
<b>Figura 3.5.</b> Porción de muestra tomada para la determinación de la sinéresis.....	123
<b>Figura 3.6.</b> Muestras codificadas entregadas a los panelistas.....	124
<b>Figura 3.7.</b> Evolución del módulo elástico $G'_0$ durante el almacenamiento de las muestras C, T, B, P y M.....	127
<b>Figura 3.8.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ , durante el barrido de frecuencia de las muestras C, T, B, P y M.....	130
<b>Figura 3.9.</b> Evolución de $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) durante el barrido de frecuencias de las muestras C, T, B, P y M.....	132
<b>Figura 3.10.</b> Curvas Fuerza vs Tiempo de las muestras C, T, B, P y M.....	137
<b>Figura 3.11.</b> Evolución del módulo elástico $G'_0$ durante el almacenamiento de las jaleas con fibra MP11, BP11 y TP11.....	143
<b>Figura 3.12.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ , durante el barrido de frecuencia de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	145
<b>Figura 3.13.</b> Evolución de $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	147
<b>Figura 3.14.</b> Curvas Fuerza vs Tiempo de las jaleas con fibra T, B, P, M, MP11, BP11 y TP11.....	151

<b>Figura 3.15.</b> Evolución del módulo elástico $G'_0$ durante el almacenamiento	
de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31.....	157
<b>Figura 3.16.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ , durante el barrido de frecuencia	
de las jaleas con fibra MP11, BP11 y TP11, MP31, BP31 y TP31.....	159
<b>Figura 3.17.</b> Evolución de $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ )	
de las jaleas con fibra MP11, BP11 y TP11, MP31, BP31 y TP31.....	161
<b>Figura 3.18.</b> Curvas Fuerza vs Tiempo de las jaleas con fibra	
MP11, BP11 y TP11, MP31, BP31 y TP31.....	165
<b>Figura 3.19.</b> Muestras de jaleas con fibra MP31, BP31y TP31.....	169
<b>Figura 3.20.</b> Dulces de manzana comerciales usados para comparación.....	169
<b>Figura 3.21.</b> Evolución de a) $G'$ y b) $G''$ , durante el barrido de frecuencia de las jaleas	
con fibra MP31, BP31, TP31 y el dulce comercial DMC2.....	170
<b>Figura 3.22.</b> Evolución de $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ )	
de las jaleas con fibra MP31, BP31 y TP31 y el dulce comercial DMC....	172
<b>Figura 3.23.</b> Curvas Fuerza vs Tiempo de las jaleas con fibra	
MP31, BP31 y TP31 y los dulces comerciales DMC1 y DMC2.....	175
<b>Figura 3.24.</b> Distribución de edades de los participantes del análisis sensorial.....	179
<b>Figura 3.25.</b> Frecuencia de consumo de dulces de fruta de los	
participantes del análisis sensorial.....	179

# **CAPÍTULO 1**

## *Fibra Dietaria*

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 ¿Qué es la fibra dietaria (o fibra dietética)?

Hasta la fecha se han publicado multitud de definiciones del término que han intentado conjugar el conocimiento nutricional y los métodos analíticos disponibles en cada momento para la cuantificación de los diversos componentes de la fibra (Mateu de Antonio, 2004). No existe todavía una definición única que englobe los distintos componentes de la fibra dietética y sus funciones (Escudero y Gonzáles, 2006). Actualmente hay varias definiciones de fibra dietaria que son de importancia, las más reconocidas internacionalmente son (Mateu de Antonio, 2004; Gray, 2006):

- ✓ *FAO/WHO Expert Consultation. FAO (1998).* Los principales componentes de la fibra dietética se derivan de las paredes celulares de vegetales presentes en la dieta y comprenden celulosa, hemicelulosa y pectina (los polisacáridos no-almidón). La lignina, un componente no-hidrato de carbono de la pared celular, también se incluye a menudo como tal. Actualmente no hay un consenso sobre qué hidratos de carbono deberían incluirse como fibra dietética y diferentes autores han incluido polisacáridos no-almidón y almidón resistente. Más recientemente se ha sugerido que oligosacáridos no digeribles también se deberían incluir en el término.
- ✓ *Food and Nutrition Board. Institute of Medicine (2001/2002).* La fibra dietética consiste en hidratos de carbono y lignina no digeribles en el intestino delgado humano procedentes de plantas comestibles en los cuales la matriz vegetal está mayoritariamente intacta. Adicionalmente se define la fibra añadida o funcional como hidratos de carbono no digeribles compuestos de al menos tres moléculas de monosacáridos aislados, añadidos, modificados o fabricados sintéticamente que tienen efectos beneficiosos en los seres humanos. La fibra total sería la suma de las dos anteriores.



- ✓ *American Association of Cereal Chemists (2001)*. La fibra dietética es la parte comestible de las plantas e hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con fermentación parcial o total en el colon. Incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas. La fibra dietética promueve efectos fisiológicos beneficiosos como efectos laxantes, disminución de la colesterolemia y/o de la glucemia.
- ✓ *Codex Alimentarius (ALINORM 06/29/26, Apéndice III)*: Se considera fibra dietaria a aquellos polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización (DP) no inferior a 3, que no son ni digeridos ni absorbidos en el intestino delgado. El grado de polimerización no menor de 3 excluye a los mono- y disacáridos. La fibra dietaria consiste en uno o más de los siguientes compuestos:
  - Polímeros de carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos;
  - Polímeros de carbohidratos que han sido obtenidos de la materia prima alimentaria por métodos físicos, enzimáticos o químicos;
  - Polímeros de carbohidratos sintéticos.

A nivel Nacional el Código Alimentario Argentino en el Capítulo XVII, *Artículo 1385 (última actualización 2017)* define el término fibra alimentaria como cualquier material comestible que no sea hidrolizado por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano. Incluye polisacáridos no almidón, pectinas, almidón resistente, inulina, oligofruktosa, polidextrosa, maltodextrinas resistentes, fructooligosacáridos (FOS), galacto-oligosacáridos (GOS), trans-galactooligosacáridos (TOS), y todos los que en el futuro incorpore la Autoridad Sanitaria Nacional.

De acuerdo con estudios documentados, desde mediados de la década de 1970 el papel de la fibra dietaria en la salud y la nutrición ha estimulado una amplia gama de

estudios de investigación y atraído la atención de muchos autores: Guillon y Champ, 2000; Redgwell y Fisher, 2005; Rodríguez et al., 2006; Escudero y Gonzáles, 2006; Molina-Montes y Martin-Islan, 2007; Buttriss y Stokes, 2008; Anderson et al., 2009; Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010; Brownlee, 2011, Dello Staffolo et al., 2012; Dhingra et al., 2012; Mudgil y Barak, 2013. Por esta acumulación de evidencias actualmente se acepta que la fibra dietaria juega un papel importante en la prevención de varias enfermedades, y que las dietas con un alto contenido de fibra, tales como aquellas que son ricas en cereales, frutas y verduras, tienen un efecto positivo en la salud ya que su consumo se ha relacionado con una menor incidencia de varios tipos de cáncer, enfermedades coronarias, diabetes y problemas digestivos (Li y Komarek, 2017). El consumo de fibra ha adquirido importancia en los últimos años, obligando a la industria alimentaria a desarrollar nuevos productos, más saludables y con un alto contenido de fibra dietética, vitaminas, bajo contenido de colesterol y comidas complementadas con ellas (Abdul-Hamid y Luan, 2000).

## 1.2 Composición y tipos de fibra dietaria

Químicamente la fibra dietaria está formada por un conjunto de compuestos químicos de naturaleza heterogénea (**Figura 1.1**). Se compone, en su mayoría, de carbohidratos con uniones glicosídicas  $\beta$  no atacables por enzimas tales como la  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -glicosidasa específicas para uniones glicosídicas. Los almidones crudos con uniones  $\alpha$ , los almidones modificados y las pectinas, también contribuyen a la fibra total. Estos componentes son los responsables de sus principales propiedades y que a su vez permiten explicar sus funciones fisiológicas.

FIBRA DIETARIA TOTAL	TIPOS DE COMPONENTES	COMPONENTES			SOLUBILIDAD EN AGUA*	
	Oligosacáridos resistentes a la digestión (carbohidratos resistentes con 3 a 9 unidades monoméricas)	Rafinosa: Estaquiosa; verbascosa				Soluble
Fructanos: Inulina, Oligofructosa y fructo-oligosacáridos (FOS)						
Galacto-oligosacáridos (GOS); trans-galacto-oligosacáridos (TOS) y Galactriosa.						
Isomaltol-oligosacáridos (IMOS) y Xilo-oligosacáridos						
Soya-oligosacáridos (SOS)						
Maltodextrinas resistentes, ciclodextrinas resistentes						
Otras dextrinas resistentes						
Polisacáridos resistentes a la digestión (carbohidratos resistentes con más de 10 unidades monoméricas)	Almidón resistente a la digestión	RS1	Físicamente inaccesible	Granos semi-molidos, semillas, leguminosas	Soluble	
		RS2	Gránulos crudos	Almidón de papa crudo, bananas verdes		
		RS3	Almidón retrogradado, no granular, cristalino	Cereales para desayuno, almidón cocido y enfriado		
		RS4	Almidón modificado químicamente	Almidones modificados con enlaces cruzados		
	Polisacáridos resistentes a la digestión que no son almidón (NSP)	Celulosa	Celulosa	Celulosa	Insoluble y aPM	
			Metilcelulosa, Carboximetilcelulosa, Hidroxipropilmetil celulosa			
		Polisacáridos no celulósicos	Hemicelulosa puede ser soluble o insoluble			Soluble
			β - glucanos de levaduras y mohos			
			β - glucanos de cereales (aPM)			Soluble
			Pectina, puede ser de dos tipos			Soluble Insoluble
			Pentosanos, puede ser insoluble y soluble (sPM)			Soluble
			Polisacáridos de algas	Carragenina Alginatos Agar o agar agar		
	Gomas	Gellan, xantana, arábica, tragacanto, ghati, karaya Galactomananos: Goma de algarroba guar, tara, alholva, otros.				
	Mucílagos Polidextrosa					
Polímero fenilpropano	Lignina			Insoluble		

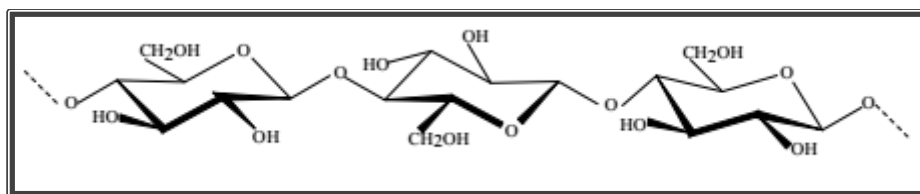
Solubilidad en agua y peso molecular (PM), aMP=alto PM y bMP=bajo peso molecular

Figura 1.1. Composición de la fibra dietaria (Vera, 2003).

A continuación, se dará una breve descripción de los componentes más importantes y que están en mayor proporción en la fibra dietaria.

✓ Celulosa

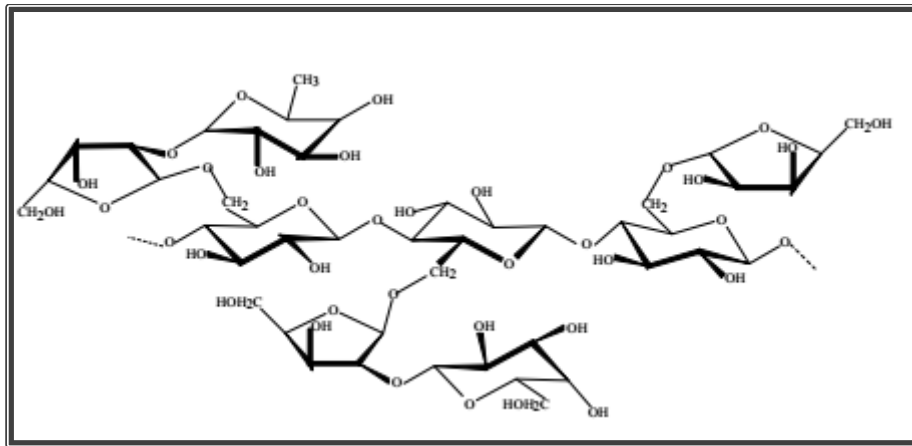
Es un polisacárido lineal, no ramificado que consiste solo de unidades de glucosa, hasta 10.000 por molécula (**Figura 1.2**). Las moléculas lineales están empacadas juntas como fibras largas en una estructura que es muy insoluble y resistente a la digestión por las enzimas humanas. La celulosa es el componente principal de la pared celular de la mayoría de las plantas y, por lo tanto, está presente en frutas, verduras y cereales. La celulosa forma alrededor de un cuarto de la fibra dietética en los granos y frutas y un tercio en las verduras y nueces (Gray, 2006).



**Figura 1.2** Unidad estructural básica de la celulosa (Alonso Peña, 2011).

✓ Hemicelulosa

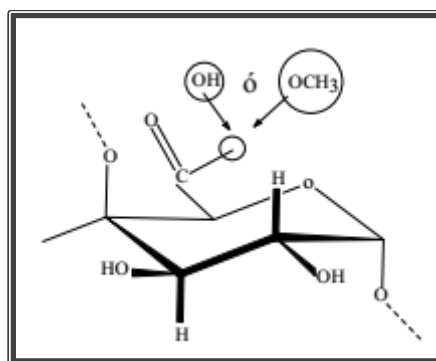
Las hemicelulosas son polisacáridos que contienen otros azúcares además de glucosa y están asociados con la celulosa en la pared celular de los vegetales. Incluye moléculas lineales y ramificadas, más pequeñas que la celulosa (**Figura 1.3**). El nombre hemicelulosas describe un grupo heterogéneo de estructuras químicas que están presentes en los alimentos vegetales en forma soluble e insoluble en agua. Aproximadamente un tercio de la fibra dietética en las verduras, frutas, legumbres y nueces se compone de hemicelulosas (Gray, 2006).



**Figura 1.3** Estructura básica de la hemicelulosa (Alonso Peña, 2011).

✓ Pectinas

Las pectinas son polisacáridos solubles en agua caliente y forman geles por enfriamiento. Se componen principalmente de cadenas de ácido galacturónico intercaladas con unidades de ramnosa y se ramifican con cadenas de unidades de pentosa y hexosa (**Figura 1.4**). Están presentes en las paredes celulares y tejidos intracelulares de frutas y verduras y se usan como agentes gelificantes y espesantes en varios productos alimentarios. Aunque las pectinas se encuentran mayormente en frutas, también representan de un 15% a un 20% de la fibra dietética en las verduras, legumbres y nueces (Gray, 2006).



**Figura 1.4** Unidad básica de la pectina (Alonso Peña, 2011).

✓  $\beta$ - glucanos

Los  $\beta$ -glucanos son polímeros de glucosa, no son como la celulosa, ya que las uniones entre las distintas unidades son variables, poseen estructuras ramificadas y son

de tamaños pequeños. Estas propiedades influyen en su solubilidad lo que les permite formar soluciones viscosas. Los  $\beta$ -glucanos son el componente mayoritario en la pared celular en granos de avena y cebada, pero están presentes en pequeñas cantidades en el trigo. Estos se han situado como una fuente de fibra soluble debido a sus efectos conocidos en las respuestas glucémicas, insulina y colesterol. Estas funciones fisiológicas hacen de los  $\beta$ -glucanos una fibra dietaria funcional (Gray, 2006).

✓ Almidón resistente

El almidón y los productos de la degradación del almidón que no son absorbidos en el intestino delgado de los humanos sanos se denominan almidón resistente. Está presente en un amplio rango de alimentos que contienen carbohidratos en varias proporciones. Se han identificado cuatro clases de almidón resistente: almidón físicamente accesible (RS1), granulosa de almidón nativo (RS2), almidón retrogradado (RS3) y el almidón químicamente modificado (RS4), **Figura 1.5:**

<b>Almidón resistente (RS por su sigla en inglés)</b>
<b>RS1</b> – encerrado dentro de estructuras celulares naturales en alimentos como semillas de leguminosas y granos y semillas de cereal parcialmente molidas.
<b>RS2</b> – Maíz rico en amilosa, papas crudas, bananas verdes.
<b>RS3</b> – amilosa retrogradada en alimentos procesados, por ejemplo, en el pan, hojuelas de maíz y papas o arroz cocido y enfriado.
<b>RS4</b> – almidón modificado químicamente.

**Figura 1.5.** Clases de almidón resistente y sus fuentes (Gray, 2006).

✓ Oligosacáridos no digeribles

Los oligosacáridos no digeribles con un grado de polimerización de 3 a 10 se encuentran naturalmente en los alimentos vegetales, principalmente verduras, cereales

y frutas. También pueden sintetizarse química o enzimáticamente a partir de los monosacáridos y los disacáridos, o mediante hidrólisis enzimática de los polisacáridos. Están incluidos en la definición de fibra dietética porque, como resultado de su no digestibilidad, presentan efectos fisiológicos similares a sus contrapartes polisacáridas mayores. Generalmente son altamente fermentables y algunos tienen las denominadas propiedades prebióticas. Los prebióticos más conocidos son los fructanos, que incluyen a los fructooligosacáridos u oligofruktosas, obtenidos por hidrólisis enzimática de las inulinas naturales (con grado de polimerización de 3 a 60) y sus análogos sintéticos obtenidos mediante síntesis enzimática a partir de la sacarosa. Las cebollas, la radicheta (raíz achicoria) y el topinambur son las principales fuentes alimentarias de fructanos naturales, de los cuales se obtiene la inulina y los fructooligosacáridos (Gray, 2006).

✓ Otros compuestos de carbohidratos sintéticos

Al igual que la celulosa, los derivados sintéticos de la celulosa, como la metilcelulosa y la hidroxipropilmetilcelulosa, no son digeribles. A diferencia de su molécula de origen, son solubles, pero difícilmente se fermentan con la microflora colónica. Por ejemplo, la povidexosa es un polímero de carbohidrato no digerible, con un promedio de polimerización de 10, sintetizado a partir de glucosa y sorbitol, utilizando como catalizador un ácido orgánico como el ácido cítrico. El resultado es una estructura compleja resistente a la hidrólisis realizada por las enzimas digestivas humanas. Se fermenta parcialmente en el colon, alrededor del 50% en los humanos, y tiene propiedades digestivas y prebióticas (Gray, 2006).

✓ Gomas y mucílagos

Los hidrocoloides comprenden un amplio rango de polisacáridos mixtos viscosos. Se derivan de exudados vegetales (goma arábica y tragacanto), semillas (gomas guar y garrofin) y extractos de algas (agar, carrageninas y alginatos). Los mucílagos están presentes en las células de las capas externas de las semillas de la familia plantagináceas como por ejemplo el ispágula (psyllium). Estos hidrocoloides se usan en

pequeñas cantidades en ciertos alimentos, como agentes gelificantes, espesantes, estabilizantes y emulsionantes. Algunos, por ejemplo, la goma guar y la ispágula se han investigado y/o usado como ingredientes funcionales en los alimentos (Gray, 2006).

En particular, psyllium es un término que se usa para designar tanto a la planta (Plántago) como al material mucilaginoso preparado a partir de cáscaras de semillas del género Plántago que incluye el *Plantago ovata*, *Plantago psyllium*, *Plantago indica*, etc., que crecen en ciertas regiones templadas y subtropicales (Cui y Roberts, 2009; Yu et al., 2008). Tiene una larga historia de uso como un suplemento de fibra dietética para promover la regulación de la función del intestino grueso y la reducción de los niveles de colesterol en la sangre (Fisher et al., 2004). Puede adquirirse solo (en forma de partículas o polvo) o acompañado de otros aditivos como la sacarosa. Los polisacáridos de psyllium preparados a partir de diferentes especies tienen en común las capacidades de gelificación y fuerte absorción de agua. Estas características se pueden explicar porque la goma de psyllium es un polisacárido aniónico que podría tener una carga negativa debido a los grupos carboxilo ionizados. Por lo tanto, la repulsión electrostática intermolecular debido a las homo-cargas hace que las cadenas de polisacáridos se extiendan completamente y se interpenetren entre sí para formar una reticulación intermolecular que induce la gelificación (Farahnaky et al, 2010).

✓ Lignina

La lignina no es un polisacárido, pero está químicamente unida a la hemicelulosa en la pared de las células vegetales y, por lo tanto, está íntimamente asociada con los polisacáridos de la pared de las células vegetales. También influye en la fisiología gastrointestinal. Está presente en los alimentos como un componente leñoso, tal como es el apio y en las capas externas de los granos de cereal (Gray, 2006).

✓ Otros componentes menores asociados

El ácido fítico (inositol hexa-fosfato) está asociado con la fibra en algunos alimentos, especialmente en los granos de cereal. Sus grupos fosfatos se unen muy fuertemente



con los iones de carga positiva, como el hierro, el zinc, el calcio y el magnesio, y pueden influir en la absorción mineral desde el tracto gastrointestinal. Otros constituyentes vegetales asociados con la fibra dietética, por ejemplo, los polifenoles (taninos), las cutinas y los fitoesteroles también pueden tener efectos fisiológicos (Gray, 2006).

### 1.3 Efectos fisiológicos de la fibra dietaria

Con las nuevas investigaciones se hizo más evidente que los componentes individuales de la fibra dietética tienen efectos fisiológicos diferentes y, por lo tanto, diferente potencial para la reducción del riesgo de enfermedades (Spiller, 2001; Buttriss y Stokes, 2008; Anderson et al., 2009; Brownlee, 2011; Li y Komarek, 2017). En la **Tabla 1.1** se resumen algunos beneficios de la fibra dietética:

**Tabla 1.1.** Beneficios asociados con los componentes de la fibra dietaria (Matos-Chamorro, 2010).

<b>Tipo de fibra</b>	<b>Acción</b>
Celulosa	Capacidad de retención de agua, reducción de la presión colónica y reducción del tiempo de tránsito intestinal.
Hemicelulosa	Capacidad de retención de agua, incremento de la masa fecal, reducción de la presión colónica, reducción del tiempo de tránsito intestinal y posibilidad de retener ácidos biliares.
Pectinas, gomas y mucílagos	Retiene ácidos biliares, reduce la evacuación gástrica e incrementa la fermentación colónica.
Lignina	Capacidad de retención de agua, ligado de minerales, aumento de excreción y posibilidad de incrementar la defecación.

- Efectos en el sistema digestivo

La microflora del colon fermenta parcial o completamente los carbohidratos que resisten la digestión y la absorción en el intestino delgado. Los productos de fermentación tales como los ácidos grasos de cadena corta juegan un papel fisiológico clave. Los carbohidratos no digeridos que llegan al intestino grueso suavizan la consistencia de las

heces, aumentan su peso y la frecuencia de la defecación (Cummings, 2001). Con una mayor ingesta de fibra dietética, el peso de las heces tiende a ser más alto y disminuye el tiempo de tránsito, lo que puede contribuir a la prevención de los trastornos del intestino grueso como el estreñimiento, la diverticulitis y los cánceres de intestino grueso (Elleuch et al., 2011). La mayoría de los carbohidratos no absorbidos tienen efectos laxantes, tanto al aumentar la masa bacteriana o los efectos osmóticos, como al unirse al agua con la fibra no fermentada restante (Spiller G. y Spiller M., 2001). La evidencia general de un efecto de la ingesta total de fibra sobre el riesgo de cáncer colorrectal no se considera suficiente para servir como base para las directrices sobre la ingesta de fibra dietética. Sin embargo, las personas con menor ingesta de fibra pueden tener un mayor riesgo (Mudgil y Barak, 2013).

- Efecto reductor del colesterol

En general, se considera que niveles adecuados de ingesta de fibra dietética disminuyen el riesgo de enfermedades coronarias. Las pautas más actuales para la ingesta de fibra se basan, por lo tanto, en su efecto sobre el riesgo de enfermedad cardiovascular (Theuwissen y Mensink, 2008).

Las fibras altamente viscosas (como los  $\beta$ -glucanos de la avena, las pectinas y la goma guar) influyen en los niveles de lípidos en la sangre, mientras que las fibras no viscosas, como la fibra de trigo y la celulosa, generalmente no lo hacen (Dikerman y Fahey, 2006; Mudgil y Barak, 2013).

- Reducción de la respuesta glucémica

Hay algunas indicaciones de que las fibras viscosas como las pectinas y la goma guar retrasan el vaciado gástrico, y que el almidón digerido lentamente y el almidón resistente aumentan la saciedad (Dikerman y Fahey, 2006). Hay evidencia de que los beneficios de los granos integrales, las frutas y los vegetales superan a los de los componentes aislados de estos alimentos (que se usan como suplementos o se agregan a los alimentos). Posiblemente otras sustancias, aún no identificadas, en tales alimentos

pueden explicar esto; quizás es la combinación general de la fibra dietética, los nutrientes y las sustancias bioactivas, que actúan sinérgicamente, lo que es fundamental para la salud. Sin embargo, también hay tipos aislados de fibra dietética, como almidón resistente, oligosacáridos no digeribles y polidextrosa que ayudan a prevenir y aliviar los trastornos intestinales, y disminuyen los factores de riesgo de enfermedad coronaria y diabetes tipo 2 (Kaczmarczyk et al., 2012; Mudgil y Barak, 2013).

#### **1.4 Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietaria**

##### **1.4.1 Solubilidad**

Teniendo en cuenta la solubilidad en agua, hay dos tipos de fibras: solubles (pectina, gomas) y las insolubles (celulosa, lignina). La naturaleza soluble o insoluble de la fibra dietaria tiene incidencia en su funcionalidad tecnológica y en los efectos fisiológicos de la misma (Kaczmarczyk et al., 2012). Las fibras solubles son las responsables del incremento de la viscosidad y además reducen la respuesta glucémica y el colesterol (McCarty, 2005). Las fibras insolubles están caracterizadas por su porosidad, baja densidad y están asociadas con el incremento del bolo fecal y la reducción del tiempo en el tránsito intestinal (Brownlee, 2011). En las operaciones de procesamiento de alimentos la incorporación de fibra soluble es más beneficiosa que la incorporación de fibra insoluble ya que mejora su viscosidad por su habilidad para formar geles y/o actuar como emulsificador del producto (Mudgil y Barak, 2013).

##### **1.4.2 Capacidad de retención de agua**

La capacidad de almacenar agua hace referencia a la cantidad de agua retenida por una muestra conocida de fibra seca bajo condiciones específicas de temperatura, tiempo de remojo, duración y velocidad de centrifugación. Sin embargo, una porción de fibras solubles se pierde durante las mediciones, por lo cual la cantidad de agua medida por centrifugación es generalmente mayor que la cantidad de agua absorbida (Fleury y Lahaye, 1991). En general los polisacáridos que constituyen la fibra dietaria son

fuertemente hidrofílicos y el agua es retenida en los sitios hidrofílicos de la fibra o dentro de los espacios vacíos en la estructura molecular (Mudgil y Barak, 2013).

#### **1.4.3 Capacidad espesante y gelificante**

La capacidad espesante es una propiedad fisicoquímica asociada con las fibras dietarias, especialmente las fibras solubles tales como las gomas, pectinas, psyllium y los  $\beta$ -glucanos (Dikerman y Fahey, 2006). La capacidad espesante o gelificante está relacionada con la habilidad de la fibra de absorber agua y formar una masa gelatinosa continua (Li y Komarek, 2017). Las fibras solubles en agua son los componentes que pueden aumentar la viscosidad de una solución, además de formar geles aumentando la viscosidad del contenido del tracto gastro intestinal. Este fenómeno puede explicar el retraso en el vaciamiento gástrico a menudo asociado con la ingestión de fibras (Slavin, 2013). Los geles también pueden proporcionar lubricación a las heces (Slavin, 2005).

#### **1.4.4 Capacidad de unión (binding ability)**

La matriz de gel formada por fibras solubles que finalmente se excretan en las heces puede atrapar algunos de los ácidos biliares liberados de la vesícula biliar (Elleuch et al., 2011).

#### **1.4.5 Capacidad de hinchamiento (bulking ability)**

Las fibras insolubles, como la celulosa y la lignina, son en su mayoría no fermentables por la microflora del colon y aumentan el volumen fecal por su formación de partículas y capacidad de retención de agua (Elleuch et al., 2011). El salvado de trigo se encuentra entre los mejores agentes de carga. Algunas fibras de hemicelulosa fermentables, incluida la col, aumentan el volumen fecal al aumentar la flora fecal. Por el contrario, las fibras altamente fermentables, como la pectina, tienen poco efecto sobre el volumen fecal (Mudgil y Barak, 2013).

#### **1.4.6 Fermentabilidad**

El grado de fermentación de las fibras es muy variable, desde nada con las ligninas hasta la fermentación casi completa con pectinas. Las fibras solubles son fermentadas

en mayor medida por bacterias colónicas que las fibras insolubles (Elleuch et al., 2011). La fermentación de fibras solubles puede jugar un papel importante en algunos efectos fisiológicos de la fibra. Las plantas contienen diversas proporciones de fibras dietéticas rápidamente fermentadas, fermentadas lentamente y no fermentables. Se cree que las frutas (como las manzanas y los plátanos) y las verduras (como las papas y los frijoles) fermentan rápidamente y pueden contribuir menos al engorde fecal que otras fibras. Se piensa que el psyllium y el salvado de trigo fermentan lentamente y ayudan a acumular la masa fecal a través de la fermentación, que tiene lugar a lo largo de todo el colon (Mudgil y Barak, 2013).

### 1.5 Aplicaciones de la fibra dietaria en alimentos

Los científicos han realizado intentos para mejorar las propiedades nutricionales de los productos alimenticios (Singh et al., 1996) y mejorar el valor de los subproductos del procesamiento de alimentos (Elleuch et al., 2011). Durante los últimos años las fibras han adquirido una importancia adicional relacionada a su uso como ingrediente funcional, y además el número de estudios acerca de ellas ha ido incrementando no solo en lo referido a los aspectos dietéticos sino también a su recuperación industrial (Rodríguez et al., 2006). Por ejemplo, se ha estudiado distintas formas de obtención y caracterización de fibras dietarias de diversos orígenes: calabaza (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret) residuos de membrillo; cáscaras y pulpa de durazno (De Escalada Pla et al., 2007; 2010; 2012) y bagazo de durazno (Nieto Calvache et al., 2015).

La adición de fibra dietaria en una amplia gama de productos contribuirá al desarrollo de alimentos con valor agregado o alimentos funcionales que en la actualidad están en creciente demanda (Abdul-Hamid y Luan, 2000; Chau et al., 2006). Más del 50% de los alimentos funcionales disponibles en el mercado tienen fibra como componente activo (Teixeira Macagnan et al., 2016). La investigación de la aplicación de fibra dietética incluye principalmente la adición de fibra dietética a productos de harina, productos cárnicos, y productos lácteos o uso como aditivos (Dhingra et al., 2012).

### 1.5.1 Aplicación en productos a base de harina

Actualmente los productos a base de harinas que son ricos en fibra dietética se encuentran ampliamente disponibles. En comparación con los alimentos no modificados, este tipo de productos “dietéticos” ha atraído el interés de consumidor. La fibra dietaria se agrega a menudo en productos como el pan integral, fideos, galletas, masas, etc. Por ejemplo:

- ✓ En fideos: se utilizó goma guar parcialmente hidrolizada como fuente de fibra soluble, lo que mejoró la dureza, la adhesividad y la cohesividad de este producto (Yang, et al., 2017). También se utilizó como fuente de fibra en los fideos harina de la cáscara de banana, lo que le dio al producto calidad nutricional y aceptabilidad sensorial (Choo y Aziz, 2010).
- ✓ En galletas: se agregaron granos de café para incrementar la fuente de fibra, lo que resultó en un producto más nutritivo y más sabroso con valor potencial en la prevención de la diabetes (Martinez-Saez et al., 2017).
- ✓ Otros: tortas enriquecidas con proteínas y fibra donde se reemplaza el 5% de la harina de trigo por harina de cascara de patata (Bouaziz et al., 2016). Fibras dietarias solubles e insolubles se agregaron a fideos spaghetti (Brennan y Tudorica, 2007), y a masa de pizza (Pacheco de Delahaye et al., 2005). También se encontró un trabajo donde se agregó inulina como fuente de fibra en el pan (Rubel et al., 2015).

### 1.5.2 Aplicación en productos cárnicos.

La adición de fibra en los productos cárnicos es cada vez más común, la adición de fibra puede aumentar la aceptabilidad al dar productos de mayor calidad, mejorando las características de procesamiento de los productos cárnicos, su rendimiento y alargando el tiempo de almacenamiento (Galanakis et al., 2010; Talukder, 2015). Ejemplo: se han añadido fibras dietarias como sustitutos de grasas en salchichas (Ham et al., 2016; Henning et al., 2016).

### 1.5.3 Aplicación en productos lácteos.

Estudios recientes encontraron que la adición de fibra dietética puede mejorar el valor nutritivo del yogur, aunque agregar diferentes cantidades de fibra dietética puede influir en la textura, la consistencia, las propiedades reológicas y la aceptabilidad del consumidor (Dello Sttafolo et al., 2004; Sanz et al., 2008).

### 1.5.4 Aplicación en productos de confitería

Se han encontrado un número limitado de artículos en donde se incorporen, en particular, fibras dietarias en confituras de fruta, que incluye a dulces, jaleas y mermeladas, (según el CAA, 2010), que es la aplicación referida a esta tesis. En uno de los trabajos encontrados se obtuvo un dulce de pomelo no convencional mezclando pomelo deshidratado por ósmosis con parte de su solución osmótica, más pectina de alto metoxilo y fibra de bambú (Igual et al., 2014). En otro trabajo se elaboraron caramelos de fruta (con estructura tipo gel) con el agregado de un polvo obtenido a partir de piel de uvas (Cappa et al., 2015). En otro de los artículos encontrados se estudió el efecto sobre las propiedades físicas y sensoriales, de la adicción de fibra dietaria (piel de durazno), en mermeladas de frutilla (Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso, 1999) y estos mismos autores estudiaron la calidad de las mermeladas de durazno estabilizadas con fibra dietaria obtenida de las cáscaras de durazno (Grigelmo-Miguel y Martin-Belloso, 2000).

Si bien no fueron muchos los trabajos encontrados relacionados con la adición de fibra dietaria en productos de confitería, estos sirvieron de base para realizar nuestro estudio acerca de este tema. A diferencia de los trabajos mencionados nosotros utilizaremos fibras dietarias de distintos orígenes, una de origen frutícola (manzana) y otras que no lo son (bambú, trigo y psyllium plántago). Por lo tanto, el objetivo de este primer capítulo es caracterizar las fibras que se van a adicionar posteriormente a geles de pectina (Capítulo 2) y a jaleas de frutas (Capítulo 3). Las determinaciones realizadas fueron: 1) El color de las fibras dietarias, ya que se sabe que el color de la fibra puede

influir directamente en el color del producto donde sea adicionada; 2) el tamaño de partícula de la fibra en seco y luego de ser hidratada, ya que esta propiedad puede influir en las propiedades reológicas y mecánicas del producto final, lo que a su vez afectaría la aceptabilidad por parte del consumidor; 3) las propiedades de hidratación, que podrían influir en la sinéresis y en la estabilidad mecánica del producto donde se adicionen las fibras y 4) en el caso de la fibra de trigo se estudió la presencia de almidón mediante el test de Lugol, ya que la presencia de almidón en la fibra de trigo podría explicar su comportamiento cuando es adicionada como ingrediente a algún alimento.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materiales

Las fibras dietarias utilizadas en el trabajo fueron: manzana, M (Vitacel AF 400-30); trigo, T (Vitacel WF 101); bambú, B (Qualicel, CFF); y psyllium plántago, P (Konsyl). Konsyl es una fórmula farmacéutica que consiste en una mezcla de cáscaras de semillas de *Plántago ovata* (72%), maltodextrina (27%) y sílica amorfa (1%), mientras que la fibra de manzana incluye además (según datos proporcionados por los proveedores): 5% de pectina, 4.6% de proteínas, 2.5% de grasas, 3.5% de sacarosa, 3.2% de glucosa, 7.7% de fructosa y 1.2% de sorbitol.

El reactivo de Lugol es una solución de Yodo preparado con 1 g de Yodo y 2 g de Yoduro de Potasio en 20 ml de agua destilada (Murúa-Pagola et al., 2009).

En la **Tabla 1.2** se presenta el contenido de fibra dietaria total (FDT), insoluble (FDI) y soluble (FDS), además de los componentes principales de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) de las fibras de manzana, bambú, plántago y trigo, según datos publicados por Dello Stafollo (2017). En la **Tabla 1.3** se presentan algunas características técnicas proporcionadas por los fabricantes de dichas fibras.



**Tabla 1.2.** Contenido FDT, FDI, FDS, celulosa, hemicelulosa y lignina de las fibras de manzana, bambú, plántago y trigo (Dello Stafollo et al., 2017)

Tipo de Fibra	Manzana	Bambú	Plántago	Trigo
FDT	58.1 ± 1.0 <sup>b</sup>	95.3 ± 0.9 <sup>c</sup>	45.2 ± 0.8 <sup>a</sup>	94.4 ± 1.1 <sup>c</sup>
FDI	44.8 ± 0.4 <sup>b</sup>	91.4 ± 0.5 <sup>c</sup>	37.5 ± 0.6 <sup>a</sup>	92.1 ± 0.6 <sup>c</sup>
FDS	13.3 ± 0.7 <sup>c</sup>	3.2 ± 0.8 <sup>a</sup>	7.1 ± 0.5 <sup>b</sup>	2.3 ± 0.6 <sup>a</sup>
Celulosa	30.2 ± 1.7 <sup>b</sup>	48.7 ± 1.0 <sup>c</sup>	6.5 ± 0.4 <sup>a</sup>	72.2 ± 0.7 <sup>d</sup>
Hemicelulosa	5.7 ± 1.6 <sup>a</sup>	40.2 ± 1.7 <sup>d</sup>	29.5 ± 1.3 <sup>c</sup>	14.9 ± 0.9 <sup>b</sup>
Lignina	8.4 ± 0.8 <sup>b</sup>	2.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.8 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.6 ± 0.4 <sup>a</sup>

**Tabla 1.3** Especificaciones de las fibras de manzana, bambú, trigo y plántago suministradas por los fabricantes.

Tipo de fibra	Manzana	Bambú	Plántago	Trigo
Apariencia	Micro polvo	Polvo	Polvo	Polvo
Color	Marrón	Blanco	Beige	Blanco
Olor	Manzana	Sin olor	Sin olor	Sin olor
Sabor	Frutal	Neutro	Neutro	Neutro
pH (suspensión acuosa 10 % p / v)	3.7-4.1	4.6-6.0	-	4.0-6.0
Metales pesados	Pb = 0.28 ppm Cd < 0.01 ppm Hg < 0.02 ppm	Pb < 10 ppm	-	Pb < 10 ppm

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Color

Se determinó el color de las fibras dietarias en seco, en un colorímetro espectrofotométrico HunterLab UltraScan XE (Hunter Associates Laboratory, Inc.,

Reston, VA). A tal fin, una fracción del polvo fue colocada en una cápsula de plástico cerrada herméticamente. Se midió el color reflejado de todas las muestras. Los resultados fueron expresados en términos de la escala CIELab: L\* luminosidad [0 = negro, 100 = blanco], a\*[verde (-), rojo (+)] y b\* [azul (-), amarillo (+)]. Las muestras se midieron por triplicado.

### 2.2.2 Distribución del tamaño de partícula

El tamaño de partícula y la distribución de tamaños se determinaron en un analizador de partículas por difracción láser Horiba LA-950 V2 (Horiba, Kyoto, Japón) equipado con una celda de medición tanto para muestras secas como para muestras húmedas (hidratadas). La difracción láser mide las distribuciones de tamaño de partícula a partir de la variación angular de la intensidad de la luz dispersada a través de una muestra de partículas dispersas. Los datos de la intensidad de dispersión angular se utilizan para calcular el tamaño de las partículas responsables de crear el patrón de dispersión. El tamaño medio de partícula representa el diámetro medio en base volumen. La medición se realizó sobre las fibras secas (polvos) y sobre las fibras hidratadas. En el caso de las muestras hidratadas se prepararon dispersiones de cada tipo de fibra de aproximadamente 0.1 g de fibra en 50 ml de agua destilada y se dejaron bajo agitación (200 rpm) toda la noche.

De cada distribución de tamaño se obtuvo el diámetro medio ( $D_m$ ) y los diámetros en volumen equivalentes a 10%, 50% y 90% ( $D_{10}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$ , respectivamente). Como medida del ancho de cada distribución de tamaño se calculó el span ( $Sp$ ) utilizando la siguiente ecuación (Jinapong et al., 2008):

$$Sp = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}} \quad (1.1)$$

### 2.2.3 Propiedades de Hidratación

- Swelling,  $Sw$  (Capacidad de hinchamiento)

El “swelling” es la medida de la relación entre el volumen ocupado por la fibra cuando la misma se sumerge en un exceso de agua y su peso inicial. Para su determinación se pesaron 0.2 g de fibra dietaria ( $w_d$ ) y se colocaron en tubos cónicos de centrifuga graduados con 10 ml de agua destilada, se agitó manualmente cada tubo y se dejó reposar por 24 h a temperatura ambiente. Luego de cumplido ese tiempo se midió el volumen final ocupado por la muestra,  $v_w$  (Robertson et al., 2000; Raghavendra et al, 2006; Escalada Pla et al., 2010). Sw se calculó como:

$$Sw \left( \frac{ml_{sólidos\ húmedos}}{g_{sólidos\ secos}} \right) = \frac{v_w}{w_d} \quad (1.2)$$

- WHC (capacidad de almacenamiento de agua) y WRC (capacidad de retención de agua)

La capacidad de almacenamiento de agua (WHC) y la capacidad de retención de agua (WRC) son definidas como la cantidad de agua que permanece unida a la fibra, sin la aplicación de ninguna fuerza externa, salvo la gravedad en el caso de WHC, y luego de la aplicación de una fuerza externa tal como la presión o la centrifugación, en el caso de WRC. Ambas propiedades fueron determinadas como sigue (Robertson et al., 2000; Raghavendra et al, 2006; Cepeda y Collado, 2014): aproximadamente 1 g de fibra se colocó en un tubo cónico de centrifuga graduado. Luego se le agregaron 30 ml de agua destilada, se agitó manualmente y se dejó reposar durante 24 h a temperatura ambiente. A continuación, los procedimientos a y b fueron seguidos separadamente para determinar WHC y WRC respectivamente:

- a. En el caso de WHC, luego de cumplido el tiempo de reposo a temperatura ambiente, el sobrenadante fue eliminado, y la muestra fue drenada en un filtro de vidrio sinterizado G4 (pesado previamente). Luego de que el líquido se drenó, el residuo insoluble húmedo ( $l_w$ ) se pesó y se secó en estufa a 102 ° C durante toda la noche, se obtuvo entonces el peso del residuo seco ( $l_d$ ). WHC se calculó como:

$$WHC \left( \frac{g_{agua\ retenida}}{g_{sólidos\ secos}} \right) = \frac{I_w - I_d}{I_d} \quad (1.3)$$

- b. En el caso de WRC, luego de cumplidas las 24 h, el tubo fue centrifugado a 1500 x g (equivalentes a 300 rpm aproximadamente) durante 10 min en una centrifuga Presvac DCS-16-RV (Presvac SRL, Buenos Aires, Argentina). A continuación, Se eliminó el sobrenadante y la muestra fue drenada en un filtro de vidrio sinterizado G4 (previamente pesado). Luego de drenar el líquido se pesó el residuo insoluble húmedo ( $I_h$ ), y se lo secó en una estufa a 102 °C durante toda la noche, se determinó entonces el peso del residuo seco ( $I_s$ ). WRC se calculó como:

$$WRC \left( \frac{g_{agua\ retenida}}{g_{sólidos\ secos}} \right) = \frac{I_h - I_s}{I_s} \quad (1.4)$$

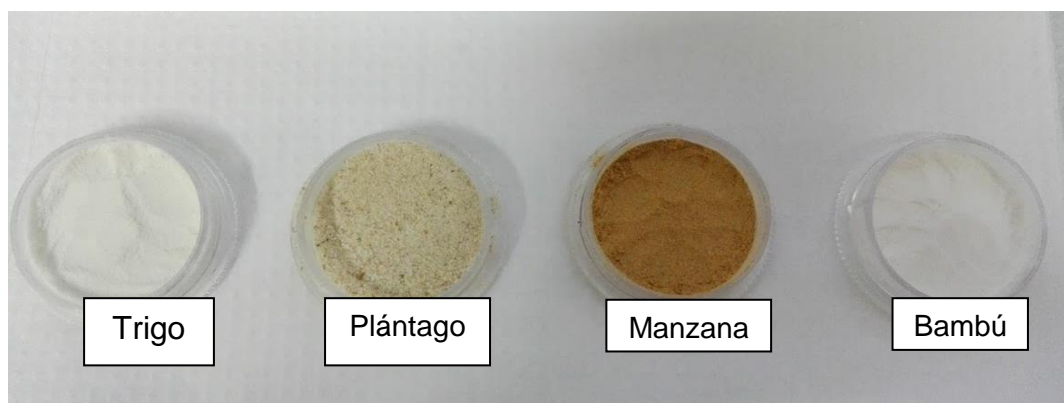
#### 2.2.4 Determinación cualitativa de la presencia de almidón (Test del Lugol)

Con el objetivo de determinar la presencia de almidón en la fibra de trigo, se realizó un test cualitativo basado en la identificación de la presencia de almidón por la aparición de una coloración azul al combinarse la muestra con unas gotas de Lugol (Murúa-Pagola et al., 2009; Martín-Sánchez et al., 2013). A tal fin se tomó una cucharada de fibra y se la colocó en un vaso de precipitados, se añadió agua destilada y se calentó hasta ebullición. Luego se dejó enfriar y se agregaron unas gotas del reactivo de Lugol y se observó la coloración tomada por la muestra. A continuación, se separó el sobrenadante del sedimento ya que se trata de una muestra con una fracción de insolubles alta (97.6%) y se determinó en ambas fracciones el color, utilizando un colorímetro como el descrito en la Sección 1.2.1. Se tuvo en cuenta solo el valor del parámetro  $b^*$ . Se compararon los resultados realizando el mismo procedimiento con una muestra de almidón de maíz (Maizena) y harina de trigo 000 (Favorita). Las mediciones se hicieron por duplicado.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Color

En la **Figura 1.6** se muestra una fotografía de las fibras dietarias secas. A continuación, se muestran los resultados de los parámetros de color obtenidos para las mismas (**Tabla 1.2**).



**Figura 1.6.** Fibras dietarias.

**Tabla 1.4.** Parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) de las fibras dietarias.

Fibra	Color		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
Manzana	$59.8 \pm 0.1$	$11.3 \pm 0.1$	$26.1 \pm 0.2$
Bambú	$91.5 \pm 0.1$	$-0.8 \pm 0.1$	$5.1 \pm 0.1$
Plántago	$69.5 \pm 0.1$	$3.8 \pm 0.1$	$13.5 \pm 0.6$
Trigo	$85.7 \pm 0.3$	$-0.3 \pm 0.1$	$6.3 \pm 0.1$

Como se puede observar, las fibras de bambú y trigo presentaron valores de  $L^*$  altos (cerca de 100, fibras más claras), mientras que las fibras de manzana y plántago presentaron valores de  $L^*$  más bajos (fibras más oscuras). En cuanto a los valores de  $a^*$  y  $b^*$  para las fibras de bambú y trigo se obtuvieron resultados similares en ambos

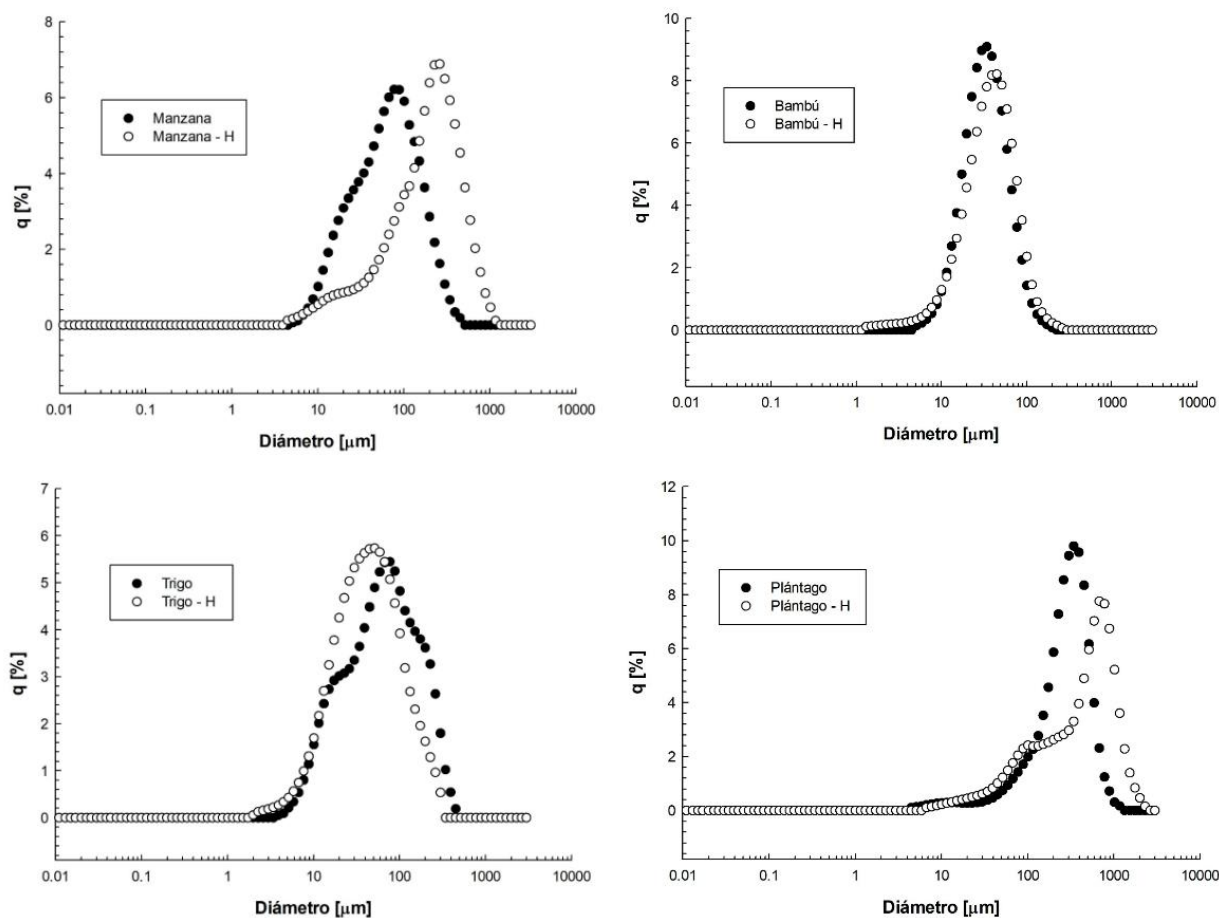
casos: valores de  $a^* < 0$  y  $b^* > 0$  (fibras con una coloración ligeramente verdosa - amarillenta), mientras para los casos de las fibras de manzana y plántago estas presentaron valores de  $a^* > 0$  y  $b^* < 0$  (fibras con una coloración rojiza-amarillenta).

Estos resultados sugieren que las fibras de manzana y plántago por su coloración provocarían los cambios más significativos en el color de la matriz alimentaria donde fueran agregadas.

### 3.2 Distribución de tamaño de partícula

En la **Figura 1.7** se puede observar la distribución de tamaños de partícula que se obtuvo para cada fibra, en seco y en húmedo (sufijo -H). Como se puede observar, todas las muestras presentaron una distribución monomodal y en algunos casos se observó un pequeño “hombro” en la curva (muestras Manzana, Manzana-H, Trigo, y Plántago-H). Las variaciones más notorias en la forma de la curva (entre la fibra seca y la hidratada) se observaron en el caso de las fibras de plántago y trigo, donde luego de hidratar las muestras dicho “hombro” apareció en el primer caso y desapareció en el segundo.

Es importante destacar que las poblaciones de fibra analizadas (en seco e hidratadas) son distintas, ya que la muestra seca incluyó la fibra dietaria total, mientras que la muestra hidratada corresponde solo a la fracción de fibra insoluble. Esto indica que cuando se hidrataron las muestras, fue la fracción insoluble de la fibra la que sufrió el hinchamiento.



**Figura 1.7.** Distribución de tamaños de partícula de las muestras secas e hidratadas.

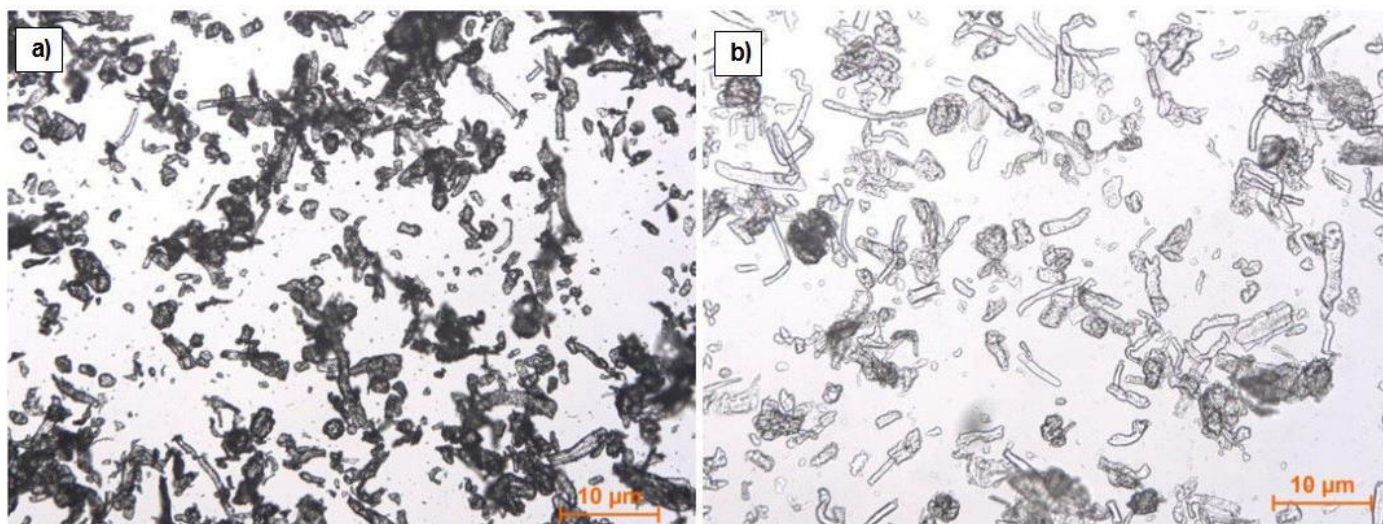
Los valores del diámetro medio ( $D_m$ ) y el Span, calculado con la Ec. (1.1), de las muestras secas e hidratadas son presentados en la **Tabla 1.3**. Como se puede observar entre las fibras secas, la de plántago fue la que claramente mostró un mayor tamaño, seguida por las fibras de trigo, manzana y bambú. Luego de hidratar las muestras se observó un aumento del tamaño medio de las partículas, manzana (+223%), bambú (+14%) y plántago (+70%) mientras que en el caso de la fibra de trigo se observó una disminución (-35%), resultando el siguiente orden de tamaños de las fibras hidratadas: plántago > manzana > trigo > bambú. Por otro lado, el Span (medida de la amplitud de la distribución de tamaños) no parece haber sido significativamente afectado por la

hidratación de la muestra. El incremento en el tamaño de partícula luego de la hidratación fue atribuido a la absorción y al hinchamiento de las fibras, como se discutirá luego. La disminución de  $D_m$  de la fibra de trigo fue atribuida a la dispersión de los agregados de partículas luego de la hidratación, lo que fue confirmado por el análisis de la microestructura de la fibra de trigo seca e hidratada. La **Figura 1.8a** muestra la presencia de numerosos agregados de partículas en la muestra seca, mientras que esas partículas parecen más dispersas en la muestra hidratada (**Figura 1.8b**).

**Tabla 1.5.** Tamaño medio ( $D_m$ ) de partícula y amplitud de la distribución de tamaños ( $Sp$ ) de las muestras analizadas.

Fibra	Seca		Hidratada	
	$D_m$ ( $\mu\text{m}$ )	$Sp$	$D_m$ ( $\mu\text{m}$ )	$Sp$
Manzana	69.5 $\pm$ 0.1	2.0	223.8 $\pm$ 3.7	2.3
Bambú	36.5 $\pm$ 0.5	1.7	41.5 $\pm$ 1.3	1.8
Plántago	287.6 $\pm$ 14.7	1.6	486.6 $\pm$ 16.8	2.1
Trigo	89.5 $\pm$ 1.1	3.1	57.9 $\pm$ 2.1	2.9





**Figura 1.8.** Micrografías de la fibra de trigo a) Seca y b) Hidratada.

### 3.3 Propiedades de hidratación

Con respecto a las propiedades de hidratación de las fibras (**Tabla 1.4**), el “swelling” (o hinchamiento), calculado mediante la Ec. (1.2), mide el potencial de aumento de volumen de la matriz insoluble de cada muestra, ya que esta propiedad es atribuida a los polisacáridos insolubles que componen la fibra dietaria, mientras que la capacidad de almacenamiento (WHC) y la capacidad de retención de agua (WRC), calculadas con las Ecs. (1.3) y (1.4) respectivamente, miden el agua que la matriz insoluble de la fibra almacena o retiene (luego de la centrifugación), respectivamente.

Se puede observar que las fibras de plántago y manzana son las que mostraron los valores más altos en las propiedades de hidratación (Sw, WHC y WRC), mientras que las fibras de bambú y trigo presentaron los valores más bajos. Estos resultados están de acuerdo en su mayoría con los cambios observados en el tamaño de partícula luego de la hidratación, aunque no directamente proporcional a los mismos. Con respecto al hinchamiento de la fibra de plántago, este podría ser el resultado del enredo de las cadenas de polisacáridos y el desarrollo de enlaces puente de hidrógeno inter e intramoleculares entre el polisacárido y el agua, lo que causaría que más y más agua

quede atrapada dentro de las cadenas de polisacáridos (Rao et al., 2011). El bajo hinchamiento de la fibra de trigo también puede ser observado por comparación de las partículas individuales en la **Figura 1.8 (a y b)**. Además esta fibra fue la única que mostró una disminución en el Span, sugiriendo que el rompimiento de los agregados redujo la amplitud de la distribución de tamaños.

Finalmente cabe señalar que los valores de las propiedades de hidratación obtenidos en este trabajo no concuerdan con los obtenidos por otros autores (Rosell et al., 2009; Saeedi et al., 2010; Cepeda y Collado, 2014). Según lo mencionado por Thilbault (1992) el hinchamiento (swelling) puede variar según algunos factores como la cantidad de material analizado, la densidad y la porosidad del mismo, mientras que la capacidad de retención de agua (WRC) puede ser influenciada por la velocidad de centrifugación (McConnell et al., 1974). Otro de los factores que puede afectar a las propiedades de hidratación son las diferencias en la estructura química y/o física de las fibras utilizadas (Robertson y Eastwood, 1981).

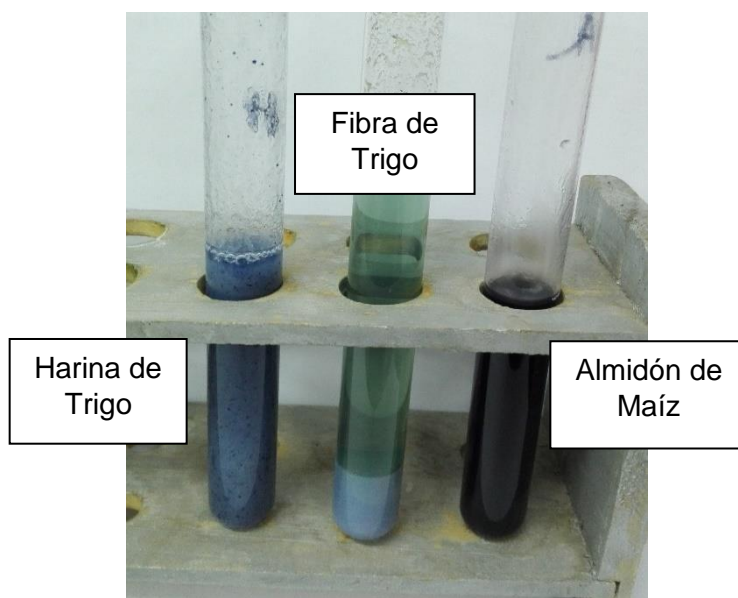
**Tabla 1.6.** Propiedades de hidratación de las fibras dietarias.

<b>Fibra</b>	<b>Swelling (ml /g)</b>	<b>WHC (g /g)</b>	<b>WRC (g/g)</b>
M	14.8 ± 0.6 <sup>a</sup>	9.2 ± 0.2 <sup>b</sup>	6.9 ± 0.9 <sup>c</sup>
B	11.2 ± 1.7 <sup>a</sup>	4.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	3.4 ± 0.1 <sup>a</sup>
T	10.2 ± 0.9 <sup>a</sup>	4.9 ± 0.5 <sup>a</sup>	4.9 ± 0.4 <sup>b</sup>
P	37.3 ± 3.5 <sup>b</sup>	30.7 ± 1.1 <sup>c</sup>	28.6 ± 1.2 <sup>d</sup>

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### 3.4 Presencia de almidón

El test de Lugol dio positivo para la presencia de almidón en la fibra de trigo, ya que la dispersión con esta fibra tomó una coloración azulada luego de la adición de unas gotas de la solución de yodo. En el sedimento la tonalidad azul fue más evidente que en el sobrenadante (**Figura 1.9**), aunque las mediciones de color dieron valores de  $b < 0$  en ambos casos (no mostrado), confirmando la coloración azul y por lo tanto la presencia de almidón en la fibra de trigo. El test de Lugol sobre las muestras de harina de trigo y almidón de maíz también dio positivo como era de esperarse, con una coloración azul más intensa (bajos valores de  $b$ , no mostrados) debido a su alto contenido de almidón (**Figura 1.9**).



**Figura 1.9.** Muestras de harina, fibra y almidón luego de agregar las gotas del reactivo de Lugol.

## 4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Como se pudo observar en ese capítulo, se encontraron diferencias entre las propiedades físicas de las fibras analizadas, y estas diferencias fueron atribuidas a la microestructura y a la composición química de las mismas (**Tabla 1.2**). Se espera que

su efecto al adicionarlas a los geles y posteriormente a las jaleas varíe también en función de dichas propiedades.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Abdul-Hamid, A., y Luan, Y. S. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chem*, 68(1),15-19.
- Alonso Peña, J. R. (2011). *Manual de histología vegetal*. Madrid. España: Mundi - Prensa.
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis Jr, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., y Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67(4),188-205.
- Bouaziz, F., Koubaa, M., Neifar, M., Zouari-Ellouzi, S., Besbes, S., Chaari, F., Kamoum, A., Chaabouni, M., Chaabouni S. E., y Ghorbel, R. E. (2016). Feasibility of using almond gum as coating agent to improve the quality of fried potato chips: Evaluation of sensorial properties. *LWT - Food Science and Technology*, 65,800-807.
- Brennan, C. S., y Tudorica, C. M. (2007). Fresh pasta quality as affected by enrichment of nonstarch polysaccharides. *J Food Sci*, 72(9),659-665.
- Brownlee, I. A. (2011). The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids*, 25(2),238-250.
- Buttriss, J. L, y Stokes, C. S. (2008). Dietary fibre and health: An overview. *British Nutrition Foundation*, 33,186-200.
- Cappa, C., Lavelli, V., y Mariotti, M. (2015). Fruit candies enriched with grape skin powders: physicochemical properties. *Food Science and Technology*, 62,569-575.
- Cepeda, E., y Collado, I. (2014). Rheology of tomato and wheat dietary fibers in water and in suspensions of pimento purée. *Journal of Food Engineering*, 134,67-73.

- Chau, C.F., Wen, Y.L., y Wang, Y.T. (2006). Improvement of the functionality of a potential fruit insoluble fibre by micron technology. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(9),1054-1060.
- Choo, C. L., y Aziz, N. A. A. (2010). Effects of banana flour and beta-glucan on the nutritional and sensory evaluation of noodles. *Food Chem*, 119(1),34-40.
- Código Alimentario Argentino. (2017). Capítulo XVII: Alimentos de régimen o dietéticos. Buenos Aires, Argentina: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Disponible en: [http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO\\_XVII.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XVII.pdf)
- Cui, S. W., y Roberts, K. T. (2009). Dietary fiber: Fulfilling the promise of added- value formulations. In Kasapis S., Norton I. T. & Ubbink J. B. (Eds.), *Modern biopolymer science: Bridging the divide beetwen fundamental treatise and industrial applications* (pp. 399-448). Amsterdam: Academic Press.
- Cummings, J. H. (2001). The Effect of Dietary Fiber on Fecal Weight and Composition. In G. Spiller (Ed.), *CRC Handbook of Dietary fiber in human nutrition* (pp. 183-252). Boca Raton: CRC Press.
- De Escalada Pla, M. F., Ponce, N. M., Stortz, C. A., Gerschenson, L. N. y Rojas, A. M. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret). *LWT - Food Science and Technology*, 40(4),1176-1185.
- De Escalada Pla, M. F., Uribe, M., Fissore, E. N., Gerschenson, L. N., & Rojas, A. M. (2010). Influence of the isolation procedure on the characteristics of fiber-rich products obtained from quince wastes. *Journal of Food Engineering*, 96(2),239–248
- De Escalada Pla, M. F., González, P., Sette, P., Portillo, F., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2012). Effect of processing on physico-chemical characteristics of dietary

- fibre concentrates obtained from peach (*Prunus persica* L.) peel and pulp. *Food Research International*, 49(1),184–192.
- Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M., y Bevilacqua, A. (2004). Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, 14(3),263-268.
- Dello Staffolo, M., Sato, A. C. K. y Cunha E. L. (2017). Utilization of plant dietary fibers to reinforced low-calorie dairy dessert structure. *Food Bioprocess Technol*, 10, 914-925.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., y Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *J Food Sci Technol*, 49(3),255-266.
- Dikeman, C. L., y Fahey, G. C. (2006). Viscosity as related to dietary fiber: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 46(8),649-663.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., y Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem*, 124(2),411-421.
- Escudero, E., y Gonzáles, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61-72.
- Farahnaky, A., Askari, H., Majzoobi, M., & Mesbahi, G. (2010). The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. *Journal of Food Engineering*, 100(2),294-301.
- Fischer, M. H., Yu, N., Gray, G. R., Ralph, J., Anderson, L., y Marlett, J. A. (2004). The gel-forming polysaccharide of psyllium husk (*Plantago ovata* Forsk). *Carbohydr Res*, 339(11),2009-2017.
- Fleury, N., y Lahaye, M. (1991). Chemical and physico-chemical characterisation of fibres from *Laminaria digitata* (kombu breton): A physiological approach. *J Sci Food Agric*, 55(3),389-400.

- Galanakis, C. M., Tornberg, E., y Gekas, V. (2010). Dietary fiber suspensions from olive mill wastewater as potential fat replacements in meatballs. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7),1018-1025.
- Gray, J. (2006). Fibra dietética: Definición, análisis, fisiología y salud. (pp. 1-31). Bélgica: International Life Science Institute. ILSI Europe.
- Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1999). Influence of fruit dietary fibre addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. *Journal of Food Engineering* 41,13-21.
- Grigelmo-Miguel, N., y Martin- Belloso, O. (2000). The quality of peach jams stabilized with peach dietary fiber. *European Food Research and Technology*, 211,336-341.
- Guillon, F., y Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33(3-4),233-245.
- Ham, Y.K., Hwang, K.E., Kim, H.W., Song, D.H., Kim, Y.J., Choi, Y.S., y Kim, C.J. (2016). Effects of fat replacement with a mixture of collagen and dietary fibre on small calibre fermented sausages. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1),96-104.
- Henning, S. S. C., Tshalibe, P., y Hoffman, L. C. (2016). Physico-chemical properties of reduced-fat beef species sausage with pork back fat replaced by pineapple dietary fibres and water. *LWT - Food Science and Technology*, 74,92-98.
- Igual, M., Contreras, C., y Martínez-Navarrete, N. (2014). Colour and rheological properties of non-conventional grapefruit jams: Instrumental and sensory measurement. *Food Science and Technology*, 56,200-206.
- Jinapong, N., Suphantharika, M., y Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2),194-205.

- Kaczmarczyk, M. M., Miller, M. J., y Freund, G. G. (2012). The health benefits of dietary fiber: beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism*, 61(8),1058-1066.
- Li, Y. O., y Komarek, A. R. (2017). Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. *Food Quality and Safety*, 1(1),47-59.
- Martín-Sánchez, M., Martín-Sánchez, M. T., y Pinto G. (2013). Reactivo de Lugol: Historia de su descubrimiento y aplicaciones didácticas. *Educación Química*, 24(1),31.36.
- Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., Martín-Cabrejas, M. A., y del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chem*, 216,114-122.
- Mateu de Antonio, X. (2004). La fibra en la alimentacion. *Farmacia Hospitalaria* (pp. 1-27). Barcelona: Sociedad Española de nutrición clínica y metabolismo.
- Matos-Chamorro, A., y Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de investigación en Ciencia y Tecnología de alimentos*, 1(1),4-17.
- McCarty, M. F. (2005). Nutraceutical resources for diabetes prevention--An update. *Med Hypotheses*, 64(1),151-158.
- McConnell A. A., Eastwood M. A., y Mitchell W. D. (1974). Physical characteristics of vegetable foodstuffs that could influence bowel function. *J Sci Food Agric*, 25,1457-1464.
- Molina Montes, M. E., y Martin Islan, A. P. (2007). La fibra dietética procesada como alimento funcional. (Vol. 26, pp. 70-77). Andalucía- Granada: Ámbito Farmacéutico Nutrición.
- Mudgil, D., y Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. *Int J Biol Macromol*, 61,1-6.



- Murúa-Pagola, B., Beristain-Guevara, C. I., y Martínez-Bustos, F. (2009). Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 91(3),380-386.
- Nieto Calvache, J. E., Fissore, E. N., Latorre, M. E., Soria, M., De Escalada Pla, M. F., y Gerschenson, L. N. (2015). Obtention of dietary fibre enriched fractions from peach bagasse using ethanol pre-treatment and microwave drying. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1169–1176
- Pacheco de Delahaye, E., Jiménez, P., y Pérez, E. (2005). Effect of enrichment with high content dietary fiber stabilized rice bran flour on chemical and functional properties of storage frozen pizzas. *Journal of Food Engineering*, 68(1),1-7.
- Raghavendra, S. N., Ramachandra Swamy, S. R., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., Kumar, S., y Tharanathan, R. N. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 72(3),281-286.
- Rao M. R. P., Khambete M. P., y N., L. H. (2011). Study of Rheological properties of Psyllium polysaccharide and its evaluation as suspending agent. *International Journal of PharmTech Research*, 3(2),1191-1197.
- Redgwell, R. J., y Fischer, M. (2005). Dietary fiber as a versatile food component: an industrial perspective. *Mol Nutr Food Res*, 49(6),521-535.
- Robertson J. A., y Eastwood M. A. (1981). An investigation of the experimental conditions which could affect water-holding capacity of dietary fibre. *J Sci Food Agric*, 32(8),819-825.
- Robertson, J. A., de Monredon, F. D., Dysseleer, P., Guillon, F., Amado, R., y Thibault, J.F. (2000). Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: a European Collaborative Study. *LWT - Food Science and Technology*, 33(2),72-79.

- Rodríguez R., Jiménez A., Fernández-Bolaños J., Guillén R., y Heredia A. (2006). Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 17(1),3-15.
- Rosell, C. M., Santos, E., y Collar, C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*, 42(1),176-184.
- Rubel I.A., Pérez E.E., Manrique G.D. and Genovese D.B. (2015). Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality. *Food Structure*, 3: 21-29.
- Saeedi M., Morteza-Semnani K., Ansorroudi F., Fallah S., y Amin G. (2010). Evaluation of binding properties of Plantago psyllium seed mucilage. *Acta Pharm.*, 60(3),339-348.
- Sanz, T., Salvador, A., Jiménez, A., y Fiszman, S. M. (2008). Yogurt enrichment with functional asparagus fibre. Effect of fibre extraction method on rheological properties, colour, and sensory acceptance. *European Food Research and Technology*, 227(5),1515-1521.
- Singh, R., Singh, G., y Chauhan, G. S. (1996). Effect of incorporation of defatted soy flour on the quality of biscuits. *J Food Sci Technol*, 33(4),355-357.
- Slavin, J. (2013). Health aspects of dietary fibre. In *Fibre-Rich and Wholegrain Foods: Improving Quality* (pp. 61-75). Elsevier Ltd.
- Slavin, J. L. (2005). Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21(3),411-418.
- Spiller, G. (2001). *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human*. Boca Raton: CRC Press.
- Spiller, G. A., y Spiller, M. (2001). Correlations of Transit Time to a Critical Fecal Weight (CFW) and to Substances Associated with Dietary Fiber In G. Spiller (Ed.), *CRC Handbook of Dietary fiber in human nutrition* (pp. 253-256). Boca Raton: CRC Press.

- Talukder, S. (2015). Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 55(7),1005-1011.
- Teixeira Macagnan, F., Picolli da Silva, L., y Hecktheuer, L. H. (2016). Dietary fibre: The scientific search for an ideal definition and methodology of analysis, and its physiological importance as a carrier of bioactive compounds. *Food Res Int*, 85,144-154.
- Theuwissen, E., y Mensink, R. P. (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiol Behav*, 94(2),285-292.
- Thibault J.F., Lahaye M., y Guillon F. (1992). Physico-chemical properties of food plant cell walls. In Schweizer T.F. & Edwards C.A. (Eds.), *Dietary fibre – A component of food – Nutritional function in health and disease* (pp. 21-39). London, UK: Springer-Verlag.
- Vera G. A. (2013). La fibra dietética (pp. 1-2). Argentina.
- Yang, Y.Y., Ma, S., Wang, X.X., y Zheng, X.I. (2017). Modification and Application of Dietary Fiber in Foods. *Journal of Chemistry*, 2017, 1-8.
- Yu L., Lutterodt H., y Cheng Z. (2008). Beneficial Health Properties of Psyllium and Approaches to Improve Its Functionalities. In Taylor S. (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 55, pp. 193-220). Amsterdam: Elsevier/ Academic Press.

# **CAPÍTULO 2**

*Geles de pectina  
enriquecidos con fibra  
dietaria*

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 Geles alimenticios

Existen numerosas definiciones acerca de qué es un gel, basadas en criterios fenomenológicos y/o moleculares. Flory (1953) describe al gel como un conjunto de moléculas del polímero unidas para formar un arreglo tridimensional inmersas en un medio líquido. Hermans (1949) lo define como un sistema de dos componentes formado por un sólido finamente disperso o disuelto en una fase líquida, que exhibe un comportamiento como sólido cuando se le aplica una deformación; ambos componentes se extienden a lo largo de todo el sistema y las dos fases están interconectadas. A nivel molecular, la gelificación es la formación de una red continua de moléculas del polímero que involucra la formación de enlaces cruzados, a diferencia del proceso de fusión donde estos enlaces se destruyen (Lopes da Silva y Rao, 2007).

Los geles tienen un rol esencial en un amplio rango de productos alimenticios, los ejemplos incluyen mermeladas, jaleas, productos de confitería, postres, lácteos y otros productos a base de frutas y verduras (Banerjee y Brattacharya, 2012). En la preparación de alimentos procesados la gelificación/solidificación son procesos utilizados para darle al alimento atributos sensoriales únicos y para mejorar la estabilidad de estos (Brejnholt, 2009). Dos grupos importantes de biopolímeros son utilizados para formar una estructura como estos sistemas tipo geles (Harris, 1990):

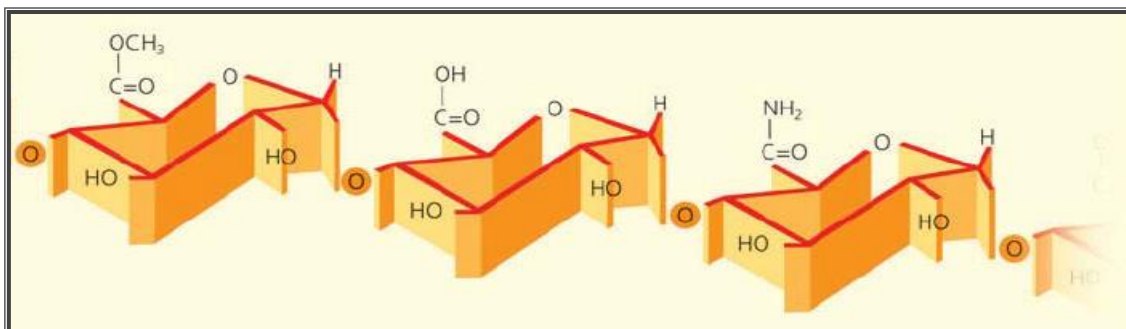
- ❖ **Polisacáridos:** generalmente forman geles transparentes a bajas concentraciones del polímero. Dependiendo del polímero utilizado, los geles se pueden formar por calentamiento/enfriamiento, ajuste de pH o adición de iones. Dentro de este grupo se encuentra la pectina, que es el agente gelificante elegido para la realización de este trabajo, cuyas propiedades serán descriptas más adelante.

- ❖ Proteínas: generalmente forman geles particulados opacos a altas concentraciones (5-10%), usualmente mediante calentamiento (desnaturalización), alteración de pH o interacciones enzimáticas.

Básicamente el proceso de gelificación consiste en la interacción de dos o más moléculas del polímero y en base a esto existen diferentes tipos, dependiendo de sus características estructurales, entre los que se encuentran los hidrogeles, los organogeles, los xerogeles, los aerogeles, etc. (Banerjee y Brattacharya, 2012).

## 1.2 Pectina

La pectina es un componente natural de todas las plantas terrestres donde, junto con la celulosa, desempeña un papel clave en la estructura de la pared celular (Voragen et al., 2009). Comprende un grupo de polisacáridos ricos en unidades de ácido galacturónico (**Figura 2.1**) y en menor medida varios azúcares neutros (Abid et al., 2017). La pectina extraída de las plantas se ha utilizado como agente gelificante en los alimentos durante muchos años. Fue descubierta por primera vez en la producción de jugo de manzana por Vauquelin (1790), aunque el uso de pectina como agente gelificante como tal data de la década de 1820 cuando el francés Henri Braconnot preparó una gelatina sintética con pectina extraída con álcali (Braconnot, 1825a, b) y para nombrarla tomó el término griego “pektikos” que significa congelar o solidificar. Sin embargo, la primera producción comercial registrada de extracto de pectina fue en Alemania en 1908 (Ciriminna et al., 2015; Abid et al., 2017), después de lo cual el proceso se extendió a los Estados Unidos, donde Robert Douglas obtuvo una patente en 1913. Históricamente, el orujo de manzana fue la principal fuente de pectina, pero en los últimos años, ha tenido lugar el uso creciente de la piel de cítricos y como fuente adicional pero mucho menos importante es la pulpa de remolacha azucarera (Chan et al., 2017). En los últimos años, han surgido nuevas oportunidades de aplicación y la pectina ya no es solo un agente gelificante, sino que también se usa como estabilizante y espesante (Brejnholt, 2009).

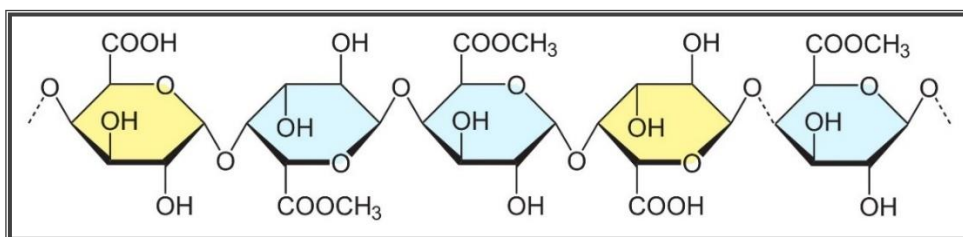


**Figura 2.1.** Estructura de la cadena de pectina (Anónimo, 2018b).

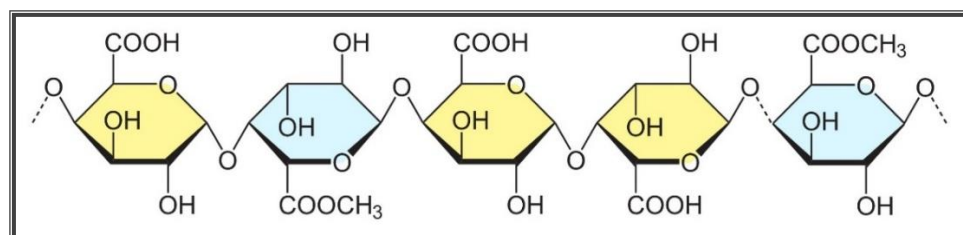
Según la directiva de la Unión Europea de 1998, el Codex (5ª edición) publicado en 2003 y el documento de la FAO de 2001, se requiere que al menos el 65% de la sustancia péctica debe ser ácido galacturónico para que el material pueda clasificarse como pectina comercial (Brejnholt, 2009). Las unidades de ácido galacturónico pueden o no estar esterificadas con un grupo metilo (**Figura 2.1**). Este es el principal parámetro que afecta la gelificación, influenciando la tensión superficial y la formación de emulsiones (Müller-Maatsch et al., 2014). Dependiendo del grado de esterificación (DE) del metilo, la pectina se divide en dos grupos que comprenden pectina con alto contenido de éster metilo o de alto metoxilo (*High Methoxyl*, HM) y pectina baja en éster metílico o de bajo metoxilo (*Low Methoxyl*, LW) y dependiendo del grupo de pectina del que se trate son las condiciones en las cuales gelifican, a saber (Brejnholt, 2009):

- Pectina de alto metoxilo (HMP), donde el DE es mayor al 50%. Estas pectinas tienen la capacidad de formar geles en un medio ácido y con un alto contenido de azúcar (**Figura 2.2a**).
- Pectina de bajo metoxilo (LMP), donde el DE es menor al 50% y el mecanismo de gelificación es totalmente distinto, ya que esta pectina para formar geles necesita iones calcio, menos azúcar y un medio no tan ácido (**Figura 2.2b**).

a)



b)



**Figura 2.2.** Representación de la estructura química de la pectina, a) Alto metoxilo y b) Bajo metoxilo (Anónimo, 2018a).

En el presente trabajo solo se utilizaron pectinas de alto metoxilo (HM), por lo tanto de aquí en adelante nos referiremos a estas únicamente, a menos que se diga lo contrario.

### 1.3 Mecanismo de gelificación

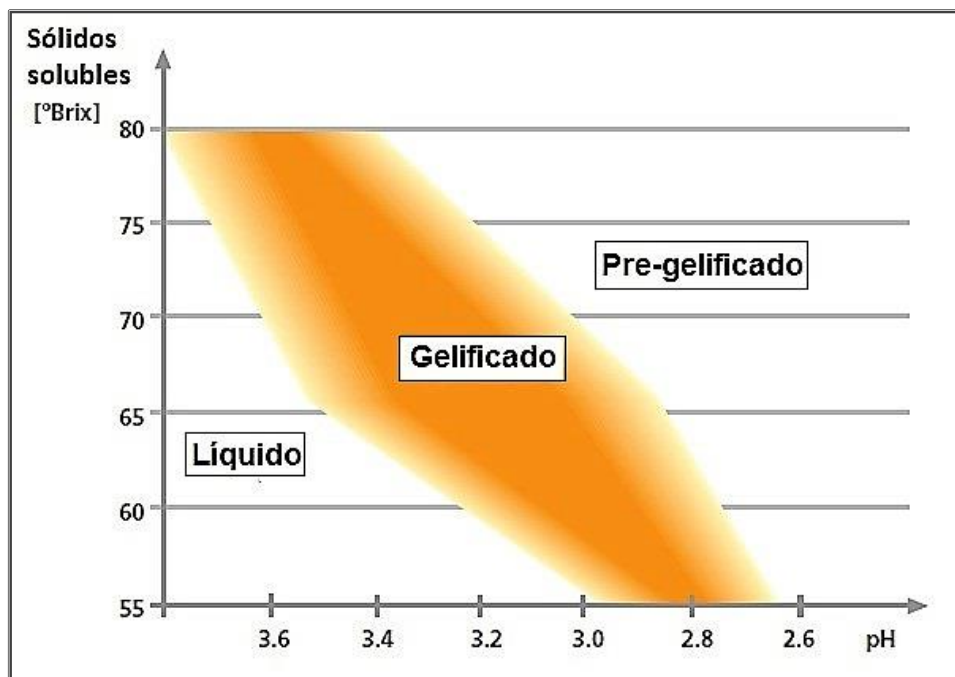
La gelificación es la formación de una red tridimensional (3D) de cadenas del polímero con solventes y solutos atrapados (Nan-Nguyen et al., 2011; Loh et al., 2013). La principal propiedad fisicoquímica de la pectina es su capacidad para gelificar, y las condiciones requeridas para la gelificación y las propiedades del gel dependen en última instancia de la estructura molecular, las fuerzas intermoleculares que mantienen unida la red y la naturaleza de las zonas de unión en las que las moléculas del polímero están entrecruzadas (Axelos y Thibault, 1991). Las zonas de unión en los geles de polisacáridos son complejas y las estructuras moleculares se mantienen unidas por un gran número de interacciones individualmente débiles, como las interacciones



electrostáticas y los enlaces de hidrógeno. HMP y LMP tienen diferentes mecanismos de gelificación, aunque las características del gel se rigen por las mismas propiedades macromoleculares, como la composición, el tamaño y la conformación del polímero (Axelos y Thibault, 1991).

Las pectinas de alto metoxilo requieren de dos factores importantes para iniciar la formación del gel, el contenido de azúcar y el pH (**Figura 2.3**):

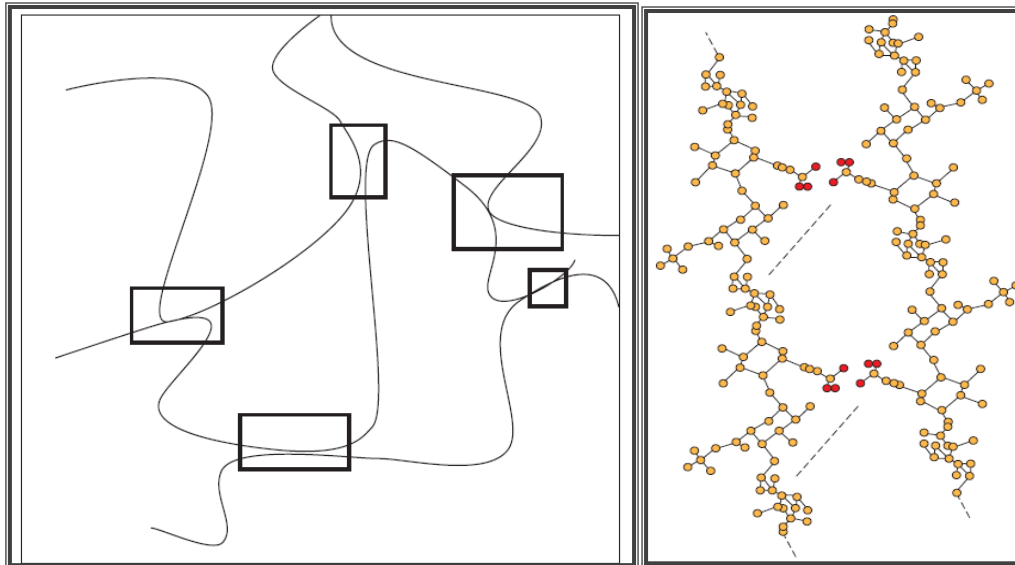
- La adición de sacarosa u otros azúcares tiene un efecto deshidratante sobre las moléculas de pectina, lo que facilita el acercamiento de las cadenas poliméricas y permite un enlace cruzado de los puentes de hidrógeno (Thibault y Ralet, 2003; Anónimo, 2018b).
- Una disminución del pH en el medio suprime la disociación de grupos carboxilo libres y reduce así la repulsión electrostática entre las cadenas (Thakur et al., 1997; Anónimo, 2018b).



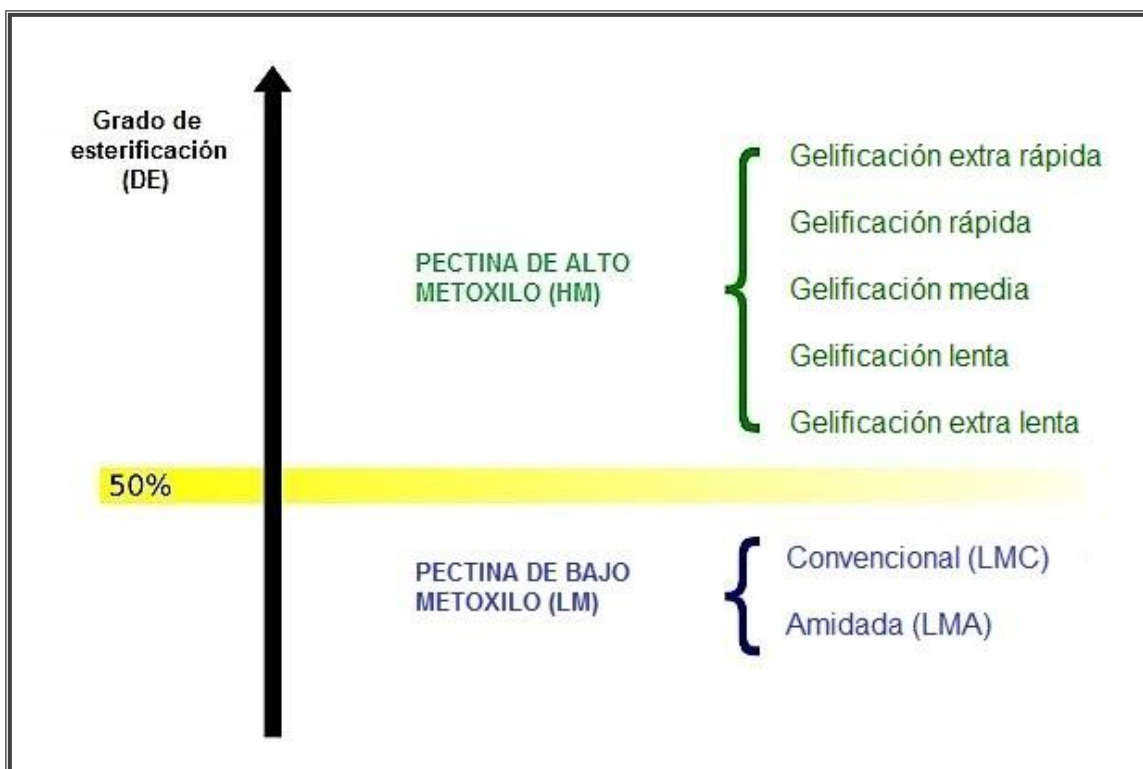
**Figura 2.3.** Rango de ajuste de pectinas altamente esterificadas (Anónimo, 2018b).

La pectina HM requiere para gelificar un pH bajo, como se mencionó anteriormente y una baja actividad de agua. Generalmente, el pH debe estar entre 2.5 y 3.8 y el contenido de sólidos solubles debe estar entre 55 y 85 g / 100 g. Estos requerimientos se explicarían como sigue: un alto contenido de sólidos solubles indica una baja actividad de agua la que promueve mejor la interacción pectina-pectina y no la interacción pectina-solvente, mientras que un bajo valor de pH reduce la disociación de grupos carboxilos disminuyendo a su vez la repulsión electrostática (Chan et al., 2017). Se cree que el mecanismo de gelificación se basa en el enlace de hidrógeno entre grupos carboxilo no disociados y grupos secundarios de alcohol junto con interacciones hidrofóbicas entre los grupos éster de metilo (Oakenfull y Scott, 1984; Visser y Voragen, 1996; Chan et al., 2017). En consecuencia, un incremento en el grado de esterificación y un bajo pH mejoran la capacidad de la pectina de formar geles. Las interacciones entre cadenas de pectina crean espacios denominados “zonas de unión” que forman las bases de la red tridimensional que representa al gel de pectina (Thakur et al., 1997; Brejnholt, 2009; Anónimo, 2018b) como se puede ver en las **Figuras 2.4 a y b**.

Debido a la importancia del grado de esterificación para la gelificación de la pectina HM, se han establecido distintas variedades de pectina HM comercial, basadas en el tiempo de gelificación y la temperatura. Los subgrupos incluyen pectinas de rápida, media y lenta gelificación (como los más conocidos comercialmente), con un grado de esterificación que varía de 74 a 77 % para pectinas de rápida gelificación y de 58 a 60% para pectinas de lenta gelificación, aunque según el fabricante pueden existir otros subgrupos (**Figura 2.5**).



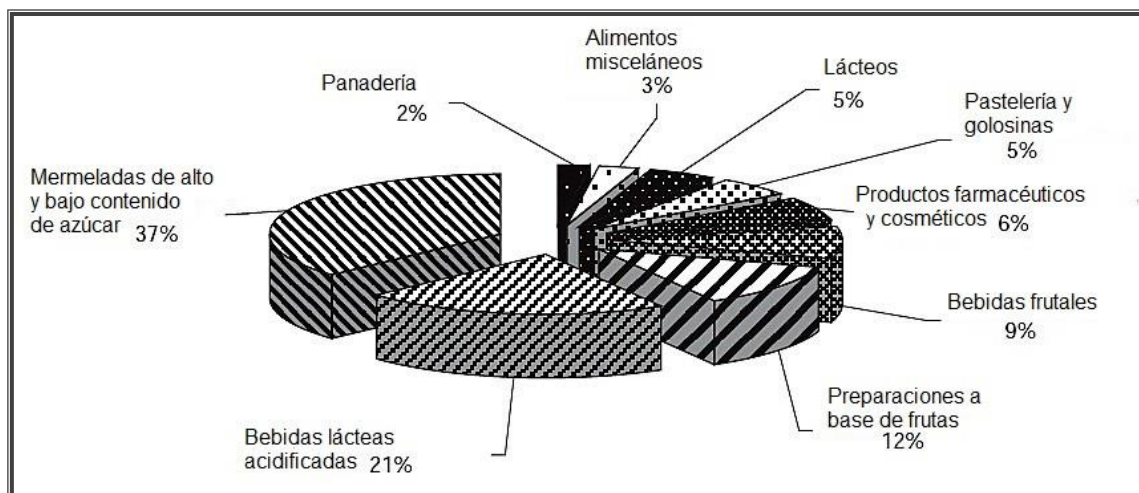
**Figura 2.4.** a) Red formada por las cadenas de pectina. b) Estructura de las zonas de conexión de las pectinas de HM (Anónimo, 2018b).



**Figura 2.5.** Clasificación comercial de la pectina (Anónimo, 2018a)

#### 1.4 Aplicaciones de la pectina

La aplicación tradicional de la pectina es como agente gelificante en mermeladas y jaleas. Sin embargo, en los últimos años, han surgido nuevas oportunidades. Las aplicaciones de pectina son variadas y abundantes y comprenden una variedad de productos a base de frutas, productos lácteos, productos de confitería (Basu y Shivhare, 2010), diferentes bebidas, incluyendo leche fermentada y acidificada y bebidas de soja (Nakamura et al., 2006; Zuleta et al., 2007), productos de panadería, alimentos finos y diversos productos para untar. Además, la pectina encuentra cada vez más uso en la industria farmacéutica y cosmética (Brejnholt, 2009; Lupi et al., 2014; Günter y Popeyco, 2016). La **Figura 2.6** muestra una imagen aproximada del mercado mundial de las aplicaciones de la pectina en 2005. La panadería incluye pan, pasteles y diversas mezclas preparadas; los alimentos misceláneos incluyen mayonesa, salsas, productos para untar bajos en grasa, preparados de carne, alimentos preparados y postres a base de agua; los lácteos incluyen yogures y postres; y los productos de confitería incluyen jaleas de azúcar y gomas a base de vino. El cuidado farmacéutico y personal abarca todas las aplicaciones en productos farmacéuticos y productos de cuidado personal. Las bebidas de frutas incluyen jugos, bebidas carbonatadas, bebidas no lácteas, licores y bebidas lácteas neutras. Los preparados de frutas comprenden principalmente aplicaciones en yogur de frutas. Las bebidas lácteas acidificadas cubren la leche y las bebidas de soja. El último grupo, alto en azúcar, bajo en azúcar y mermeladas para hornear, incluye la aplicación tradicional en mermeladas y jaleas.



**Figura 2.6.** Mercado mundial estimado de las aplicaciones de pectina 2005 (Brejnholt, 2009).

### 1.5 Comportamiento reológico de los geles de pectina

La pectina se caracteriza por ser un emulsionante, agente gelificante, agente de glaseado, estabilizador, y/o espesante en aplicaciones comerciales (Codex Alimentarius, 2005). Todos estos términos son subconjuntos del término “modificador reológico” ya que la pectina puede espesar muchas matrices de alimentos, como así también puede disminuir la viscosidad de un sistema (Rojas et al., 1999; Shi y BeMiller, 2002; Chan et al., 2017). Los estudios reológicos acerca de geles de pectina pueden proveer información útil acerca de las transiciones sol-gel y gel-sol, así como también acerca de las características del gel (Kastner et al., 2012 y 2014; Chan et al., 2017).

Las propiedades reológicas de geles alimenticios y en particular de los geles de pectina son de gran importancia, ya que la funcionalidad de un material está fuertemente ligada a su comportamiento mecánico y viscoso. Esto incluye el comportamiento del alimento durante el procesamiento y las propiedades de textura y sensoriales durante la masticación (van Vliet y Walstra, 1995). Las propiedades mecánicas de estos geles alimenticios se pueden determinar mediante estudios a grandes o pequeñas deformaciones, lo que implica deformar la muestra y medir la respuesta correspondiente

(Brejnholt, 2009). Las mediciones a pequeñas deformaciones pueden proveer información vital acerca de las propiedades físicas de estos geles, aunque tienen una capacidad limitada para describir las propiedades funcionales de los geles alimenticios a grandes deformaciones, incluyendo el comportamiento del material durante la masticación (Dille et al., 2015).

Como se mencionó anteriormente la formación del gel es básicamente la transformación del estado solución (sol) al estado gel (sólido); durante este proceso la viscoelasticidad cambia de manera abrupta con un simultáneo desarrollo de las características sólidas. Por esa razón, existe la necesidad de medir las características viscoelásticas del material para lo cual existen diferentes métodos experimentales, como se muestran en la **Figura 2.7**. Además de esto, en la **Figura 2.8** se detallan métodos no reológicos útiles para determinar y medir las características de un gel.

NATURALEZA DEL TEST	TIPO DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO	PARÁMETROS MEDIDOS	EJEMPLO DE APLICACIÓN	REFERENCIAS
Fundamentales	Compresión	Texturómetro	Módulo de elasticidad, Relación de Poisson	Surimi gel	Kim et al. (2006); Macdonald and Hamman (1992); Walstra(2003)
	Relajación de esfuerzo	Reómetro de esfuerzo controlado	Esfuerzo residual, tiempo de relajación	Goma Gellan	Morris (1986)
	Fluencia (Creep)	Reómetro de esfuerzo controlado	Módulo de corte, Fluencia, Capacitancia (Compliance)	Geles de gelatina y soja	Kamata and Kinsella (1989); Chronakis et al. (1995)
	Oscilación	Reómetro de esfuerzo controlado	Módulos de almacenamiento(G') y pérdida (G''), ángulo de fase, módulo complejo y viscosidad compleja	Caracterización de propiedades viscoelásticas de geles de arroz, de soja y mixtos.	Jena and Bhattacharya (2003); Kim et al. (2006) Bhattacharya and Jena (2007); Keogh et al. (1995)
Empíricos	Fuerza de punción	Texturómetro	Características de punción	Caracterización de geles de arroz	Jena and Bhattacharya (2003); Kim et al. (2006)
	Compresión	Texturómetro	Fuerza pico, firmeza, energía de compresión	Medición de calidad y fuerza del gel	Kim et al. (2006); Smewing (1999)
Imitativos	Análisis del perfil de textura (TPA)	Texturómetro	Parámetros del perfil de textura: dureza, fragilidad, adhesividad, elasticidad y cohesividad	Geles alimenticios	Pons and Fiszman (1996)

**Figura 2.7.** Métodos reológicos para caracterizar geles (Banerjee y Bhattacharya, 2012).

TIPO DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO/ MÉTODO	PARÁMETROS MEDIDOS	EJEMPLO DE APLICACIÓN	REFERENCIAS
Caracterización estructural	Calorímetro diferencial de barrido	Flujo de calor	Películas mixtas de alcohol polivinílico y goma Gellan.	Sudhamani et al., (2003)
	Difracción de rayos X y SAXS	Análisis de tamaño de nano partículas	Sistemas de nano-reparto en alimentos	Luykx et al., (2008)
	Colorímetro	Mediciones de color	Películas comestibles de goma gellan	Leon et al., (2008)
Caracterización microscópica	Microscopía óptica	Caracterización de la microestructura	Geles de almidón de tapioca	Vittadini et al., (2006)
	Microscopía electrónica de barrido	Arreglo estructural de componentes	Número, área y localización de partículas en el gel	Moritaka et al., (2003)
	Microscopía electrónica de transmisión	Distribución estructural de los constituyentes	Estudios característicos de geles mixtos	Aguilera and Stanley (1999)
	Microscopía de fuerza atómica	Estructura de la molécula	Características estructurales de nanopartículas	Luykx et al., (2008)
Caracterización Molecular	NMR	Cambios de conformación durante la gelificación	Características estructurales de los constituyentes	Saito (1995)
	FTIR	Estructura molecular	Espectro infrarrojo de los componentes	Sudhamani et al., (2003)
	FT-RAMAN; Resonancia en el infrarrojo cercano	Caracterización molecular	Características funcionales de la pectina	Wilats et al., (2006)
Análisis aproximados	Estufa de vacío	Humedad	Estimación de la humedad	Leon et al., (2008)
	Espectroscopía de absorción electrónica	Contenido mineral	Sistema modelo a base de un aislado de proteína de suero y quitosano	Laplante et al., (2006)
	Método Kjeldhal	Proteína	Gel de proteína de suero y almidón de yuca	Aguilera and Stanley (1999)
	Método DNS	Carbohidratos	Contenido de azúcar en geles	Aguilera and Baffico (1997)

**Figura 2.8.** Métodos no reológicos para caracterizar geles (Banerjee y Bhattacharya, 2012).

### 1.6 Geles rellenos

Un gel relleno es una matriz de gel con una fase dispersa, que pueden ser burbujas de gas, gotas de líquido, cristales, grasa o componentes celulares tales como gránulos de almidón (Banerjee y Bhattacharya, 2012). Las propiedades de los rellenos cambian



durante el procesamiento. El efecto del relleno sobre las propiedades viscoelásticas del gel (refuerzo) se puede describir cuantitativamente en términos de la relación del módulo elástico del gel con relleno a la del gel sin relleno correspondiente (Rao, 2007; Genovese 2012). El gel de almidón es el ejemplo natural de un gel relleno, en el que la matriz está formada por amilosa y los gránulos de amilopectina hinchados actúan como rellenos (Steeneken y Woortman, 2009).

Se han realizado muchas investigaciones sobre el mecanismo de gelificación y las propiedades reológicas de los geles de polisacáridos. La mayoría de estas investigaciones se han limitado a un gel homogéneo mezclado con uno o varios polisacáridos. Entre las publicaciones disponibles hay pocos trabajos sobre las propiedades reológicas de los geles que contengan partículas como las fibras dietarias. La influencia de estas partículas sobre las propiedades reológicas del gel puede ser drástica, dependiendo de su concentración y de la interacción entre el relleno y la matriz (van Vliet, 1988; Genovese, 2012).

Como se dijo anteriormente el propósito de este trabajo fue incorporar 3% de diferentes variedades de fibra en geles de pectina y estudiar el efecto sobre sus propiedades fisicoquímicas. Los geles se prepararon con pectina de alto metoxilo en condiciones ácidas (solución de buffer citrato pH= 3) en presencia de un co-soluto (65 g / 100 g de sacarosa). Esta es la mínima cantidad (o límite mínimo) de sólidos solubles requerida para dulces, jaleas y mermeladas de fruta según el Código Alimentario Argentino (2010), el cual también permite la adición de un máximo de 0.5 g / 100 g de un agente gelificante. Por lo tanto se tomó éste como nivel máximo de pectina para nuestros geles. El nivel mínimo de pectina fue determinado probando con diferentes concentraciones de la misma y estudiando los geles resultantes. A partir de esos ensayos preliminares se observó que por debajo de una concentración de 0.4 g / 100 g de pectina el sistema no gelifica apropiadamente (los geles no pueden mantener la estructura por si mismos). Por lo tanto, se consideró a esta como la concentración más

baja de pectina. Las fibras fueron agregadas reemplazando la misma cantidad de sacarosa (3%), de manera de garantizar que el producto final cumpliera con el 3% de fibra dietaria requerido por el CAA (2017) para ser declarado fuente de fibra.

Se elaboraron y estudiaron geles de pectina de alto metoxilo adicionados con fibra dietaria de distintos orígenes, (tanto frutícola como no) para luego aplicar los conocimientos generados en la elaboración de dulces de frutas saludables. Así, se estaría desarrollando un producto novedoso, de mayor valor agregado, que por su contenido de fibra dietética podría considerarse un alimento funcional.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Materiales**

Para la preparación de los geles se utilizaron como materias primas: pectina de manzana de alto metoxilo (Sigma Aldrich), sacarosa (Ledesma) como co-soluto, una solución buffer de citrato (pH=3, 0.1 M) que se preparó con citrato de sodio di-hidratado (Anedra), ácido cítrico anhidro (Parafarm) y agua destilada, y fibras dietéticas de: manzana, M (Vitacel AF 400-30); trigo, T (Vitacel WF 101); bambú, B (Qualicel, CFF); y psyllium plántago, P (Konsyl). Konsyl es una fórmula farmacéutica que consiste en una mezcla de cáscaras de semillas de *Plántago Ovata* (72%), maltodextrina (27%) y sílica amorfa (1%).

### **2.2 Métodos**

#### **2.2.1 Preparación del gel**

Dependiendo de la composición requerida para el gel, las cantidades de pectina, sacarosa, buffer citrato y fibra dietaria, para 100 g de gel, fueron: 0.4 o 0.5 g de pectina, y 65 g de sólidos (65 g de sacarosa en el gel control y 62 g de sacarosa y 3 g de fibra dietaria en los geles con fibra) y el resto fue completado con el buffer. Las muestras con 0.4 g / 100 g de pectina se identificaron con el sufijo “-r “(de concentración reducida).

Los 3 g de fibra adicionados eran de una variedad de fibra o una combinación de dos variedades (proporción 1:1): M-B, M-T, M-P, B-P y T-P.

Gel control: En primer lugar, se disolvió la pectina con la solución buffer en un vaso de precipitados y se dejó bajo agitación durante toda la noche. Además se agregó parte de la sacarosa en una relación 1:15 (pectina: sacarosa) para mejorar la dispersión e hidratación de la pectina (Thakur et al., 1997). Luego de cumplido ese tiempo se agregó lentamente la sacarosa restante y se calentó la mezcla en un baño termostático hasta aproximadamente 90°C.

Geles con fibra: Para la formulación se tomó como referencia la concentración de fibra requerido en el CAA y para la preparación de los geles se siguió el mismo procedimiento que para el gel control, salvo que en este caso la fibra se agregó luego de 2 h de hidratada la pectina y se dejó la mezcla bajo agitación toda la noche.

Para cada muestra, la dispersión caliente de pectina- azúcar se preparó 3 veces, de modo que todas las mediciones de propiedades se realizaron por triplicado (excepto que se indique lo contrario).

### **2.2.2 Determinación de propiedades reológicas**

Las propiedades reológicas fueron determinadas en un reómetro Par Physica MCR 301 (Anton Para GmbH, Austria), utilizando una geometría de cono y plato (diámetro  $d = 50$  mm, ángulo de cono  $\theta = 1^\circ$ ), que cuenta con un sistema Peltier para controlar la temperatura. Se colocó una alícuota de la dispersión caliente sobre la placa inferior del reómetro, previamente acondicionada a 90 ° C. A continuación, la geometría de cono se bajó hasta la posición de medición, se removió el exceso de muestra y se cubrió la superficie de muestra que quedó expuesta al aire con una fina capa de aceite de silicona que se colocó gota a gota con una pipeta Pasteur para evitar la deshidratación de la muestra durante el ensayo. Se determinaron los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) mediante ensayos dinámico-oscilatorios de baja amplitud, en 3 etapas: 1) Enfriamiento

(de 90 a 20 ° C), 2) Curado, durante 120 min a 20°C (ambas etapas a frecuencia angular constante,  $\omega = 1$  rad/s) y 3) Espectro mecánico (barrido de  $\omega$  de 0.1 a 100 rad/s a 20 °C). Todas las mediciones fueron llevadas a cabo dentro del rango viscoelástico lineal (RVL) con una deformación de 0.5%.

Se seleccionó la geometría de cono-plato debido a que con ésta la velocidad de deformación es uniforme a lo largo de la muestra. Para comprobar que las mediciones no fueron afectadas por un eventual atascamiento de las partículas de fibra en la zona estrecha de la geometría de cono-plato, se hicieron mediciones adicionales utilizando la geometría de placas paralelas (diámetro  $d = 50$  mm, gap = 2 mm). En este caso se preparó la dispersión caliente de pectina- azúcar con fibra de plántago (la más grande en tamaño), se colocó una alícuota de la misma en el reómetro y se la enfrió hasta 20 ° C con el sistema Peltier. Se determinó el RVL y se realizó el barrido de frecuencia.

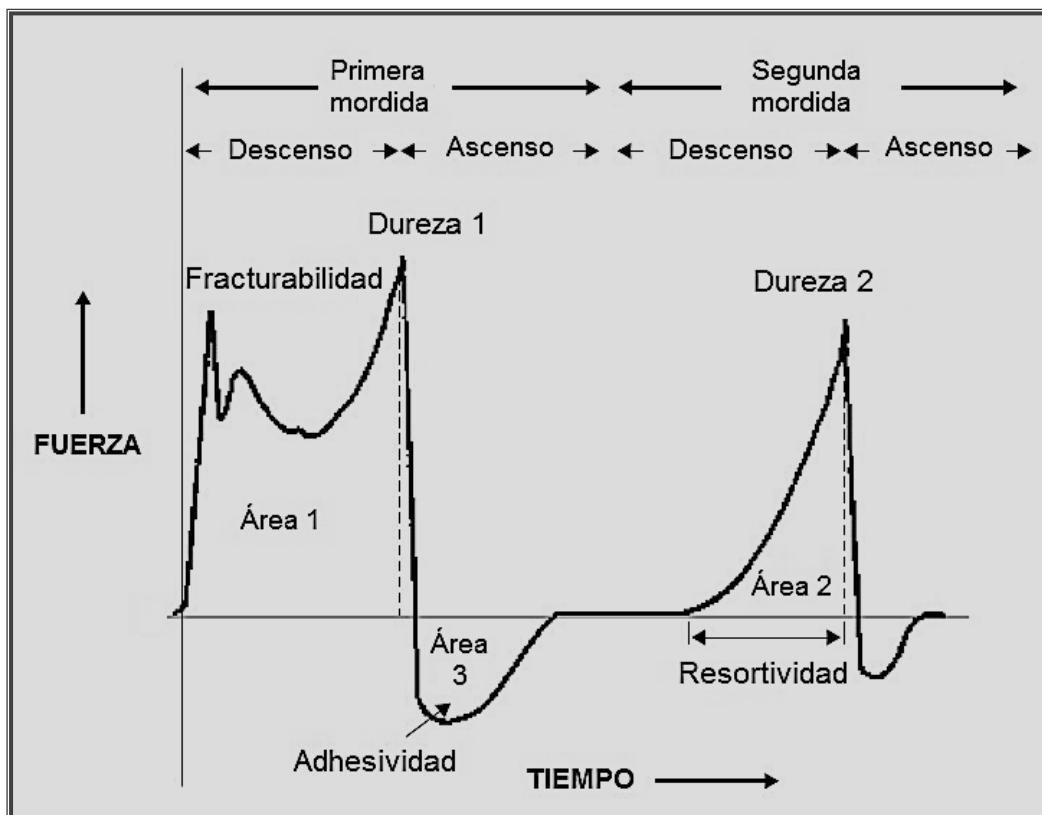
### **2.2.3** Determinación de propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas se determinaron en un texturómetro TA Plus (Lloyd Instruments, Inglaterra) mediante un Análisis de Perfil de Textura (APT), consistente en dos ciclos de compresión de la muestra hasta un 50% de su altura inicial. Se utilizó una celda de carga fija de 50 N.

Para cada muestra la dispersión caliente se colocó en 5 moldes cilíndricos de acrílico ( $h = 3.3$  cm y  $d = 3,3$  cm), los cuales tenían una base de film, y se los dejó enfriar por 2 h aproximadamente a temperatura ambiente. A continuación, los moldes fueron colocados en heladera (a 4.5 ° C) hasta el día siguiente. Luego de cumplido ese tiempo, los geles fueron sacados de la heladera 2 h antes de realizar las mediciones de textura correspondientes, para que éstos se atemperen. Cuando los geles fueron removidos de los moldes, la mayoría de ellos tenía una altura de aproximadamente 30 mm. Los geles fueron comprimidos 15 mm (~ 50 % de la altura inicial), usando una sonda cilíndrica ( $D = 70.6$  mm) a una velocidad de 1 mm/s. En algunos casos, los geles se aplanaron hasta

una altura inicial de 20 mm una vez que fueron desmoldados, por lo que en esos casos estos fueron comprimidos 10 mm, para respetar la relación de compresión del 50% respecto a la altura inicial.

De cada curva de Fuerza-Tiempo del APT (**Figura 2.9**) se obtuvieron seis parámetros de textura, a saber: Dureza, que se obtuvo como el máximo pico de fuerza durante el primer ciclo de compresión; Fracturabilidad, obtenida como la fuerza en la primera ruptura significativa durante el primer ciclo de compresión; Adhesividad, calculada como el área negativa después de la primera compresión; Cohesividad, calculada como la relación entre el área positiva debajo del 1er ciclo y el área positiva debajo del 2do ciclo; Resortividad, calculada como la relación del tiempo transcurrido durante las fuerzas positivas de la 2da compresión, respecto al de la 1era compresión; y Gomosidad obtenida como el producto de la Dureza por la Cohesividad (Bourne, 2002).



**Figura 2.9.** Curva típica Fuerza vs Tiempo (Bourne, 2002).

#### **2.2.4 Color**

La medición de color fue realizada en un colorímetro espectrofotométrico HunterLab UltraScan XE (Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, VA). A tal fin, parte de la dispersión caliente se colocó en dos cubetas de vidrio (10 mm de espesor), donde se la dejó enfriar durante 24 h. Se midió el color reflejado (componente especular excluida, iluminante D65, ángulo de observación 10°) de todas las muestras. Los resultados fueron expresados en términos de la escala CIELab: L\* luminosidad [0 = negro, 100 = blanco], a\*[verde (-), rojo (+)] y b\* [azul (-), amarillo (+)].

Las mediciones fueron hechas solo en los geles que contenían 0.5 g de pectina /100 g, considerando que un cambio de 0.1 g pectina /100 g en la fracción másica de la pectina no afectaría las mediciones de color.

#### **2.2.5 Sinéresis**

La sinéresis se midió como el porcentaje de agua perdida por los geles, durante las primeras 24 h luego de las mediciones de textura, a temperatura ambiente. El propósito de esta medición fue medir la estabilidad de los geles luego de que su estructura se rompiera debido a la aplicación de una fuerza externa, semejante a lo que ocurriría en un dulce comercial al introducir un cuchillo o una cuchara para servirlo. Los factores externos tales como un stress mecánico o el calentamiento pueden iniciar o acelerar la sinéresis, e incluso una pequeña intrusión mecánica en el gel de pectina (como tomar una porción del frasco) puede iniciar este proceso (Einhorn-Stoll, 2017). Para esta medición se usaron las mismas muestras a las cuales se les habían determinado previamente las propiedades mecánicas. De esta manera se aseguró que fueran sometidas siempre a la misma deformación (dos ciclos de compresión, 50% deformación) y por lo tanto sufrieran el mismo daño en su estructura. Se tomaron dos de esos geles fracturados, y se los colocó en un embudo büchner que contenía además un papel de filtro en la base. Una vez colocado el gel, se lo pesó y se tapó el embudo con film para evitar su deshidratación, y se lo dejó sobre un erlenmeyer donde se

recolectó el líquido que perdió el gel debido a la gravedad, en el tiempo considerado. Luego de cumplido el tiempo se pesó nuevamente el gel además del líquido que este perdió. Se calculó la sinéresis con la siguiente ecuación:

$$\text{Sinéresis} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (2.1)$$

Donde  $m_i$  y  $m_f$  representan el peso inicial y final del gel, respectivamente.

### 2.2.6 Microscopía óptica

La microestructura de cada uno de los geles fue analizada con un microscopio óptico Primo Star (Carl Zeiss, Alemania). A tal fin, se colocó una gota de la dispersión caliente sobre un portaobjetos y se lo cubrió, antes de que gelifique, con un cubreobjetos. Se utilizaron aumentos del ocular de 40x (magnificación total de 80x) para la fibra de manzana, bambú y trigo, y un aumento de 10x (magnificación total de 20x) para la fibra de plántago. Las imágenes fueron obtenidas para los geles con 0.5 g /100 g de pectina, dado que la red de pectina no es visible bajo estas condiciones y por lo tanto su concentración es irrelevante.

### 2.2.7 Determinación del contenido de fibra dietaria

En la determinación del contenido de fibra dietética total e insoluble en geles enriquecidos con fibra (con 0.5 g / 100 g de pectina) y dos mermeladas de frutas comerciales (MC y MD) se utilizó el método estándar de AOAC 991.43. Brevemente, cada muestra se dispersó en una solución buffer MES/Tris (0,05 M, pH = 8,2) y se sometió a una digestión enzimática secuencial por  $\alpha$ -amilasa estable al calor, proteasa y amiloglicosidasa. Para la determinación de fibra dietética total (FDT), el digestato se trató con alcohol para precipitar la fibra dietética soluble antes de filtrar, y el residuo de fibra dietética total (FDT) se lavó con alcohol y acetona, se secó y se pesó. Para la fibra dietética insoluble (FDI), se filtró el digestato y el residuo (FDI) se lavó con agua tibia, se secó y se pesó. Los valores de residuos de FDT y FDI se corrigieron por proteína,

ceniza y blanco, debido a la adición de sal con el buffer y enzimas a las muestras. Finalmente, la fibra dietética soluble (FDS) se calculó a partir de la diferencia:

$$FDS = FDT - FDI \quad (2.2)$$

Cada determinación se realizó por duplicado.

### 2.2.8 Análisis estadístico

Los datos experimentales de la **Sección 3.1** fueron analizados mediante un Anova Doble (Análisis de varianza) de dos factores, a saber: Contenido de pectina y tipo de fibra. Mientras que los resultados de la **Sección 3.2** fueron analizados mediante un Anova Simple, tomando como único factor la combinación de las fibras. Además, se aplicó un test de Tukey para comparar los promedios con un nivel de significancia de 5% usando el programa InfoStat v. 2014. En todos los casos se realizó un test de diagnóstico Box-Cox, con el programa Design Expert 7.0, para verificar los supuestos del Anova (normalidad y homocedasticidad) y los datos fueron transformados cuando fue necesario.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Efecto del contenido de pectina y del tipo de fibra

#### 3.1.1 Determinación de fibra dietaria total, insoluble y soluble

La **Tabla 2.1** muestra el contenido de fibra total, insoluble y soluble (FDT, FTI y FDS, respectivamente) de los geles enriquecidos con fibra (con 0.5 g / 100 g de pectina) y dos muestras de dulces comerciales (MC y MD).



**Tabla 2.1.** Contenido de fibra total, insoluble y soluble de los geles enriquecidos con fibras de distintos orígenes y mermeladas comerciales.

Muestra	w (g / 100 g)			FDI/FDT
	FDT	FDI	FDS	
M	3.60 ± 0.03	1.85 ± 0.02	1.76 ± 0.01	0.513
B	4.12 ± 0.01	2.87 ± 0.08	1.26 ± 0.06	0.695
P	3.53 ± 0.05	3.27 ± 0.01	0.26 ± 0.06	0.928
T	3.49 ± 0.03	3.23 ± 0.03	0.26 ± 0.06	0.926
MC	2.96 ± 0.08	1.19 ± 0.01	1.77 ± 0.09	0.403
MD	2.37 ± 0.04	1.15 ± 0.01	1.22 ± 0.03	0.485

FDT = fibra dietaria total, FDI=fibra dietaria insoluble, FDS= fibra dietaria soluble,  
Fibras de M=manzana, B=bambú, P=plántago and T=trigo, Mermeladas de  
MC=ciruela, MD=damasco

Como podemos observar según los resultados de la **Tabla 2.1** y según lo declarado en el rótulo, los dulces de fruta existentes en el mercado contienen fibra dietaria (aportada por la propia fruta) pero en cantidades *a priori* desconocidas, y menores a los requerimientos del CAA para ser declarados “fuente de fibra”, según determinaciones realizadas sobre las muestras comerciales (MC y MD). Por otro lado, el contenido de FDT en los geles enriquecidos con fibra fue de aproximadamente 0.5 g / 100 g por encima del valor objetivo. Esto fue atribuido a la contribución de la pectina que también es considerada fibra dietaria (Ho et al., 2017). En consecuencia, solo los geles enriquecidos con fibra podrían declararse como “fuente de fibra”. También es evidente que la fracción insoluble de la fibra dietaria (FDI/FDT) en los dulces comerciales fue menor que la de los geles enriquecidos con fibra, y solo es comparable al valor de los geles enriquecidos con fibra de manzana, la que también es de origen frutal (la única

fibra frutal que se estudió en este trabajo). Por lo tanto, esto sugiere otra consecuencia del uso de fibra de origen no frutícola que es el aumento de la fracción insoluble (DFI/FDT) en el producto final, que como se dijo en el Capítulo 1 está relacionada con la regulación intestinal, mientras que la fracción soluble está asociada con la disminución del colesterol total y la absorción de la glucosa intestinal (Rosell et al., 2009).

### 3.1.2 Propiedades reológicas

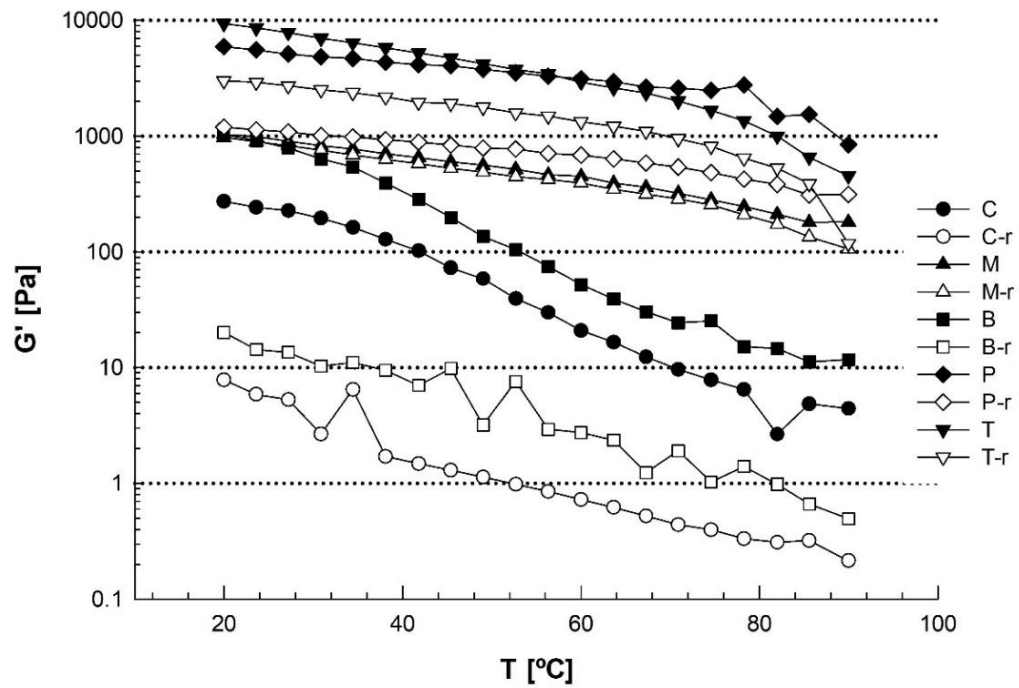
Durante las tres etapas del ensayo reológico (gelificación, curado y espectro mecánico) resultó  $G' > G''$  para todas las muestras, lo que significa que en todos los geles predominó el carácter sólido, incluso a altas temperaturas.

La **Figura 2.10 (a y b)** muestra la evolución de  $G'$  y  $G''$  de los geles durante el enfriamiento de 90 a 20°C. Como se puede observar, todas las curvas siguieron la misma tendencia, con un aumento de los valores de  $G'$  y  $G''$  a lo largo del enfriamiento debido a la gelificación. Como se vio anteriormente la gelificación de la pectina de alto metoxilo es producida por la unión no covalente de las cadenas adyacentes de pectina (zonas de unión), formando una red tridimensional capaz de retener grandes cantidades de agua. Estas zonas de unión son estabilizadas por la combinación de uniones hidrógeno e interacciones higroscópicas (Garrido et al., 2015).

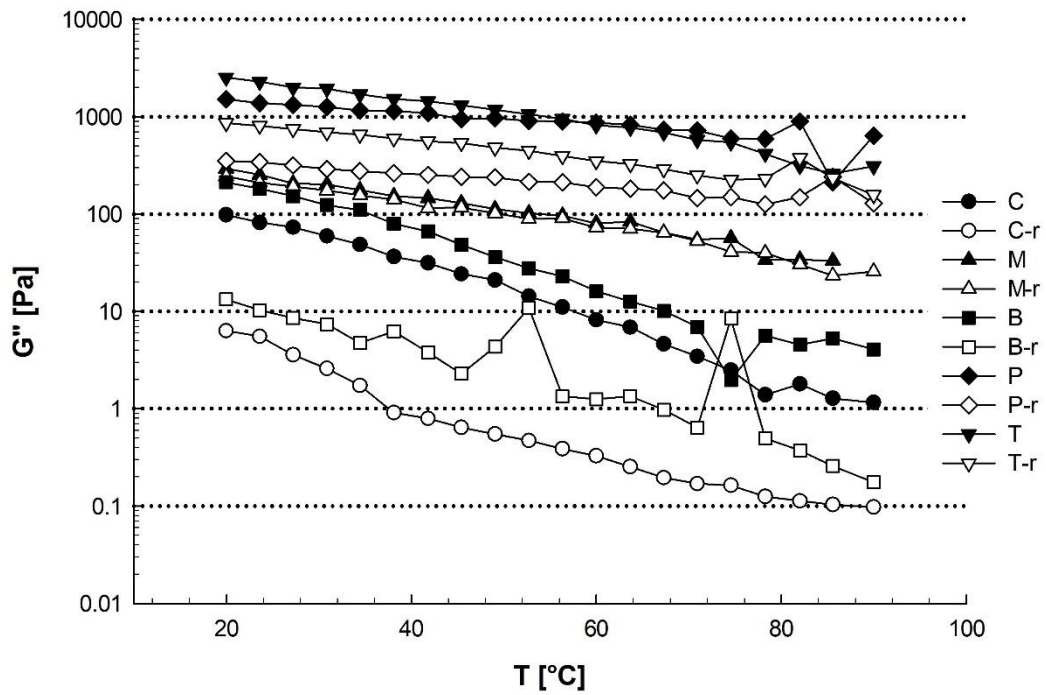
Como se esperaba, en los geles con un mismo tipo de fibra los valores de  $G'$  y  $G''$  fueron mayores para aquel gel con mayor contenido de pectina debido al incremento del número de las zonas de unión, resultando en una red más fuerte y un gel con estructura más firme. Por otro lado, para los geles con un contenido fijo de pectina, la adición de fibra incrementó el valor de  $G'$  y  $G''$  respecto al gel control. Este incremento podría deberse a una de las siguientes razones (o su combinación): 1) la fracción soluble de la fibra tuvo un efecto favorable sobre el mecanismo de gelificación, contribuyendo a la composición de la fase acuosa y/o 2) la fracción insoluble de fibra (partículas de fibra) actuó como relleno del gel, reforzando su estructura. En este aspecto se sabe que, si

existe una buena afinidad entre las partículas y la matriz del gel, la adición de partículas incrementa el módulo elástico del gel y este incremento depende de las características de las partículas (Genovese, 2012).

a)

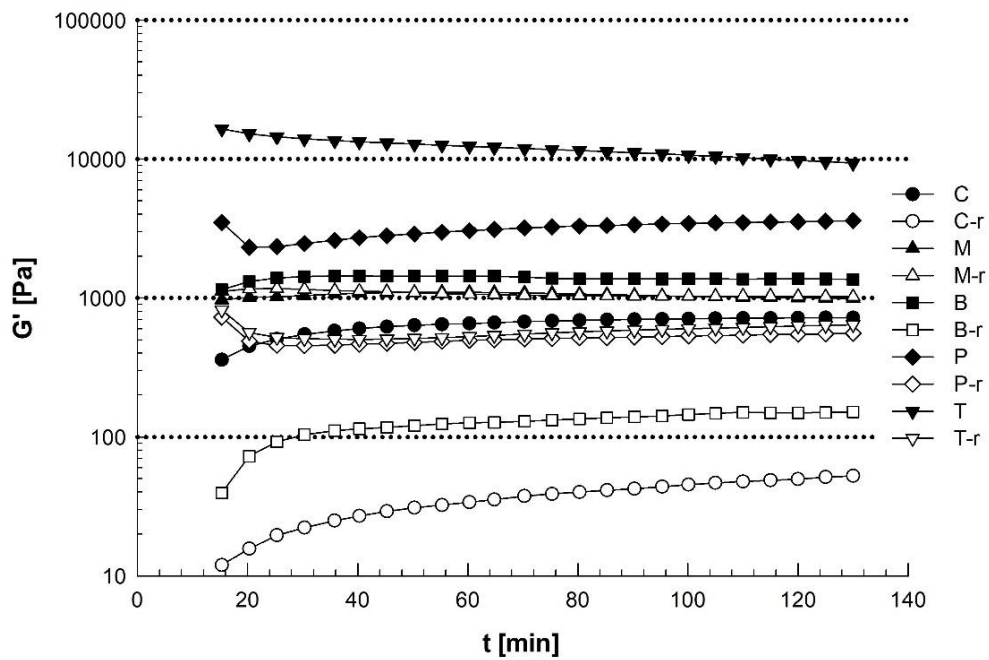


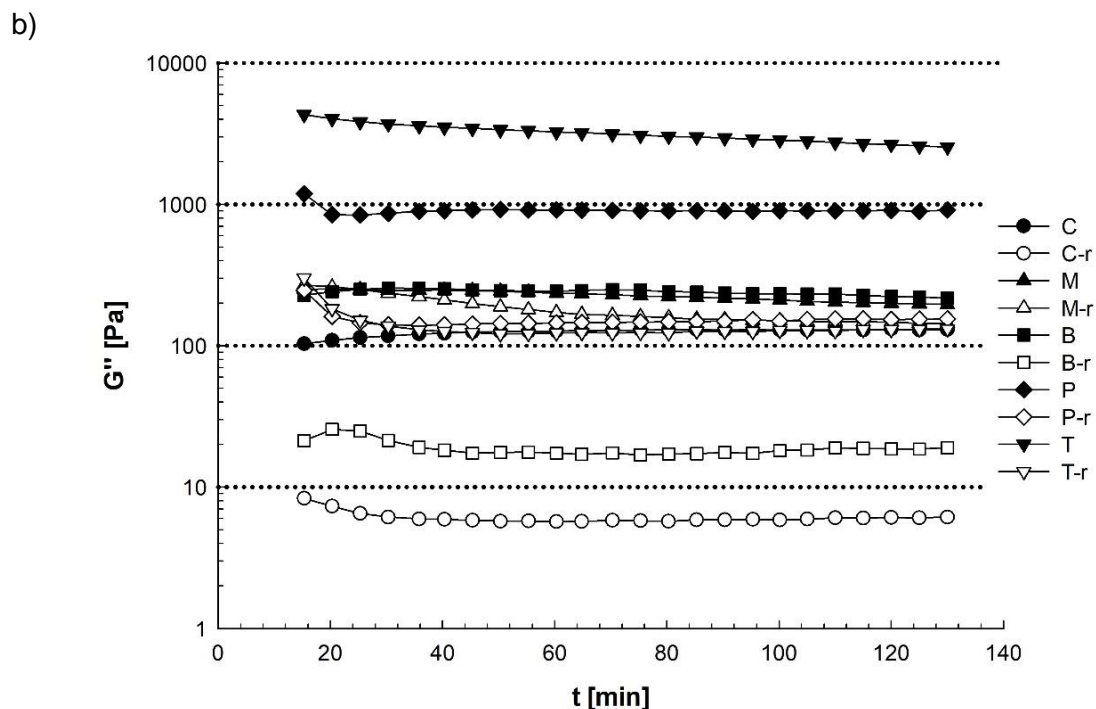
b)



**Figura 2.10.** Evolución de los módulos a)  $G'$  y b)  $G''$ , durante el enfriamiento de 90 a 20°C, de los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5 g/100g de pectina, control sin fibra (C) y los geles enriquecidos con fibras de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

a)





**Figura 2.11.** Evolución de los módulos a)  $G'$  y b)  $G''$  durante el curado a  $20^\circ\text{C}$  de los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5 g/100g de pectina, control sin fibra (C) y los geles enriquecidos con fibras de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

Al inicio de la etapa de curado se observó un incremento de  $G'$  (**Figura 2.11a**) de los geles control (C y C-r); en el caso de B-r se observó un aumento de  $G'$  más notorio que para B, aunque  $G'$  de B no siguió la misma tendencia ya que se observó un aumento al inicio de la etapa de curado y luego una leve disminución, mientras que para los geles con manzana en ambos casos se observó un aumento poco notorio de  $G'$ . Para los geles con trigo (T y T-r) y plántago (P y P-r) se observó una disminución de  $G'$  al inicio de la etapa de curado. En cuanto a  $G''$  (**Figura 2.11b**) en el caso de los geles control se observó un aumento para C y una disminución para C-r, para los geles con manzana ambos mostraron una disminución de  $G''$ , mientras que el  $G''$  de las muestras con fibra de bambú, plántago y trigo presentó el mismo comportamiento de  $G'$  de dichas muestras (B y B-r, P y P-r, T y T-r).

Tanto el aumento como la disminución de los módulos  $G'$  y  $G''$  puede deberse a cambios estructurales o morfológicos de la red de pectinas o de las fibras. Por ejemplo, se podría producir una leve difusión de las fibras lo que provocaría que estas se acerquen o se separen, o producirse cambios en el tamaño de las mismas debido a un hinchamiento o una pérdida de agua. En particular, el aumento de  $G'$  o  $G''$  es el comportamiento típico que se da en la gelificación de un biopolímero, donde las propiedades viscoelásticas aumentan rápidamente al inicio y luego lo hacen más lentamente (Lopes da Silva et al., 1995) y puede ser atribuido a la finalización del proceso de gelificación iniciado en la etapa anterior (Garrido et al., 2015). Por otro lado, la disminución de  $G'$  o  $G''$  puede ser atribuido a una relajación de la red de pectinas que se formó durante la gelificación (Genovese et al., 2010). Luego de ese aumento o disminución, el valor de  $G'$  se estabilizó en un valor de equilibrio que se mantuvo hasta finalizar las 2 h de curado, salvo en el gel T donde se puede ver que  $G'$  continuó disminuyendo sin alcanzar el equilibrio.

Para poder tener valores representativos de  $G'$  y  $G''$  de cada muestra y poder realizar las comparaciones correspondientes a partir de los ensayos de curado (**Figura 2.11 a y b**) se promediaron los últimos 10 puntos de cada curva y el valor obtenido fue considerado como el valor de equilibrio (tanto de  $G'$  como de  $G''$ ), y utilizado para comparar estadísticamente las muestras. En este caso los valores de  $G'$  y  $G''$  fueron transformados con una función del tipo logarítmica (Ln). Una vez transformados  $G'$  y  $G''$  se analizaron mediante Anova Doble y comparaciones por test de Tukey (**Tabla 2.2**). La alta dispersión observada en los datos de  $G'$  y  $G''$  se atribuyó a errores experimentales aleatorios.

**Tabla 2.2.** Módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) al final del curado de los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5g/100g de pectina, control (C) sin fibra y los geles enriquecidos con fibras de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

Muestra	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)
C-r	51.9 ± 5.2 <sup>a</sup>	6.11 ± 0.72 <sup>a</sup>
M-r	1022 ± 262 <sup>c,d</sup>	144 ± 53 <sup>c</sup>
B-r	151 ± 89 <sup>b</sup>	18.8 ± 6.7 <sup>b</sup>
P-r	434 ± 88 <sup>c</sup>	142 ± 27 <sup>c</sup>
T-r	640 ± 235 <sup>c,d</sup>	131 ± 42 <sup>c</sup>
C	723 ± 65 <sup>c,d</sup>	130 ± 3 <sup>c</sup>
M	996 ± 304 <sup>c,d</sup>	197 ± 47 <sup>c</sup>
B	1370 ± 615 <sup>d</sup>	220 ± 72 <sup>c</sup>
P	3587 ± 958 <sup>e</sup>	903 ± 490 <sup>d</sup>
T	9460 ± 1467 <sup>f</sup>	2570 ± 461 <sup>e</sup>

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

El análisis estadístico mostró que tanto el contenido de pectina, como el tipo de fibra y la interacción entre ambos factores tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades viscoelásticas de los geles. Para cada tipo de fibra se encontraron diferencias significativas entre los geles con 0.4 y 0.5 g /100 g de pectina excepto para aquellos con fibra de manzana (muestras M y M-r). Para los geles con menor contenido de pectina, la adición de fibra tuvo un efecto significativo en todas las muestras (comparados con la muestra C-r). Para los geles con mayor contenido de pectina, la adición de fibra tuvo un efecto significativo sobre las propiedades viscoelásticas solo en los casos de las fibras de plántago y trigo (muestras T y P comparadas con C). Por lo

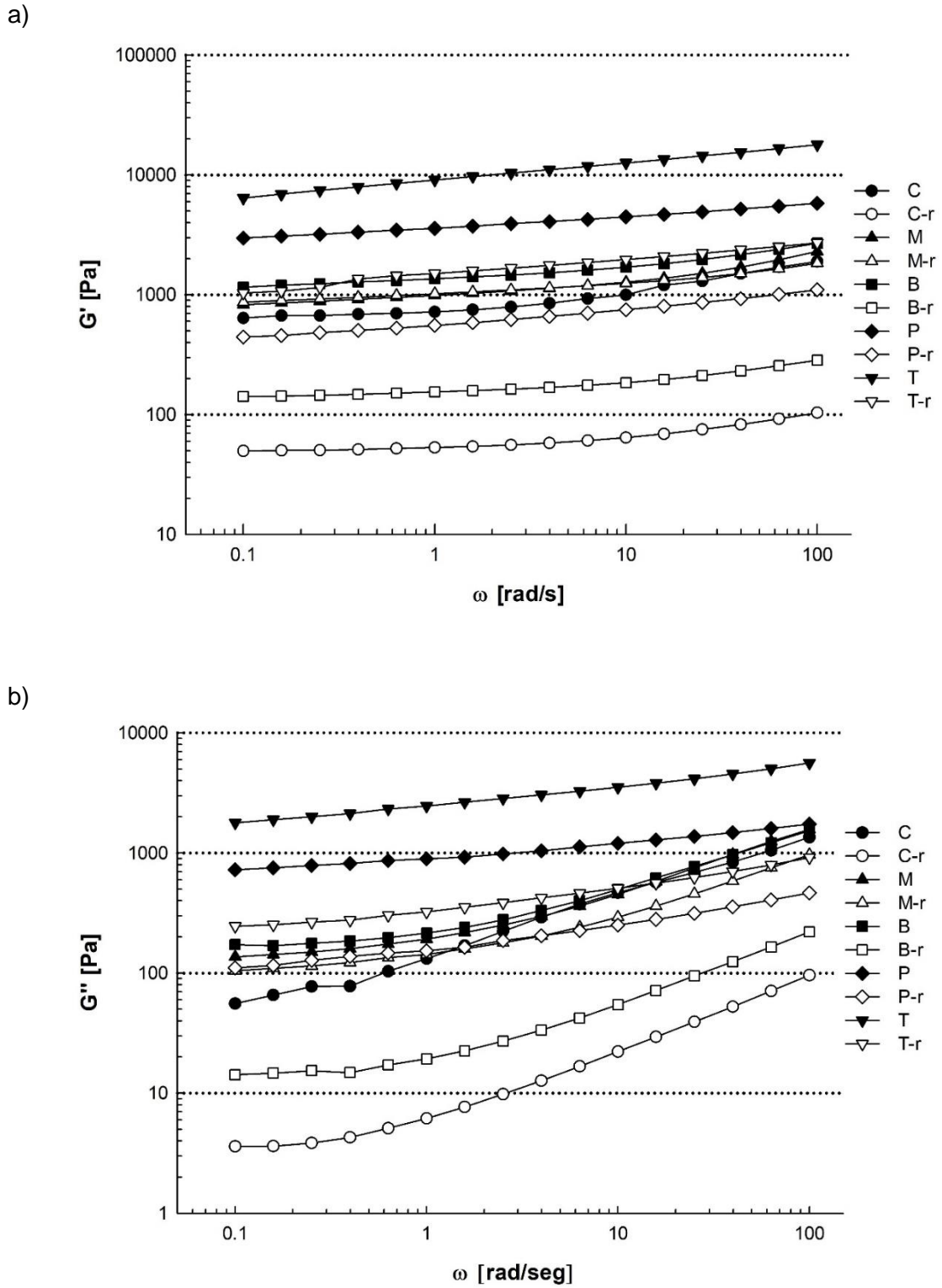
tanto, se puede decir que para los geles con 0.5 g/100 g de pectina las muestras M y B fueron los geles más débiles mientras que P y T fueron los geles más fuertes (geles con mayor rigidez).

Es decir, el orden de rigidez de estos geles fue:  $T > P > B > M$ . Por su parte, la FDI disminuyó en el siguiente orden:  $P > T > B > M$  (Tabla 2.1). Es decir que aquellos geles con mayor contenido de FDI (muestras T y P) fueron los que presentaron un mayor aumento en las propiedades viscoelásticas, lo que sugeriría que el aumento en  $G'$  y  $G''$  se debe, en mayor medida, al efecto reforzante de la fracción insoluble de fibra en el gel.

Si bien la fibra de trigo presentó menor contenido de FDI que la fibra de plántago, fue la que aportó el mayor efecto reforzante en el gel, y esto fue atribuido a la presencia de almidón en la fibra de trigo (confirmado por el test de Lugol mencionado en el Capítulo 1, Sección 3.4), el cual puede haberse gelatinizado durante el tratamiento térmico de la muestra. Por alguna razón, este efecto reforzante no fue tan fuerte en los geles con menor contenido de pectina. El efecto reforzante de la fibra de plántago (el segundo más grande), fue atribuido a sus propiedades de hidratación ( $Sw$ ,  $WHC$  y  $WRC$ ), al diámetro medio de la partícula hidratada  $D_m$ , que como se pudo observar en el Capítulo 1, Sección 3.2 resultó el más grande en comparación con el resto de las fibras estudiadas, y por último a su habilidad de formar una masa gelatinosa a concentraciones mayores de 2 g / 100 g.

La **Figura 2.12 a y b** muestra el módulo elástico y viscoso de los geles en función de la frecuencia angular. Para todas las muestras,  $G'$  y  $G''$  mostraron una dependencia con la frecuencia indicando un proceso de relajación típico de geles débiles (Lopes da Silva y Rao, 2007). Nuevamente se observó que  $G'$  y  $G''$  aumentaron al aumentar el contenido de pectina, y para los geles con una cantidad fija de pectina los valores de  $G'$  y  $G''$  también aumentaron con la adición de fibra.



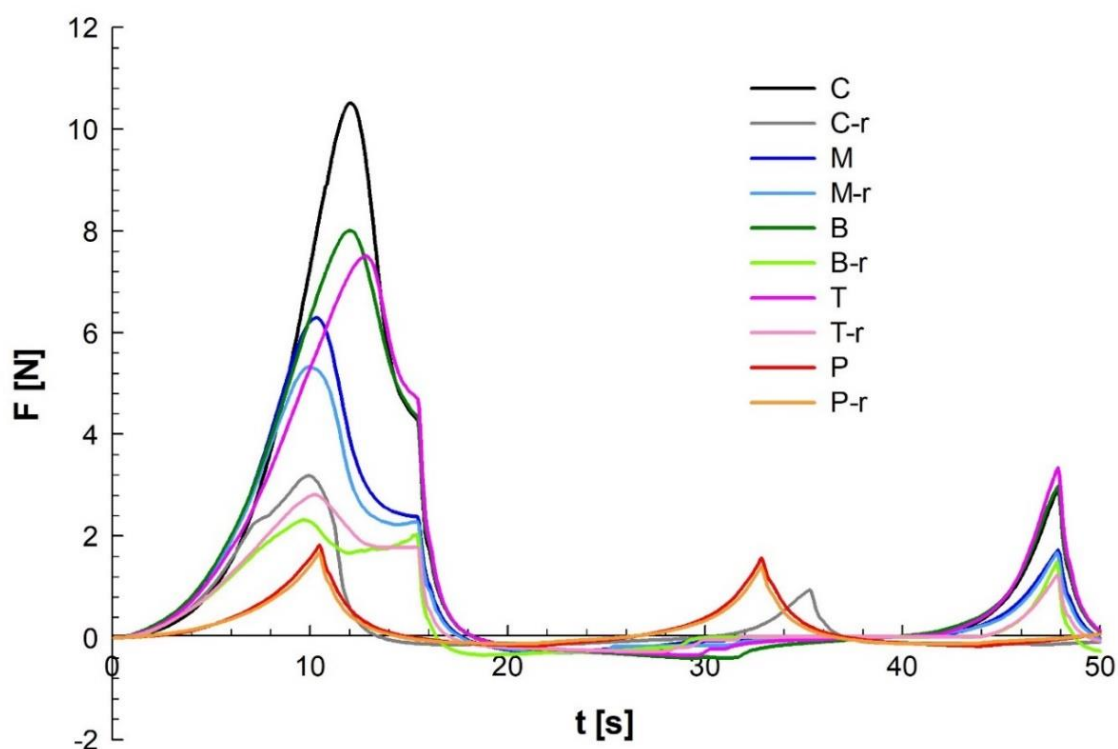


**Figura 2.12.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$  durante el barrido de frecuencia de los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5 g / 100 g de pectina, control (C) sin fibra y los geles enriquecidos con fibras de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

### 3.1.3 Propiedades mecánicas

La **Figura 2.13** muestra las curvas fuerza-tiempo obtenidas del APT con los dos ciclos de compresión. En la misma se puede ver que tanto la reducción del contenido de pectina como el agregado de FD hicieron que las curvas se aplanaran en comparación con el control (muestra C), siendo el contenido de pectina el factor que afectó de manera más pronunciada la magnitud y la forma de las curvas.

Las muestras que presentaron antes el segundo pico fueron aquellas comprimidas desde una altura inicial de 20 mm y no de 30 mm, como se explicó en la Sección 2.2.3.



**Figura 2.13.** Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidas durante los dos ciclos de compresión de los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5 g /100 g de pectina, control sin fibra (C) y geles enriquecidos con fibras de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

En la **Tabla 2.3** se muestran los parámetros de textura obtenidos a partir de las curvas fuerza-tiempo. Solo algunos de los parámetros de textura necesitaron una

transformación: la Gomosidad del tipo raíz cuadrada ( $\sqrt{\phantom{x}}$ ) y la Resortividad del tipo Inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\phantom{x}}$ ). El contenido de pectina, el tipo de fibra y la interacción entre estos dos factores tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades mecánicas de los geles. Se observó que un incremento en el contenido de pectina produjo un incremento significativo de la dureza, la fracturabilidad y la gomosidad en los geles con bambú (muestras B y B-r), trigo (muestras T y T-r) y en el control (muestras C y C-r), mientras que los otros parámetros (cohesividad, adhesividad y resortividad) no fueron afectados significativamente. Cabe señalar que los geles con plántago no presentaron fracturabilidad.

Para ambas concentraciones de pectina la adición de fibra no tuvo efecto significativo sobre la gomosidad de los geles, la adición de plántago provocó un aumento significativo de la cohesividad, mientras que la adición de bambú aumentó significativamente la adhesividad (en valor absoluto).

En los geles con 0.4 g/100 g de pectina, la adición de fibra no tuvo efecto significativo sobre la dureza de los geles, mientras que la fibra de trigo aumentó significativamente la resortividad de los mismos. Para los geles con 0.5 g/100 g de pectina, la adición de fibra no tuvo efecto significativo sobre la resortividad, pero si disminuyó significativamente la dureza (salvo el bambú), mientras que solo la fibra de manzana disminuyó significativamente la fracturabilidad.

Según podemos observar, la disminución en la dureza del gel parece ser inversamente proporcional al hinchamiento ( $Sw$ ) de la fibra (excepto la fibra de trigo), lo que sugiere que una fibra más expandida puede haber tenido un efecto “ablandante” sobre la estructura de los geles. Dado que  $Sw$  se midió a temperatura ambiente y los gránulos de almidón se hinchan a altas temperaturas (Genovese et al., 2003) (como las utilizadas durante la preparación de los geles), es probable que el  $Sw$  de la fibra de trigo (conteniendo almidón) en los geles sea mayor que el  $Sw$  medido, explicando su efecto ablandante en los geles.

Por último, por simple observación se puede decir que los geles enriquecidos con fibra de plántago fueron notablemente diferentes a los otros geles, en el sentido de que parecían ser más “gomosos” (según su aspecto visual, sensación al paladar y al tacto). Estas diferencias no se revelaron claramente en las propiedades viscoelásticas de los geles, pero sí se reflejaron en algunas de los parámetros mecánicos, tales como la dureza, la fracturabilidad y la cohesividad, los cuales fueron marcadamente diferentes en los geles con plántago (aunque curiosamente ninguno de los geles presentó diferencias en la gomosidad). Dado que esta característica gomosa de los geles adicionados con fibra de plántago no sería deseable en un dulce de fruta comercial, el uso de plántago solo no parece ser una opción para el desarrollo de dulces comerciales. Sin embargo, este podría ser usado en combinación con otras variedades de fibra, como se verá más adelante.

**Tabla 2.3.** Parámetros mecánicos del test APT para los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5 g / 100 g de pectina, gel control (C) sin fibra y los geles enriquecidos con fibra de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

<b>Muestra</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Fracturabilidad (N)</b>	<b>Cohesividad (-)</b>	<b>Gomosidad (N)</b>	<b>Adhesividad (N.s)</b>	<b>Resortividad (-)</b>
C-r	3.52 ± 0.58 <sup>a,b</sup>	2.27 ± 0.56 <sup>b</sup>	0.13 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.24 <sup>a,b</sup>	-1.51 ± 0.27 <sup>c,d,e</sup>	0.62 ± 0.13 <sup>b</sup>
M-r	5.78 ± 1.15 <sup>b,c</sup>	2.16 ± 0.56 <sup>b</sup>	0.12 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.17 <sup>a,b,c</sup>	-3.00 ± 0.49 <sup>b,c</sup>	1.20 ± 0.56 <sup>a,b</sup>
B-r	2.85 ± 0.34 <sup>a</sup>	1.61 ± 0.68 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.31 ± 0.16 <sup>a</sup>	-3.37 ± 0.29 <sup>a,b</sup>	1.16 ± 0.71 <sup>a,b</sup>
P-r	1.66 ± 0.67 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00	0.66 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.07 ± 0.32 <sup>b,c</sup>	-0.87 ± 0.29 <sup>e</sup>	0.70 ± 0.03 <sup>a,b</sup>
T-r	2.89 ± 0.71 <sup>a</sup>	1.50 ± 0.07 <sup>a,b</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.10 <sup>a</sup>	-2.74 ± 0.49 <sup>b,c</sup>	1.68 ± 0.21 <sup>a</sup>
C	10.63 ± 1.00 <sup>d</sup>	4.57 ± 1.01 <sup>c</sup>	0.12 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.30 ± 0.16 <sup>c</sup>	-2.38 ± 0.85 <sup>b,c,d,e</sup>	1.26 ± 0.38 <sup>a,b</sup>
M	6.43 ± 1.15 <sup>c</sup>	2.41 ± 0.46 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.16 <sup>a,b,c</sup>	-2.47 ± 0.36 <sup>b,c,d</sup>	1.44 ± 0.30 <sup>a,b</sup>
B	8.16 ± 1.20 <sup>c,d</sup>	4.50 ± 0.74 <sup>c</sup>	0.12 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.16 <sup>b,c</sup>	-4.71 ± 0.52 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.04 <sup>a,b</sup>
P	1.82 ± 0.93 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00	0.68 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.25 ± 0.65 <sup>c</sup>	-1.06 ± 0.30 <sup>d,e</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>a,b</sup>
T	7.81 ± 0.26 <sup>c</sup>	4.34 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.01 <sup>c</sup>	-3.78 ± 1.01 <sup>a,b</sup>	0.79 ± 0.09 <sup>a,b</sup>

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### 3.1.4 Sinéresis

La sinéresis de los geles se determinó como la cantidad de agua perdida por 100 g de gel (g / 100 g) durante las primeras 24 h luego del test de propiedades mecánicas, como se dijo en la Sección 2.2.5. Los resultados se muestran en la **Tabla 2.4**, en este caso los datos no requerían de ninguna transformación. Las comparaciones se hicieron igual que en los casos anteriores. El análisis estadístico mostró que el contenido de pectina, el tipo de fibra y la interacción entre ambos factores tuvo un efecto significativo sobre la sinéresis de los geles. La reducción del contenido de pectina produjo un aumento significativo de la sinéresis de los geles excepto en aquellos que contenían plántago, que no presentaron sinéresis. El primer resultado es esperable ya que se supone que una mayor concentración de pectina incrementará la capacidad de almacenar agua (WHC) del gel, reduciendo de esta manera la sinéresis. La eliminación de la sinéresis por el agregado de la fibra de plántago fue atribuida a su alto valor de WHC (Capítulo 1, Tabla 1.3). También fue asociado al hecho de que el gel con fibra de plántago no se fracturó en el APT y en comparación con los otros geles mostró un mayor valor de cohesividad (ver Sección 3.1.2).

Para ambas concentraciones de pectina, la adición de fibra de bambú no tuvo efecto significativo sobre la sinéresis de los geles, mientras que la fibra de manzana produjo una reducción significativa. La adición de fibra de trigo tuvo el efecto opuesto a ambas concentraciones de pectina: aumentó la sinéresis del gel a 0.4 g /100g de pectina y la disminuyó a 0.5 g /100g de pectina, lo que concuerda con los resultados obtenidos para las propiedades viscoelásticas de los geles, sugiriendo que la interacción de la fibra de trigo con la red de pectina es mucho más favorable a mayor concentración de pectina.

El efecto de la reducción en la sinéresis debido a la adición de fibra dietaria (en los geles con 0.5 g / 100 g de pectina) puede ser atribuida a dos posibles causas: 1) a las propiedades de hidratación de cada tipo de fibra, como se mencionó anteriormente y 2) a una contribución de las fibras a las zonas de unión formadas por la pectina, es decir

que la adición de fibra dietaria podría estar favoreciendo estas zonas formadas por la pectina al gelificar, modificando de alguna manera el número, tipo, longitud o su distribución y por lo tanto aumentando la retención de agua de la red (Einhorn-Stoll, 2017).

**Tabla 2.4.** Sinéresis (g de agua / 100 g de gel) y parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) de los geles con 0.4 (sufijo -r) y 0.5 g / 100 g de pectina, control (C) sin fibra y los geles enriquecidos con fibras de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T).

Muestra	Sinéresis (g / 100 g)	Color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
C-r	17.83 ± 0,45 <sup>e</sup>	--	--	--
M-r	11.4 ± 1.4 <sup>d</sup>	--	--	--
B-r	17.77 ± 0.44 <sup>e</sup>	--	--	--
P-r	0.00 ± 0.00	--	--	--
T-r	20.1 ± 1.4 <sup>f</sup>	--	--	--
C	9.05 ± 0.44 <sup>c,d</sup>	69.4 ± 0.58 <sup>e</sup>	-2.14 ± 0.11 <sup>a</sup>	13.5 ± 0.53 <sup>b,c</sup>
M	5.99 ± 0.81 <sup>b</sup>	12.7 ± 0.6 <sup>a</sup>	14.2 ± 0.7 <sup>d</sup>	14.6 ± 0.6 <sup>c</sup>
B	7.43 ± 0.39 <sup>b,c</sup>	46.5 ± 0.6 <sup>b</sup>	-1.07 ± 0.12 <sup>b</sup>	11.6 ± 0.4 <sup>a</sup>
P	0.00 ± 0.00	37.7 ± 0.8 <sup>d</sup>	3.58 ± 0.44 <sup>c</sup>	20.1 ± 0.13 <sup>d</sup>
T	6.67 ± 0.38 <sup>b</sup>	42.4 ± 0.8 <sup>c</sup>	-0.71 ± 0.04 <sup>b</sup>	12.2 ± 0.8 <sup>a,b</sup>

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

La pérdida de agua es indeseable generalmente en geles alimenticios, ya que el agua liberada por los mismos podría ser una vía para la contaminación microbiana y un indicio de mala calidad. A pesar de esto, no hemos encontrado valores publicados de

referencia de sinéresis para geles de pectina, ni límites legales para dulces de frutas, ya sea en el Código Alimentario Argentino o en algún otro organismo a nivel internacional. Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos en este trabajo (**Tabla 2.4**) se propone un valor de sinéresis de 10 g / 100g como límite máximo admisible para geles de pectina. Usando este valor para determinar la aceptabilidad de los geles enriquecidos con fibra, podemos observar que los geles con 0.4 g/100g de pectina resultaron inaceptables (sinéresis > 10 g/100g), excepto los geles con plántago que no presentaron sinéresis. Sin embargo, como se dijo anteriormente los geles enriquecidos con plántago fueron considerados como no deseables (por su gomosidad) para desarrollar dulces de frutas saludables. En consecuencia, la concentración apropiada de pectina para los geles enriquecidos parece ser de 0.5 g /100g.

### 3.1.5 Color

Los resultados de los parámetros de color se muestran en la **Tabla 2.4**. Solo los valores de  $a^*$  necesitaron de una transformación del tipo raíz cuadrada ( $\sqrt{\phantom{x}}$ ). Los parámetros de color solo fueron analizados en los casos de los geles que contenían 0.5 g / 100 g de pectina + 3 g / 100 g de fibra dietaria ya que se consideró que los resultados de los mismos cambiarían en función de la adición de fibra dietaria y no en función del contenido de pectina.

Comparando el gel control (muestra C) con los adicionados con fibra dietaria, se observó que el agregado de fibra dietaria disminuyó significativamente el valor de  $L^*$  (geles más oscuros) y esta disminución fue más notoria con el agregado de manzana. Por otra parte, se observó un aumento significativo del valor de  $a^*$  (menos negativo, geles menos verdosos) con la adición de bambú y trigo, mientras que con la adición de manzana y plántago el valor de  $a^*$  aumentó haciéndose positivo (geles más rojizos). Por último, solo se observaron cambios significativos en el valor de  $b^*$  con el agregado de bambú ( $b^*$  disminuyó, geles menos amarillentos) y con plántago ( $b^*$  aumentó, geles más amarillentos).



### 3.1.6 Microestructura

La microestructura de los geles adicionados con fibra dietaria se muestra en la **Figura 2.14**. La microestructura dependió del origen de la fibra, así como de sus características fisicoquímicas (forma, color, tamaño, y % de fibra soluble e insoluble).

Las partículas observadas en las micrografías corresponden a la fracción insoluble de cada fibra (**Tabla 2.1**). En la **Figura 2.14a** se muestra la distribución de las partículas de fibra de manzana en la matriz del gel. Las mismas presentaron una forma irregular con los bordes redondeados (Rosell et al., 2009), una morfología granulada (Akln et al., 2018), y un color marrón-amarillento.

La **Figura 2.14b** corresponde a la fibra de plántago. En la misma se observan partículas con forma irregular, pero con una estructura más abierta, que podría deberse a la formación del mucilago, que está relacionado con la alta capacidad de la fibra de absorber agua. Además, en la imagen se observan formas circulares definidas (color negro) que pertenecen a las burbujas que se formaron durante la preparación del gel.

Por último, los geles adicionados con fibra de bambú y trigo (**Figura 2.14c y 2.14d**, respectivamente) mostraron una microestructura similar entre ellos. En ambas figuras se puede observar que las partículas presentaron una forma alargada (estructura fibrosa), lo que coincidió con las observaciones de otros autores (Rosell et al., 2009; Soukoulis et al., 2009).



**Figura 2.14.** Micrográficas de los geles adicionados con distintas variedades de fibra dietaria, a) M, b) P, c) B y d) T.

Los valores de diámetro medio ( $D_m$ ) de las fibras hidratadas (Capítulo 1, Tabla 1.2) parecen ser más grandes que los tamaños observados en las micrográficas. Esto podría deberse a la abrasión sufrida por las partículas durante la preparación de la dispersión caliente, donde fueron sometidas a agitación y calor.

A partir de inspecciones y degustaciones de las muestras llevadas a cabo por personal del laboratorio se observó: una alta gomosidad del gel con fibra de plátano, un color oscuro del gel con manzana y una sensación harinosa que dejaban al paladar los geles con trigo y bambú. Considerando que dichas características organolépticas no serían deseables en un dulce de frutas, y con el objeto de mejorarlas, se combinaron las fibras de a dos en proporciones iguales (1:1) y se evaluó el efecto de dicha combinación sobre todas las propiedades estudiadas.

### 3.2 Efecto de la combinación de fibras

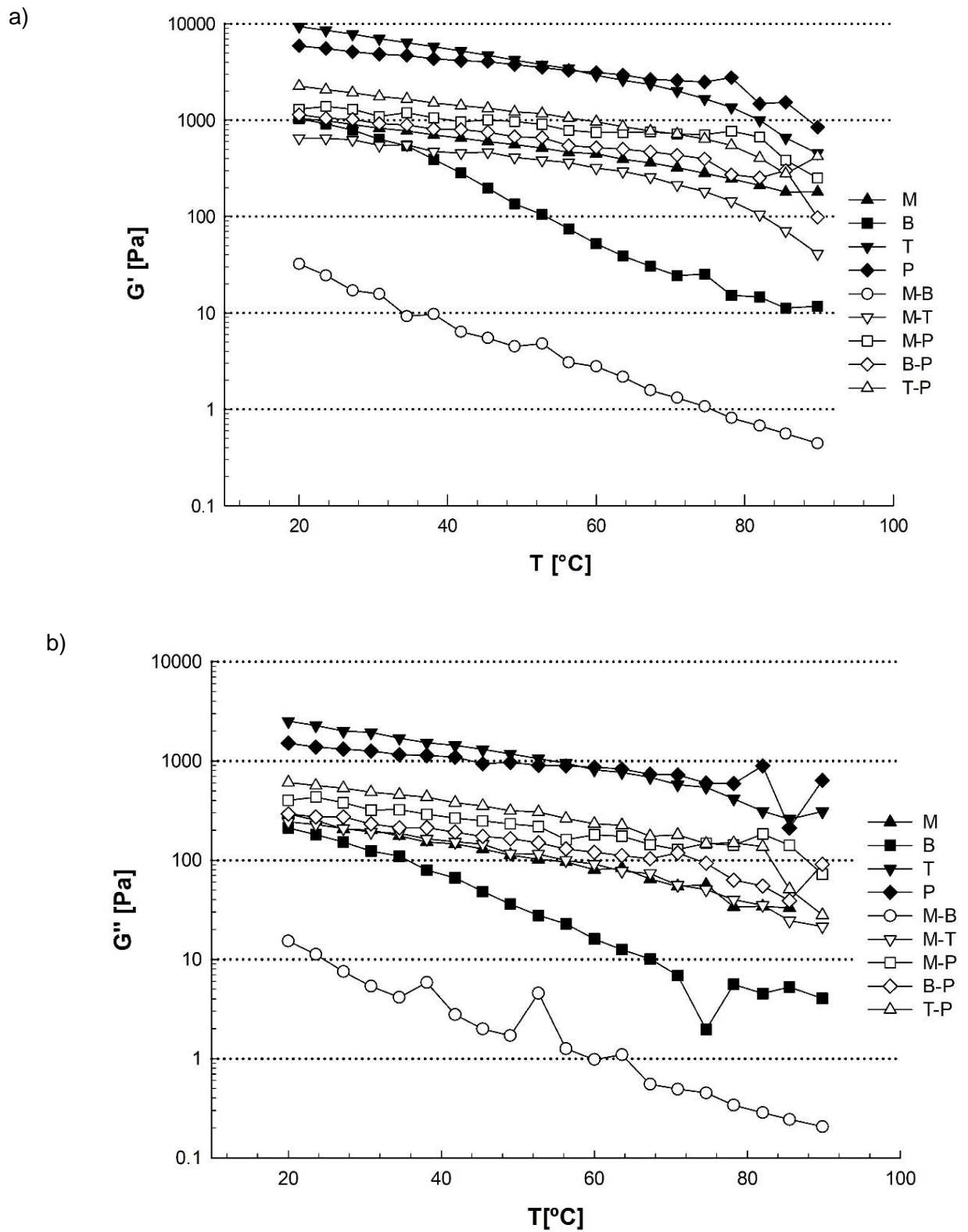
Los geles fueron adicionados con combinaciones de fibras en iguales proporciones (1:1), a saber: manzana-bambú (M-B); manzana-trigo (M-T); bambú-plántago (B-P); trigo- plántago (T-P) y manzana- plántago (M-P) y fueron comparados con los geles enriquecidos con una sola variedad de fibra.

#### 3.2.1 Propiedades reológicas

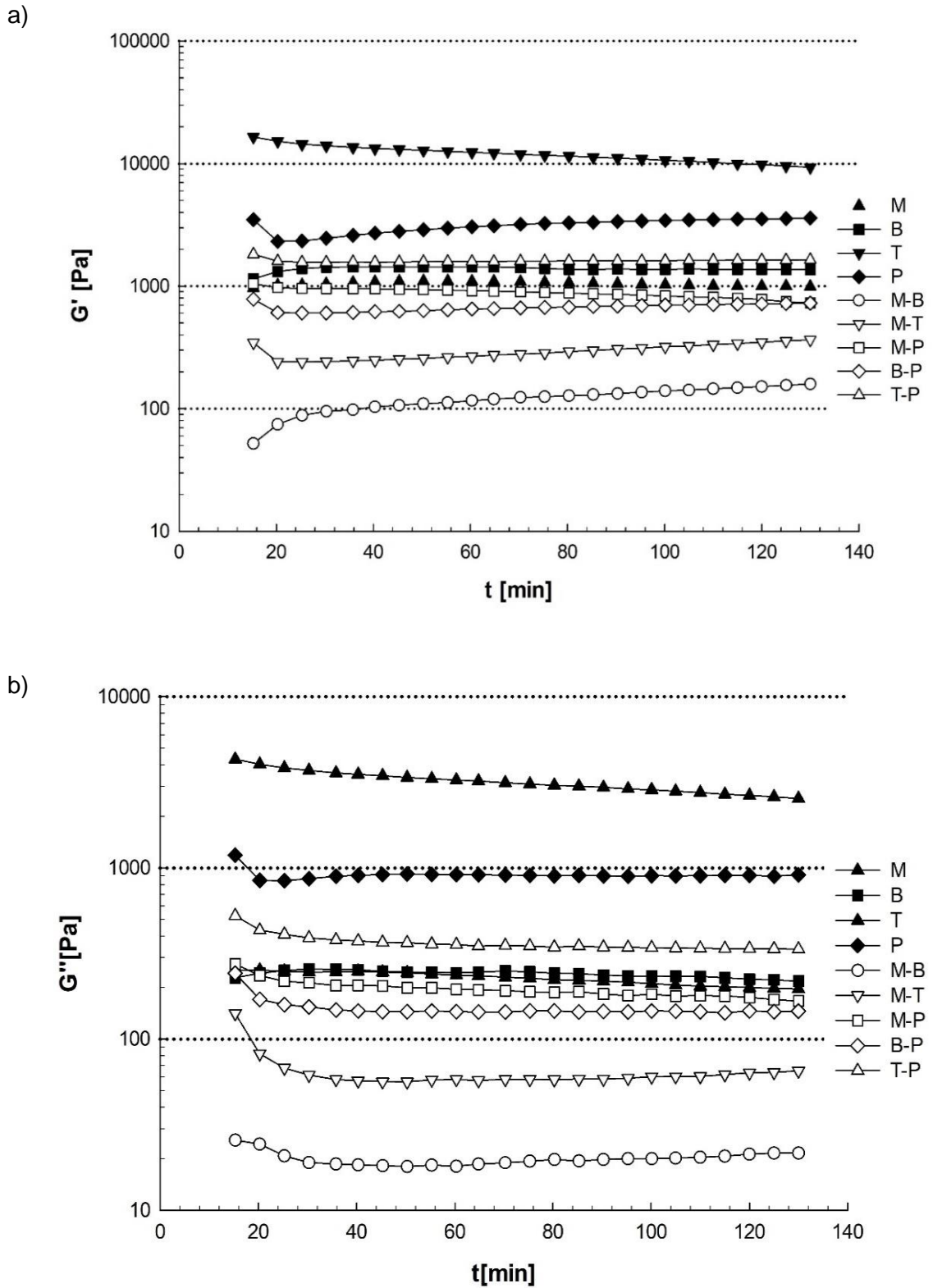
Como en los casos anteriores, durante las tres etapas del ensayo reológico (enfriamiento, curado y barrido de frecuencia), el módulo elástico ( $G'$ ) fue mayor que el módulo viscoso ( $G''$ ) para todas las muestras, lo que significa nuevamente que en todas las muestras predominó el carácter sólido.

En la **Figura 2.15 a y b** se puede observar cómo nuevamente  $G'$  Y  $G''$  aumentaron a medida que disminuyó la temperatura de 90 a 20° C, debido al proceso de gelificación de la dispersión.

En la **Figura 2.16 a y b** se observan las curvas de curado de todas las muestras. Analizando únicamente el comportamiento del módulo elástico ( $G'$ ), **Figura 2.16a** podemos observar que el gel con la mezcla de manzana-bambú (muestra M-B) fue el único que mostró un aumento de  $G'$  desde el principio, siguiendo el mismo comportamiento que los geles con un solo tipo de fibra (muestra M y B). Las muestras M-T, M-P, B-P y T-P mostraron una disminución inicial en  $G'$ , como en los casos de los geles con plántago y trigo únicamente (muestras P y T). Esto indica que las fibras de plántago y trigo dominaron la fase inicial de curado, cuando se las mezcló con otras fibras. La mayoría de los geles alcanzaron el equilibrio luego de las dos horas de curado, salvo la muestra M-P que continuó disminuyendo (lo que sugiere que la tensión de la red de pectinas todavía continuaba relajándose), y las muestras M-B y M-T que continuaron aumentando (lo que sugiere que la red de pectina aún continuaba reforzándose, ya sea por la formación adicional de zonas de unión o por la interacción positiva entre las cadenas de la pectina y la fibra).



**Figura 2.15.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$  durante el enfriamiento de 90 a 20°C de los geles con 0.5 g /100 g de pectina, control (C) sin fibra y los geles enriquecidos con las combinaciones de fibra dietaria (M-B, M-T, M-P, B-P y T-P).



**Figura 2.16.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$  durante el curado a  $20^{\circ}\text{C}$  de los geles con 0.5 g / 100 g de pectina, control (C) sin fibra y los geles enriquecidos con las combinaciones de fibra dietaria (M-B, M-T, M-P, B-P y T-P).

A fin de determinar si las combinaciones de fibras tuvieron un efecto significativo en las propiedades viscoelásticas de los geles y comparar todas las muestras, se promediaron los últimos 10 puntos de las curvas de curado y este resultado fue considerado como el valor de equilibrio (tanto de  $G'$  como de  $G''$ ). En este caso los valores de  $G'$  y  $G''$  obtenidos requerían una transformación del tipo logarítmica ( $\ln$ ). En la **Tabla 2.5** se muestran las medias correspondientes a los valores de  $G'$  y  $G''$  de equilibrio, obtenidos para los geles con mezclas de fibras, y se incluyen para una mejor comparación, los resultados anteriormente obtenidos para geles con un solo tipo de fibra. Con los valores de  $G'$  y  $G''$  se calculó además el módulo complejo,  $G^*$  (**Tabla 2.5**) de las muestras según la expresión:

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2} \quad (2.3)$$

**Tabla 2.5.** Módulos elástico ( $G'$ ), viscoso ( $G''$ ), complejo ( $G^*$ ) y valores predichos de este último ( $G^*_{c1}$  y  $G^*_{c2}$ ), de los geles con 0.5 g/ 100 g de pectina enriquecidos con fibra de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T) y sus combinaciones M-B, M-T, M-P, B-P, T-P.

Muestra	$G'$ (Pa)	$G''$ (Pa)	$G^*$ (Pa)	$G^*_{c1}$ (Pa)	$G^*_{c2}$ (Pa)
M	996 ± 304 <sup>b,c</sup>	197 ± 47 <sup>b,c</sup>	1015 ± 307	-	-
B	1370 ± 615 <sup>c,d</sup>	220 ± 72 <sup>b,c</sup>	1386 ± 618	-	-
P	3587 ± 958 <sup>d,e</sup>	903 ± 490 <sup>d,e</sup>	3707 ± 1035	-	-
T	9460 ± 1467 <sup>e</sup>	2570 ± 461 <sup>e</sup>	9803 ± 1537	-	-
M-B	157 ± 45 <sup>a</sup>	21.5 ± 5.9 <sup>a</sup>	159 ± 45	1200	1172
M-T	436 ± 51 <sup>a,b</sup>	78.7 ± 19.3 <sup>b</sup>	443 ± 51	5409	1840
M-P	737 ± 405 <sup>b,c</sup>	168 ± 119 <sup>b,c</sup>	757 ± 422	2361	1594
B-P	724 ± 340 <sup>b,c</sup>	144 ± 70 <sup>b,c</sup>	740 ± 345	2547	2018
T-P	1642 ± 553 <sup>c,d</sup>	336 ± 128 <sup>c,d</sup>	1676 ± 566	6755	5380

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

A partir de los resultados de la **Tabla 2.5** se encontró que la combinación de fibras tuvo efecto significativo sobre las propiedades viscoelásticas,  $G'$  y  $G''$ . Comparando los geles adicionados con una mezcla de fibras con aquellos que contenían un solo tipo de fibra se pudo observar: a) que la mezcla M-B fue significativamente inferior a las muestras M y B, indicando que la interacción entre las fibras de manzana y bambú fue negativa para la red de pectina y la estructura del gel; b) que las mezclas M-T y M-P no presentaron diferencias significativas con los geles que contenían fibra de manzana únicamente (muestra M), pero fueron significativamente más bajas que los geles con

fibra de trigo y plántago únicamente (muestras T y P, respectivamente), indicando que la fibra de manzana dominó las propiedades viscoelásticas de los geles cuando se los mezcló con trigo y plántago; c) que la mezcla T-P no presentó diferencias significativas con los geles que tenían fibra de plántago únicamente (muestra P), pero sí fueron significativamente menores a los geles que contenían fibra de trigo (muestra T), indicando que la fibra de plántago dominó las propiedades viscoelásticas cuando se la mezcló con fibra de trigo, y d) que la mezcla B-P no presentó diferencias significativas con los geles que contenían solo fibra de bambú (muestra B), pero sí fueron significativamente más bajas que los geles que contenían solo fibra de plántago (muestra P), indicando que la fibra de bambú dominó las propiedades viscoelásticas cuando se la mezcló con fibra de plántago.

Dado que las muestras M y B son las que tuvieron mayor proporción de fibra dietaria soluble FDS (**Tabla 2.1**) parecería que el efecto de FDS sobre la gelificación de la pectina prevaleció sobre el efecto de relleno de la fibra dietaria insoluble FDI, que predominó en las muestras P y T. Finalmente cuando se mezclaron las fibras que dieron los geles más débiles (M y B) el gel resultante fue incluso más débil. Cuando las fibras que dieron los geles más fuertes (P y T) se mezclaron, el de la fibra con el menor efecto reforzante prevaleció (P). Esto fue atribuido a una interacción negativa entre las fibras, probablemente debido a una competencia por el agua disponible.

. Es de esperar que, si dos sustancias puras se mezclan, el compuesto resultante tendrá propiedades intermedias. La regla de mezclado de Takayanagi provee expresiones para estimar el módulo de corte de compuestos poliméricos de dos componentes (Rao, 2007). En este trabajo adaptamos este modelo para calcular el límite superior,  $G_{C1}^*$  (también llamado de iso-deformación o iso-strain, Ec. (2.4)) e inferior,  $G_{C2}^*$  (también llamado de iso-esfuerzo o iso-stress, Ec. (2.5)) del módulo complejo de los geles con mezclas de fibras a partir de las siguientes expresiones:

$$G_{C1}^* = x \cdot G_x^* + y \cdot G_y^* \quad (2.4)$$

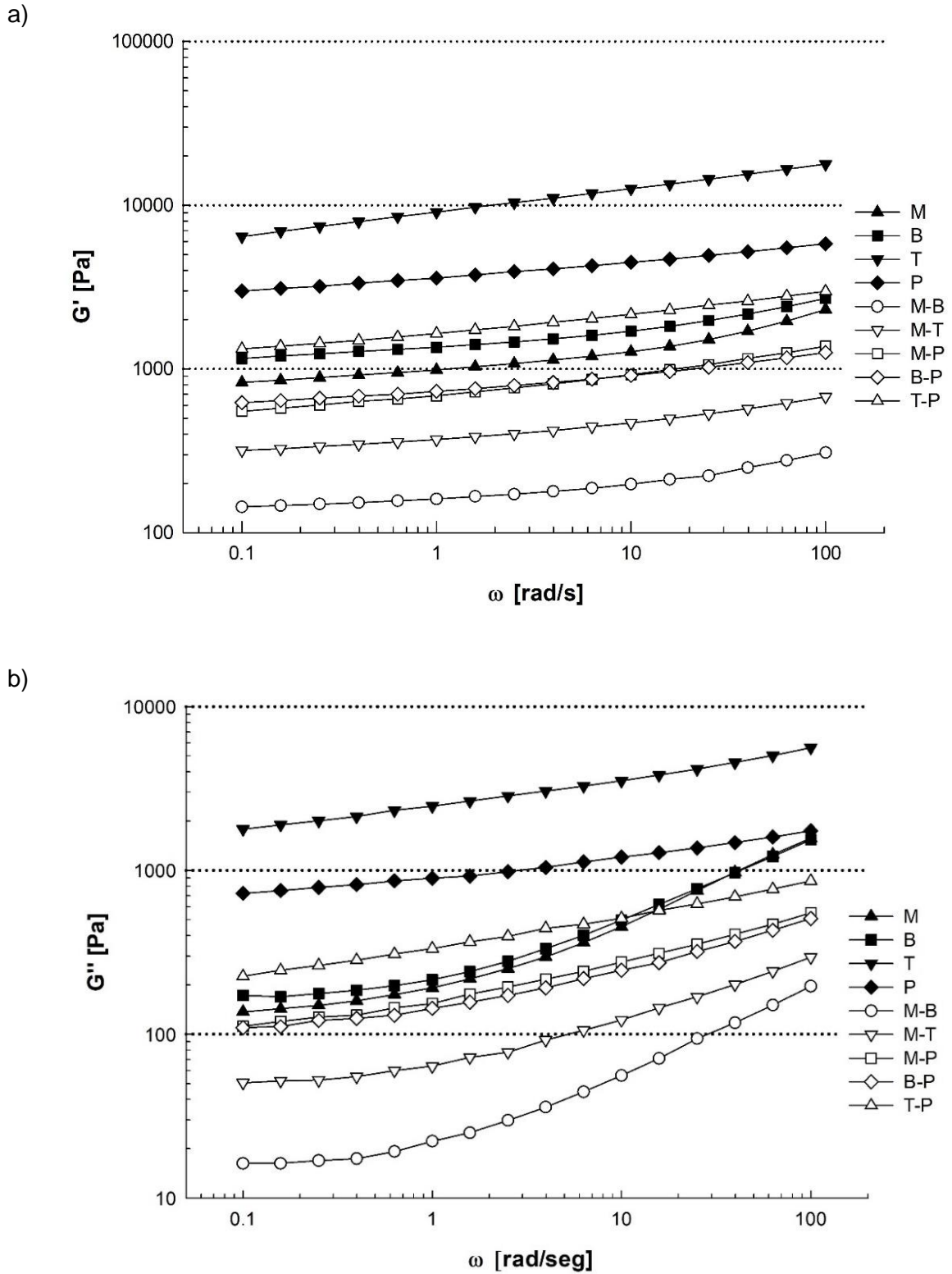


$$G_{C2}^* = \left( \frac{x}{G_x^*} + \frac{y}{G_y^*} \right)^{-1} \quad (2.5)$$

Donde  $G_x^*$  y  $G_y^*$  corresponden a los módulos complejos experimentales de los geles adicionados con las fibras puras, y  $x$  e  $y$  son las fracciones másicas de cada variedad de fibra en la mezcla (en este caso 0.5 y 0.5, respectivamente).

Al comparar los valores del módulo complejo de los geles enriquecidos con dos variedades de fibra (**Tabla 2.5**), se puede observar que los valores experimentales ( $G^*$ ) fueron mucho menores que los predichos ( $G_{c1}^*$  y  $G_{c2}^*$ ). Esta desviación negativa podría deberse a un cambio en la concentración “efectiva” de fibra, es decir, al mezclar las fibras estas pueden aglomerarse, romperse, o una de ellas puede influir en mayor medida en el entorno de la otra, por ejemplo, por una competencia del agua disponible, lo que afectaría el comportamiento de la mezcla resultante. Además, se debe tener en cuenta que las muestras preparadas con combinaciones de fibra fueron elaboradas *a posteriori* que aquellas con una sola variedad, lo que podría haber afectado (disminuido) el poder gelificante de la pectina.

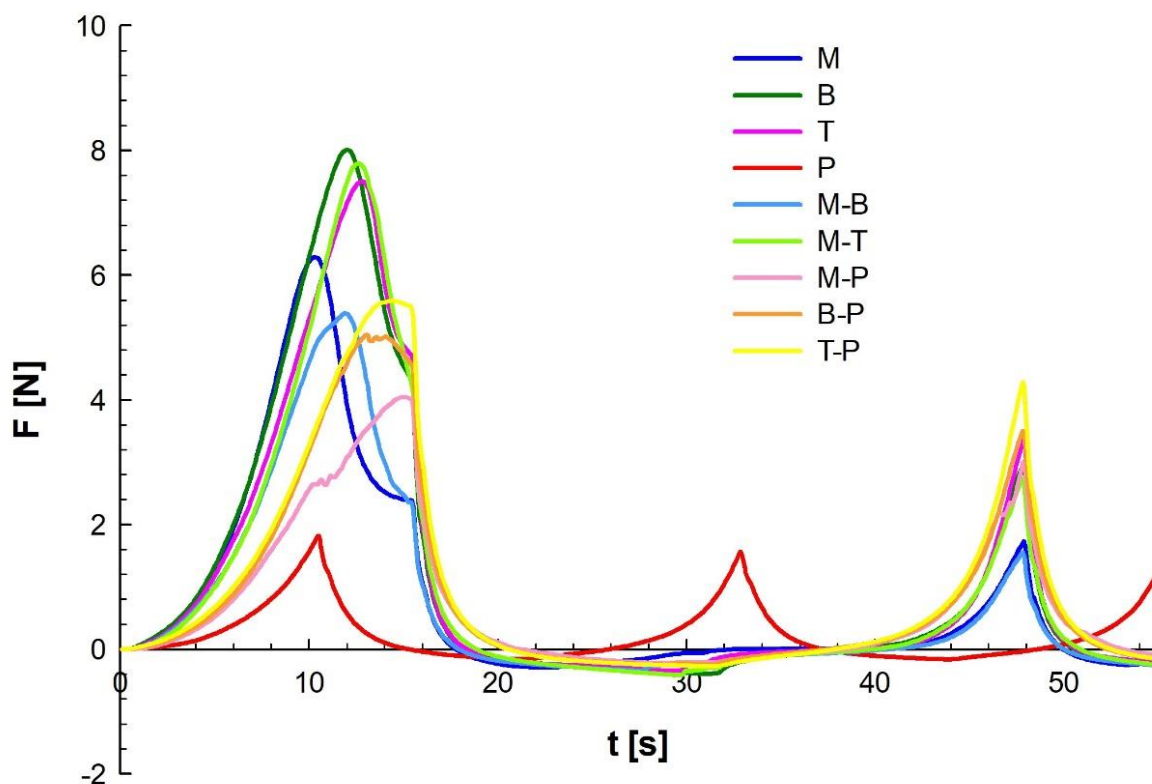
El comportamiento de  $G'$  Y  $G''$  observado en los geles enriquecidos con combinaciones de fibras durante el barrido de frecuencia (**Figura 2.17**), fue similar al observado en la sección anterior, es decir, se encontró una marcada dependencia de las propiedades viscoelásticas  $G'$  y  $G''$  con la frecuencia, lo cual indica un comportamiento típico de gel débil.



**Figura 2.17** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$  durante el barrido de frecuencia de los geles con 0.5g/100g de pectina enriquecidos con fibra de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T) y sus combinaciones M-B, M-T, M-P, B-P, T-P.

### 3.2.2 Propiedades mecánicas

En la **Figura 2.18** podemos ver las gráficas de Fuerza vs Tiempo obtenidas para los geles adicionados con mezclas de fibras en comparación con los geles adicionados con un solo tipo de fibra. A partir de estas curvas se obtuvieron las propiedades mecánicas de los geles, cuyas medias para cada muestra se listan en la **Tabla 2.6**, junto con los resultados de las comparaciones. En este caso solo algunos parámetros de textura requerían de una transformación, a saber: Cohesividad y Gomosidad del tipo logarítmica ( $\ln$ ), y Resortividad del tipo inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\cdot}$ ).



**Figura 2.18.** Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidas durante los dos ciclos de compresión de los geles con 0.5g/100g de pectina enriquecidos con fibra de manzana (M), bambú (B), plátano (P) y trigo (T) y sus combinaciones M-B, M-T, M-P, B-P, T-P.

**Tabla 2.6.** Parámetros mecánicos del test APT para los geles con 0.5 g/ 100 g de pectina enriquecidos con fibra de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T) y sus combinaciones M-B, M-T, M-P, B-P, T-P.

<b>Muestra</b>	<b>Dureza (N)</b>	<b>Fracturabilidad (N)</b>	<b>Cohesividad (-)</b>	<b>Gomosidad (N)</b>	<b>Adhesividad (N.s)</b>	<b>Resortividad (-)</b>
M	6.43 ± 1.15 <sup>b</sup>	2.41 ± 0.46 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.16 <sup>a,b</sup>	-2.47 ± 0.36 <sup>c,d</sup>	1.44 ± 0.30 <sup>a</sup>
B	8.16 ± 1.20 <sup>b</sup>	4.50 ± 0.06 <sup>b,c</sup>	0.13 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.16 <sup>a,b,c</sup>	-4.71 ± 0.52 <sup>a</sup>	0.73 ± 0.04 <sup>b</sup>
P	1.82 ± 0.93 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00	0.68 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.25 ± 0.65 <sup>a,b,c</sup>	-1.06 ± 0.30 <sup>d</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>b</sup>
T	7.81 ± 0.26 <sup>b</sup>	4.34 ± 0.06 <sup>b,c</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.01 <sup>a,b,c</sup>	-3.78 ± 1.01 <sup>a,b,c</sup>	0.79 ± 0.09 <sup>b</sup>
M-B	5.87 ± 1.34 <sup>a,b</sup>	2.34 ± 0.55 <sup>b</sup>	0.10 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.25 <sup>a</sup>	-4.28 ± 0.57 <sup>a,b</sup>	0.57 ± 0.11 <sup>b</sup>
M-T	7.92 ± 0.76 <sup>b</sup>	4.67 ± 1.12 <sup>c</sup>	0.15 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.19 ± 0.15 <sup>a,b,c</sup>	-4.41 ± 0.30 <sup>a,b</sup>	0.61 ± 0.01 <sup>b</sup>
M-P	4.13 ± 2.61 <sup>a,b</sup>	2.83 ± 1.16 <sup>b,c</sup>	0.34 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.89 ± 1.36 <sup>a,b,c</sup>	-2.51 ± 0.57 <sup>c,d</sup>	0.58 ± 0.12 <sup>b</sup>
B-P	5.12 ± 1.76 <sup>a,b</sup>	4.37 ± 1.27 <sup>b,c</sup>	0.32 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.62 ± 0.52 <sup>b,c</sup>	-2.67 ± 0.29 <sup>c</sup>	0.75 ± 0.04 <sup>b</sup>
T-P	5.62 ± 1.47 <sup>a,b</sup>	0.00 ± 0.00	0.33 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.90 ± 0.62 <sup>c</sup>	-3.04 ± 0.62 <sup>b,c</sup>	0.69 ± 0.05 <sup>b</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

De la **Tabla 2.6** podemos observar que el efecto de las combinaciones no siguió una única tendencia sobre los parámetros de textura analizados: 1) La mezcla MB presentó diferencias significativas solo en dos parámetros Adhesividad (aumento) y Resortividad (disminución), ambos en comparación con M; 2) La muestra MT presentó diferencias significativas en la Fracturabilidad (aumento), Adhesividad (aumento en valor absoluto) y Resortividad (disminución), con respecto a M únicamente; 3) la mezcla MP presentó diferencias significativas en la Dureza (aumento), Fracturabilidad (aumento) y Cohesividad (disminución) respecto de P, y en la Cohesividad (aumento) y la Resortividad (disminución) respecto de M; 4) la mezcla BP mostró un aumento significativo en la Fracturabilidad y de la Adhesividad (en valor absoluto) y una disminución significativa de la Cohesividad respecto de P, y con respecto a B solo mostró efecto significativo en la Cohesividad (aumento) y en la Adhesividad (disminución en valor absoluto). Por último, la mezcla TP presentó solo diferencias significativas con P en la Cohesividad (disminución), mientras con T presentó diferencias en la Fracturabilidad (disminución) y en la Cohesividad (aumento).

Según estos resultados se podría decir que cuando se mezcló la fibra de manzana con bambú o trigo, las propiedades mecánicas del gel estuvieron dominadas por la otra fibra (B o T, respectivamente), lo que podría deberse a que la fibra de manzana tiene una menor fracción insoluble (FDI). De la misma manera, cuando la fibra de plántago se mezcló con las otras fibras, ninguna de las fibras dominó las propiedades mecánicas del gel, sino que éstas fueron intermedias a los geles con un solo tipo de fibra.

El resultado más relevante (y significativo) que debemos mencionar es que si comparamos el gel enriquecido con plántago únicamente (muestra P) y los enriquecidos con plántago y otra fibra (muestras M-P, B-P y T-P), se observó una disminución de la cohesividad (cuando se lo mezcló con manzana, bambú o trigo), un aumento de la fracturabilidad (cuando se lo mezcló con manzana y bambú), y un aumento de la dureza (cuando se mezcló con manzana). Estas propiedades fueron las que anteriormente se

relacionaron con el “aspecto gomoso” de los geles con plántago, por lo tanto a partir de la combinación de las fibras los resultados indican una posible mejoría al inconveniente que generaba usar fibra de plántago únicamente.

### 3.2.3 Sinéresis

Los resultados de los geles enriquecidos con un solo tipo de fibra y con las combinaciones de fibras se muestran en la **Tabla 2.7**. El análisis estadístico indicó que los datos de sinéresis no requerían de ninguna transformación y que la combinación de fibras tuvo efecto significativo sobre la sinéresis de los geles.

**Tabla 2.7.** Sinéresis ( g de agua / 100 g de gel) y parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) para los geles con 0.5 g/ 100 g de pectina enriquecidos con fibra de manzana (M), bambú (B), plántago (P) y trigo (T) y sus combinaciones M-B, M-T, M-P, B-P, T-P.

Muestra	Sinéresis (g / 100 g)	Color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
M	5.99 ± 0.81 <sup>b</sup>	12.7 ± 0.6 <sup>a</sup>	14.2 ± 0.7 <sup>e</sup>	14.6 ± 0.6 <sup>e</sup>
B	7.43 ± 0.39 <sup>b</sup>	46.5 ± 0.6 <sup>f</sup>	-1.07 ± 0.12 <sup>a</sup>	11.6 ± 0.4 <sup>d</sup>
P	0.00 ± 0.00	37.7 ± 0.8 <sup>d</sup>	3.58 ± 0.44 <sup>c</sup>	20.1 ± 0.13 <sup>f</sup>
T	6.67 ± 0.38 <sup>b</sup>	42.4 ± 0.8 <sup>e</sup>	-0.71 ± 0.04 <sup>a</sup>	12.2 ± 0.8 <sup>d</sup>
M-B	13.21 ± 1.33 <sup>c</sup>	17.9 ± 0.3 <sup>b</sup>	8.99 ± 0.32 <sup>d</sup>	8.90 ± 0.35 <sup>a,b,c</sup>
M-T	16.76 ± 0.46 <sup>d</sup>	17.2 ± 0.4 <sup>b</sup>	8.88 ± 0.29 <sup>d</sup>	8.31 ± 0.18 <sup>a,b</sup>
M-P	0.00 ± 0.00	17.3 ± 0.09 <sup>b</sup>	9.81 ± 0.77 <sup>d</sup>	8.09 ± 0.74 <sup>a</sup>
B-P	0.00 ± 0.00	32.6 ± 0.25 <sup>c</sup>	1.68 ± 0.11 <sup>b</sup>	10.0 ± 0.21 <sup>c</sup>
T-P	0.00 ± 0.00	32.5 ± 0.8 <sup>c</sup>	1.51 ± 0.27 <sup>b</sup>	9.54 ± 0.43 <sup>b,c</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Probablemente el resultado más significativo de esta sección fue que los geles enriquecidos con plántago en combinación con otra fibra (muestras M-P, B-P y T-P) no presentaron sinéresis, como lo fue en el caso de los geles con plántago únicamente (muestra P). A diferencia de esto, los geles enriquecidos con mezclas de manzana – bambú (muestra M-B) y manzana – trigo (muestra M-T) presentaron una sinéresis significativamente mayor comparados con los geles con esas fibras solamente (muestras M, B y T), e incluso mayor al 10 g / 100 g propuesto como límite de aceptabilidad en este trabajo.

En conclusión, cualquiera de las fibras estudiadas (manzana, bambú y trigo) podrían ser combinadas con plántago con el objetivo de reducir la sinéresis de los geles, incluso eliminándola cuando se las mezcla en iguales proporciones.

#### 3.2.4 Color

Los resultados de color de los geles enriquecidos con un solo tipo de fibra y con combinaciones de las mismas se muestra en la **Tabla 2.7**. En este caso solo los valores de  $a^*$  necesitaban de una transformación del tipo raíz cuadrada ( $\sqrt{\phantom{x}}$ ). La combinación de fibras tuvo efecto significativo sobre los 3 parámetros de color. Se puede observar que los geles con mezclas M-B, M-T y M-P mostraron el mismo efecto significativo, a saber: los valores más altos de  $L^*$  (geles menos oscuros) y los valores más bajos de  $a^*$  y  $b^*$  (geles menos rojo- amarillentos) comparados con los geles con manzana únicamente (muestra M), mientras que cuando se compararon los geles con bambú, trigo y plántago únicamente (muestras B, T y P) las mezclas resultaron tener un valor de  $L^*$  y  $b^*$  más bajo (geles más oscuros y menos amarillentos, respectivamente) y los valores más altos de  $a^*$  (geles más rojizos). Finalmente, los geles con las mezclas B-P y W-P presentaron valores de  $L^*$  y  $b^*$  significativamente más bajos (geles más oscuros y menos amarillentos) que aquellos con plántago, bambú y trigo únicamente (muestras P, B y T),

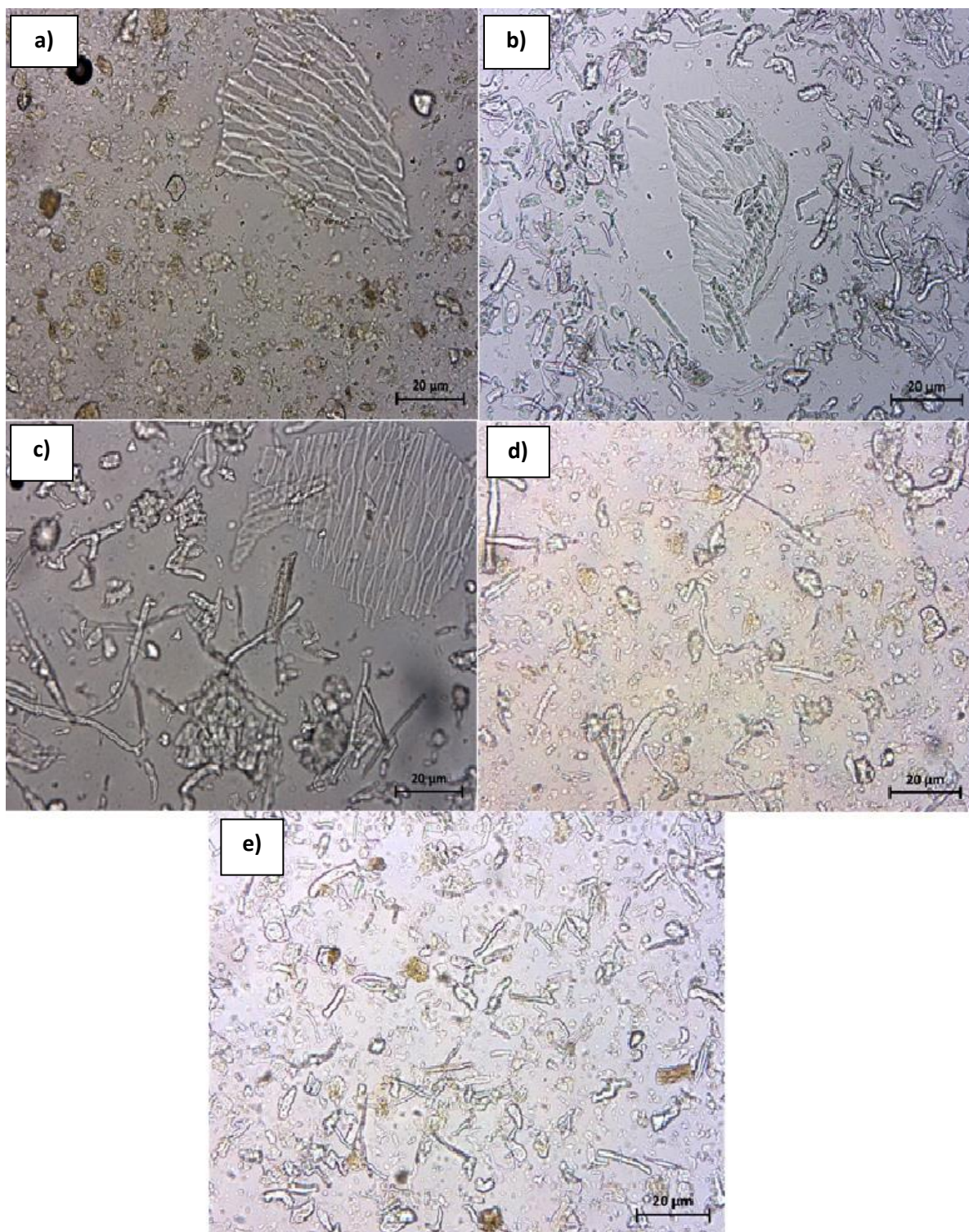
mientras los valores de  $a^*$  fueron significativamente más bajos (geles más verdosos) que los de la muestra P y más altos (geles más rojizos) que los de las muestras B y T.

La conclusión más importante de estos resultados es que la combinación de fibras resultó ser una opción viable para obtener geles menos oscuros que aquellos enriquecidos con manzana únicamente, el cual fue uno de los objetivos de combinarlas.

### **3.2.5** Microestructura de las mezclas

En la **Figura 2.19** se puede ver cómo las partículas de las distintas combinaciones de fibras se distribuyeron en la matriz del gel. En todos los casos, aún al combinar las fibras se observaron claramente las características morfológicas de cada tipo de fibra (descriptas anteriormente en la Sección 3.1.5).





**Figura 2.19.** Micrografías de los geles adicionados con combinaciones de fibra

a) M-P; b) B-P; c) T-P; d) M-B y e) M-T.

#### **4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

A partir de los resultados obtenidos hasta el momento es posible afirmar que, a diferencia de los dulces de fruta comerciales, los geles enriquecidos con fibras dietarias pueden garantizar una concentración de fibra  $\geq 3$  g/100g, y por lo tanto estarían marcando la base para la elaboración de un producto análogo a los dulces de fruta, que puede ser declarado “fuente de fibra”. Además, la posibilidad de usar fibras que no son de origen frutícola permite incrementar la fracción insoluble de fibra en el producto final.

Las propiedades viscoelásticas aumentaron con el aumento de la fracción másica de pectina y con la adición de fibra dietaria. El efecto de estos factores sobre las propiedades mecánicas dependió del tipo de fibra utilizada. La sinéresis disminuyó con el aumento de la pectina, mientras que el efecto del agregado de fibra provocó cambios en la sinéresis que dependieron del tipo de fibra.

Los geles con fibra de plántago no presentaron sinéresis, pero tenían un aspecto gomoso. Esta característica parece estar asociada a tres propiedades mecánicas: falta de fracturabilidad, alta cohesividad y baja dureza. Por otro lado, los geles con fibra de manzana fueron muy oscuros, mientras que los geles con trigo o bambú provocaban una sensación harinosa al paladar. Estas propiedades organolépticas, que no serían deseables en un dulce de frutas, fueron mejoradas mezclando las fibras en proporción 1:1. Esto provocó una reducción en las propiedades viscoelásticas, la cual no fue significativa en la mayoría de los casos. Particularmente los resultados más favorables fueron obtenidos cuando se mezcló la fibra de plántago con otra fibra, ya sea manzana, trigo o bambú, ya que esta mezcla revirtió las propiedades mecánicas del gel en comparación con el gel que contenía plántago únicamente (gel menos “gomoso”), manteniendo la sinéresis en 0 g / 100 g.

A partir de todos los resultados recopilados hasta el momento, se podría decir que los geles con 0.5 g de pectina por cada 100 g, enriquecidos con combinaciones de fibra

de plántago y otra fibra (muestras M-P, B-P y T-P) parecerían ser los más recomendables para la elaboración de un producto análogo a un dulce de fruta.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Abid, M., Cheikhrouhou, S., Renard, C. M., Bureau, S., Cuvelier, G., Attia, H., y Ayadi, M. A. (2017). Characterization of pectins extracted from pomegranate peel and their gelling properties. *Food Chem*, 215,318-325.

Akalln, A. S., Kesekas, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., y Kinik, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability. *J Dairy Sci*, 101(1),37-46.

Anónimo. (2018a). ¿Qué es la pectina? : SilvaTEAM. Disponible en:

<https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina/qu-es-la-pectina.html>

Anónimo. (2018b). Jams and other fruit spreads: Herbstreith & Fox. Disponible en:

<http://www.herbstreith-fox.de/index.php?id=54&L=1>

Código Alimentario Argentino. (2010). *Capítulo X: Alimentos azucarados*. Buenos Aires, Argentina: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Disponible en:

[http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo\\_X.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo_X.pdf)

Código Alimentario Argentino. (2017). *Capítulo XVII: Alimentos de régimen o dietéticos*. Buenos Aires, Argentina: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Disponible en:

[http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO\\_XVII.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XVII.pdf)

Axelos, M. A. V., y Thibault, J. F. (1991). The chemistry of low-Methoxyl pectin gelation. In R. H. Walter (Ed.), *The chemistry and technology of pectin* (pp. 109-118). San Diego: Academic Press.

Banerjee, S., y Bhattacharya, S. (2012). Food gels: gelling process and new applications. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 52(4),334-346.

- Basu, S., y Shivhare, U. S. (2010). Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 100(2),357-365.
- Bourne M. C. (2002). Principles of objective texture measurement. In Taylor S. L. (Ed.), *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (pp. 182-186). San Diego, USA: Academic Press.
- Braconnot, H. (1825a). Nouvelles observations sur l'acide pectique. *Annales De Chimie Et De Physique*, 30,96-102.
- Braconnot, H. (1825b). Recherches sur un nouvel acide universellement répandu dans tous les végétaux. *Annales De Chimie Et De Physique*, 28(2),173-178.
- Brejnholt S. M. (2009). Pectin. In Imeson A. (Ed.), *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents* (pp. 237-262). Singapore: Wiley - Blackwell.
- Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., y Loh, X. J. (2017). Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydr Polym*, 161,118-139.
- Ciriminna, R., Chavarría-Hernández, N., Inés Rodríguez Hernández, A., y Pagliaro, M. (2015). Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 9(4),368-377.
- Codex Alimentarius. (2005). General standards for food additives, codex stan 1992-1995 *Pectin* (pp. 169). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Dille, M. J., Draget, K. I., y Hattrem, M. N. (2015). The effect of filler particles on the texture of food gels. In Chen J. y Rosenthal A. (Eds.), *Modifying Food Texture* (pp. 183-200): Woodhead Publishing.
- Einhorn-Stoll, U. (2017). Pectin-water interactions in foods – From powder to gel. *Food Hydrocolloids*, 78,109-119.
- Flory, P. J. (1953). *New approaches to investigation of fruit gels in gums and stabilizers for the food industry*. London: Elsevier Applied Science Publishers.

- Garrido, J. I., Lozano, J. E., y Genovese, D. B. (2015). Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1),325-332.
- Genovese D. B. (2012). Shear rheology of hard-sphere, dispersed, and aggregated suspensions, and filler-matrix composites. *Adv Colloid Interface Sci*, 171-172,1-16.
- Genovese D. B., Ye A., y Singh H. (2010). High methoxyl pectin/apple particles composite gels: effect of particle size and particle concentration on mechanical properties and gel structure. *Journal of texture studies*, 41(2),171-179.
- Günter, E. A., y Popeyko, O. V. (2016). Calcium pectinate gel beads obtained from callus cultures pectins as promising systems for colon-targeted drug delivery. *Carbohydr Polym*, 147,490-499.
- Harris P. (1990). *Food Gels*. London: Elsevier Science Publishers LTD.
- Hermans P.H. (1949). Gels. In H. R. Kruyt (Ed.), *Colloids Science* (Vol. 2, pp. 483-651). Amsterdam: Elsevier Publishing.
- Ho Y. Y., Lin C. M. y Wu M. C. (2017). Evaluation of the prebiotic effects of citrus pectin hydrolalysate. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3), 550-558.
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., y Senge, B. (2012). Structure formation in sugar containing pectin gels – Influence of Ca<sup>2+</sup> on the gelation of low-methoxylated pectin at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 27(1),42-49.
- Kastner, H., Kern, K., Wilde, R., Berthold, A., Einhorn-Stoll, U., y Drusch, S. (2014). Structure formation in sugar containing pectin gels - influence of tartaric acid content (pH) and cooling rate on the gelation of high-methoxylated pectin. *Food Chem*, 144,44-49.
- Loh, X., Gan, H., Wang, H., Tan, S., Neoh, K., Jean Tan, S., Diong, H., Kim, J., Sharon Lee, W., Fang, X., Cally, O., Yap, S., Liong, K. y Chan, K. (2013). New thermogelling poly(ether carbonate urethane)s based on pluronics F127 and poly

- (polytetrahydrofuran carbonate). *Journal of Applied Polymer Science*, 131(5),n-a/n/a.
- Lopes da Silva J. A., Gonçalves M. P., y Rao M. A. (1995). Kinetics and thermal behaviour of the structure formation process in HMP/sucrose gelation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 17(1),25-32.
- Lopes da Silva J. A., y Rao M. A. (2007). Rheological behavior of food gels systems. In Barbosa-Cánovas G.V. (Ed.), *Rheology of fluid and semisolids foods. Food Engineering Series* (pp. 339-401). Boston, MA, USA: Springer.
- Lupi, F. R., Gabriele, D., Seta, L., Baldino, N., de Cindio, B., y Marino, R. (2014). Rheological investigation of pectin-based emulsion gels for pharmaceutical and cosmetic uses. *Rheologica Acta*, 54(1),41-52.
- Müller-Maatsch, J., Caligiani, A., Tedeschi, T., Elst, K., y Sforza, S. (2014). Simple and validated quantitative (1)H NMR method for the determination of methylation, acetylation, and feruloylation degree of pectin. *J Agric Food Chem*, 62(37),9081-9087.
- Nakamura, A., Yoshida, R., Maeda, H., y Corredig, M. (2006). The stabilizing behaviour of soybean soluble polysaccharide and pectin in acidified milk beverages. *International Dairy Journal*, 16(4),361-369.
- Nam Nguyen, V. P., Kuo, N., y Loh, X. J. (2011). New biocompatible thermogelling copolymers containing ethylene-butylene segments exhibiting very low gelation concentrations. *Soft Matter*, 7(5),2150-2159.
- Oakenfull D., y Scott A. (1984). Hydrophobic Interaction in the Gelation of High Methoxyl Pectins. *Journal of Food Science*, 49(4),1093-1098.
- Rao M. A. (2007).Flow and funtional models for rheological properties of fluid food. In Barbosa-Cánovas G.V. (Ed.), *Rheology of fluid and semisolids foods. Food Engineering Series* (pp. 25-58). Boston, MA, USA: Springer.

- Rojas, J. A., Rosell, C. M., y Benedito de Barber, C. (1999). Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*, 13(1),27-33.
- Rosell, C. M., Santos, E., y Collar, C. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: A comparative approach. *Food Research International*, 42(1),176-184.
- Shi, X., y BeMiller, J. N. (2002). Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydr Polym*, 50(1),7-18.
- Soukoulis, C., Lebesi, D., y Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chem*, 115(2),665-671.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., y Handa, A. K. (1997). Chemistry and uses of pectin: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 37(1),47-73.
- Thibault, J.F., y Ralet, M.C. (2003). Physico-chemical properties of pectins in the cell walls and after extraction. In H. S. F. Voragen y R. Visser (Eds.), *Advances in pectin and pectinase research* (pp. 91-105). Netherlands, Dordrecht: Springer.
- van Vliet, T. (1988). Rheological properties of filled gels. Influence of filler matrix interaction. *Colloid and polymer science*, 266(6),518-524.
- van Vliet, T., y Walstra, P. (1995). Large deformation and fracture behaviour of gels. *Faraday Discussions*, 101,359.
- Vauquelin, M. (1790). Analyse du tamarin. *Annales de Chimie*, 5, 92-106.
- Visser J., y Voragen A. G. (1996). *Pectins and Pectinases* (Vol. 14). Netherlands: Elsevier Publishing Company.
- Voragen, A. G. J., Coenen, G.J., Verhoef, R. P., y Schols, H. A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*, 20(2),263-275.
- Zulueta, A., Esteve, M. J., Frasquet, I., y Frígola, A. (2007). Vitamin C, vitamin A, phenolic compounds and total antioxidant capacity of new fruit juice and skim milk mixture beverages marketed in Spain. *Food Chem*, 103(4),1365-1374.

# **CAPÍTULO 3**

*Elaboración de jaleas  
frutales enriquecidas con  
fibra dietaria de diversos  
orígenes*



## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Alimentos funcionales**

La definición de alimentos funcionales todavía no cuenta con un consenso total entre los especialistas, ni es plenamente coincidente en los distintos marcos normativos. En general se considera que un alimento es funcional o producto de diseño cuando pruebas científicas avalan que su consumo frecuente previene o resuelve determinados problemas de salud (Ashwell, 2004). El concepto de alimento funcional surgió en Japón y ha sido posteriormente ampliado en los Estados Unidos y en Europa. Expresa implícitamente que los alimentos y los componentes alimentarios pueden ejercer una influencia beneficiosa sobre las funciones fisiológicas al mejorar el estado de bienestar y salud, y reducir el riesgo de enfermedad (Verschuren, 2002).

La idea ampliamente aceptada, de que una alimentación saludable es parte fundamental en la prevención de muchas enfermedades, incentiva las demandas de los consumidores por alimentos más “sanos”, por lo que la industria desarrolla constantemente nuevos productos con características que exceden lo puramente nutritivo y los relacionan directamente con la salud humana (Pickford y Jardine, 2000; Mattila-Sandholm y Saarela, 2000; de Deckere y Verschuren, 2000; Guillon et al., 2011). Son ejemplo de estos desarrollos la creciente oferta de productos fortificados o enriquecidos, así como la de alimentos libres de algún componente considerado nocivo.

Los productos de diseño más difundidos basan su funcionalidad en los siguientes componentes (Alderete, 2013):

- ♣ Los fitoquímicos. Esta categoría incluye una amplia gama de sustancias de origen vegetal tales como los polifenoles, los carotenoides, los flavonoides, las antocianinas y los taninos. Actualmente se sabe que algunas de esas sustancias facilitan la eliminación y la desintoxicación de cancerígenos presentes en el organismo, modulando la acción de ciertas enzimas.

- ♣ Los fitoestrógenos. Son moléculas de origen vegetal con una estructura química similar a los estrógenos. Se les atribuyen acciones favorables para órganos como las mamas y la próstata, para el tejido óseo, y cualidades que mejoran la sintomatología asociada a la menopausia y tienen efectos positivos en el sistema cardiovascular. Los fitoestrógenos más estudiados son las isoflavonas y los lignanos. La principal fuente de isoflavonas son la soja y sus derivados, y en menor proporción, lentejas y arvejas. Los lignanos se encuentran fundamentalmente en las semillas de lino, y en cantidad más exigua en los cereales integrales, leguminosas y vegetales.
- ♣ La fibra dietética corresponde a aquellas sustancias de origen vegetal no digeridas por las enzimas humanas y que son parcialmente fermentadas por bacterias en el colon, como se describe detalladamente en el Capítulo 1. Estos compuestos se clasifican en fibra soluble e insoluble. Las fibras solubles e insolubles se encuentran en cantidades variables en los alimentos, pero en términos generales la insoluble predomina en los cereales enteros, y la soluble en frutas, vegetales y tubérculos.
- ♣ Los ácidos grasos poliinsaturados tipo omega 3, presentes principalmente en aceites de pescado azul, juegan un papel importante como agentes antiinflamatorios y protectores a nivel cardiovascular. Su actividad antiinflamatoria, anticoagulante, vasodilatadora y antiagregante les confiere importancia en la prevención de la hipercolesterolemia.
- ♣ El ácido oleico (omega 9) presente en el aceite de oliva, es el más importante de los ácidos grasos monoinsaturados. Favorece la reducción de triglicéridos y del colesterol total, y es una de las pocas sustancias conocidas con capacidad de inducir la elevación del HDL (lipoproteína de alta densidad).
- ♣ Los probióticos son los alimentos fermentados por bifidobacterias y lactobacilos. Las bacterias probióticas modifican favorablemente el balance de la microflora

intestinal, inhiben el crecimiento de bacterias nocivas, favorecen la digestión, potencian la función inmunológica y aumentan la resistencia a las infecciones. Se hallan ampliamente ofertados, fundamentalmente en productos lácteos (yogures, leches cultivadas, etc.).

- ♣ Actualmente está en boga el desarrollo de productos que promuevan el crecimiento de las bacterias probióticas, a los que se llama prebióticos, y también la combinación -en un mismo alimento-, de prebióticos y probióticos, que dan lugar a los denominados productos simbióticos.

Respecto de los efectos benéficos sobre la salud de estos productos de diseño o funcionales, se considera que pueden no ser necesariamente iguales en todos los individuos (Olagnero et al., 2007). Los alimentos funcionales pueden ser (Anónimo, 2013):

- Alimentos naturales con uno de sus componentes realizado a través de condiciones especiales de cultivo.
- Alimentos con componentes añadidos para proveer beneficios específicos.
- Alimentos en los que se ha removido algún componente considerado adverso para la salud.
- Alimentos en los que uno o más de sus componentes han sido químicamente modificados, en función de su impacto sobre la salud humana.
- Alimentos con la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes aumentada, a fin de mejorar la absorción de los mismos.
- Cualquier combinación de las posibilidades antes mencionadas.

Los alimentos funcionales pueden ser de origen natural o industrial, como por ejemplo:

✓ Alimentos funcionales naturales

<b>Alimento</b>	<b>Componente</b>	<b>Beneficio potencial para la salud</b>
Tomate	Lycopeno	Reduce el riesgo de cáncer de próstata e infarto al miocardio
Brócoli	Sulforafano	Reduce el riesgo de cáncer
Zanahoria	Carotenoides	Reduce el riesgo de cáncer
Ajo	Componentes organosulfurados	Reduce el riesgo de cáncer
Té	Polifenoles y catequinas	Reduce el riesgo de enfermedades coronarias y algunos cánceres.
Pescado	Ácidos grasos omega 3	Reduce el riesgo de enfermedades del corazón

Fuente: INTA-Chile (2017).

✓ Alimentos funcionales industriales

<b>Alimento funcional</b>	<b>Componente</b>	<b>Beneficio potencial para la salud</b>
Leche baja en grasa con mayor aporte de calcio	Calcio	Reduce el riesgo de osteoporosis
Productos lácteos fermentados	Probióticos	Mejor la función intestinal
Vino	Flavonoides	Contribuyen a la salud cardiovascular
Cereales con el agregado de ácido fólico	Ácido fólico	Previene en casos de embarazo que el bebé padezca de espina bífida

Fuente: INTA-Chile (2017).

Se estima que el mercado mundial de los alimentos funcionales ronda los US\$ 20.000 millones, de los que corresponde el 52% a los EE. UU y el 29% a Japón. Algunos especialistas prevén que en una década estos productos se comercializarán por valores cercanos a los US\$ 100.000 millones, dentro de los cuales la participación de la UE alcanzaría un 30%. Argentina, por su parte, avanza sobre la normalización de los

alimentos funcionales y los nutraceuticos en el marco de la Comisión Nacional de Alimentos, CONAL (Alderete, 2013).

Como vimos en el Capítulo 1 existe en la actualidad mucha información acerca de los beneficios a la salud asociados a las fibras dietarias. Además de su valor nutritivo, las fibras dietarias pueden proveer múltiples propiedades tecnológicas cuando son incorporadas a un producto alimenticio (O'Shea et al., 2012):

- ✓ Prevenir la sinéresis (pérdida de agua del alimento durante el almacenamiento).
- ✓ Mayor conservación y extensión de la duración del producto debido a su capacidad de retener agua.
- ✓ Estabilización de alimentos con alto contenido de aceites y emulsiones debido a su capacidad de retener aceite.
- ✓ Capacidad de formación de geles y capacidad espesante (incrementa la viscosidad).
- ✓ Sustitutos de grasas.
- ✓ Mejora general de la textura y las propiedades sensoriales.

Para poder aprovechar los beneficios de consumir fibra dietaria es necesario que las mismas estén disponibles en alimentos que se consumen de manera habitual como son los dulces, jaleas o mermeladas de frutas. Según el Diario la Nación en un artículo publicado en septiembre de 2017 en el país se consumen 940 gramos de mermelada per cápita en el año y se trata de un producto comprado por el 76% de los hogares en un año. Entre los productos untables, solo es superada por la manteca y el dulce de leche (Manzoni y Bernasconi, 2017).

## **1.2 Elaboración de jaleas, dulces y mermeladas.**

El Código Alimentario Argentino (CAA) define las diferencias entre estos productos en el Capítulo X (2017):

- ✓ *Artículo 807:* define al término genérico “confitura” como aquel producto obtenido por cocción de frutas, hortalizas, o tubérculos (enteros o fraccionados),

sus jugos y/o pulpas, con azúcares (azúcar, dextrosa, azúcar invertido, jarabe de glucosa o sus mezclas).

- ✓ *Artículo 810:* Con la denominación genérica de Mermelada, se entiende la confitura elaborada por cocción de frutas u hortalizas (enteras, en trozos, pulpa tamizada, jugo y pulpa normal o concentrada), con uno o más de los edulcorantes permitidos. La proporción de frutas y hortalizas no será inferior a 40.0 partes del producto terminado.
- ✓ *Artículo 811:* Con la denominación genérica de Dulce, se entiende la confitura elaborada por cocción de no menos de 45.0 partes de pulpa de frutas, tubérculos u hortalizas, con el jugo que normalmente contienen, colada por una criba de malla no mayor de 2.0 mm con edulcorantes.
- ✓ *Artículo 813:* Con la denominación genérica de Jalea, se entiende la confitura elaborada por concentración en todo o en parte del proceso por medio del calor, de no menos de 35.0 partes del jugo filtrado de frutas (o su equivalente en jugo concentrado) o de extractos acuosos filtrados de frutas u hortalizas, con edulcorante.

Históricamente, las mermeladas y las jaleas pueden haberse originado como un esfuerzo temprano para conservar las frutas para el consumo fuera de temporada. Las mermeladas en sus diversas formas son probablemente los subproductos más fáciles hechos a partir de frutas. El registro publicado más antiguo de su fabricación apareció en la última parte del siglo XVIII (Vibhakara y Bawa, 2006).

El producto hecho a nivel industrial debe cumplir con ciertas especificaciones y estándares, no esenciales para el producto hecho en casa, por ejemplo; debe ser de una consistencia lo suficientemente firme como para satisfacer las demandas de las confiterías y para soportar el manejo durante el transporte. Por lo tanto, diferentes factores se deben tener en cuenta para la preparación de estos productos a nivel

industrial, los cuales afectan directamente la calidad del producto final, a saber (Vibhakara y Bawa, 2006):

➤ Tipo y Variedad de fruta

En la elaboración de mermeladas, jaleas o dulces se puede elegir la fruta de las siguientes 5 categorías:

- I. Fruta fresca
- II. Fruta congelada, refrigerada o almacenada en frío
- III. Fruta o pulpa de fruta conservada por el calor
- IV. Fruta sulfatada o pulpa de fruta, es decir, fruta conservada con dióxido de azufre
- V. Frutas deshidratadas secas

➤ Agente gelificante

Los agentes gelificantes son usados en la industria alimentaria en un amplio rango de productos (**Tabla 3.1**). Un agente gelificante ideal no debe interferir con el olor y el sabor del producto al que es agregado (Smith, 2003; Vibhakara y Bawa, 2006).

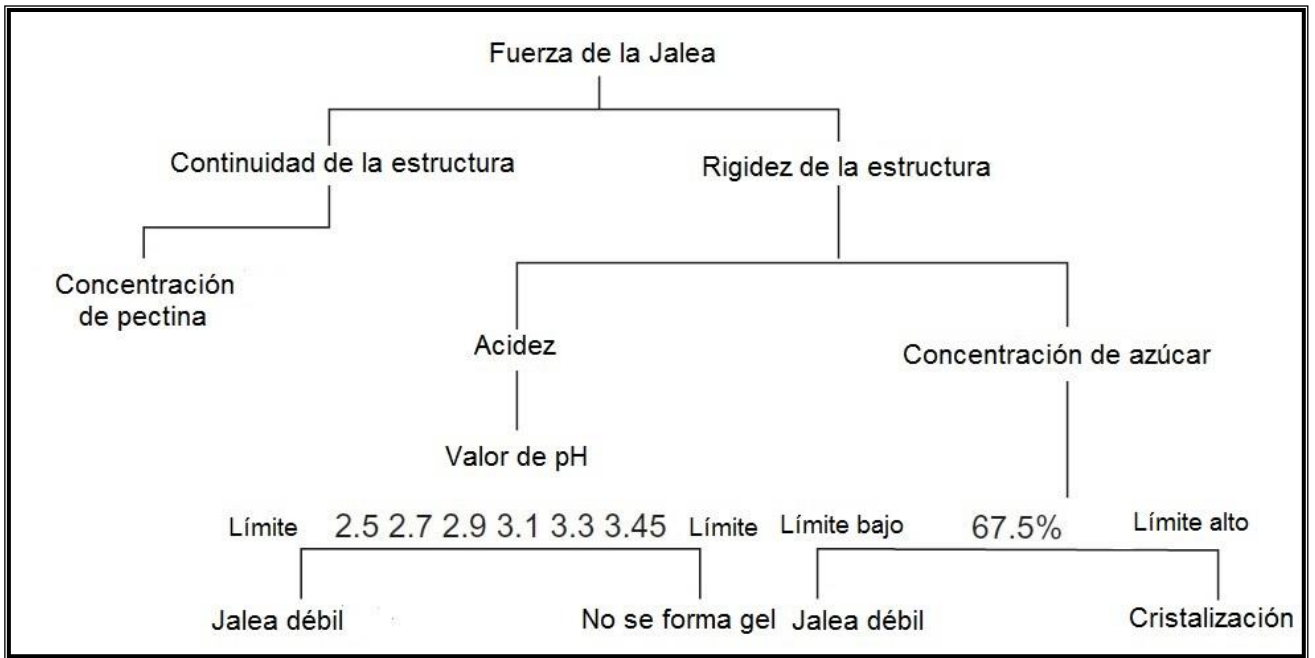
La pectina es el hidrocoloide más utilizado en productos a base de frutas procesadas. Las mermeladas y las jaleas producidas en gran escala son el principal tipo de alimento que utiliza grandes cantidades de pectina. Como ya se vio en el Capítulo 2, los geles formados por la pectina son un estado de la materia intermedio entre un sólido y un líquido. Consisten en moléculas poliméricas entrecruzadas para formar una red molecular interconectada, enredada, inmersa en un medio líquido (Flory, 1953). La red de polímeros retiene el agua, evitando que fluya (Oakenfull y Glicksman, 1987).

**Tabla 3.1.** Tipos de agentes gelificantes usados en la producción de jaleas y productos relacionados (Vibhakara y Bawa, 2006).

Agente gelificante	Origen	Uso
Gelatina	Proteína de origen animal extraída de los huesos.	Confitería, en general no se debe hervir, se agrega al jarabe para llevar a cabo la gelificación durante el enfriamiento
Agar/ Alginatos/Carrageninas	Extraídos de diversas algas marinas	Diversos productos tales como jaleas neutras.
Goma Arábica/Acacia	Exudados de los árboles	Se usan para formar gomas duras y como espesantes en productos como los malvaviscos
Almidón/ almidón modificado	Semillas y raíces diversas	Estos han sido reemplazados total y parcialmente como agentes gelificantes
Pectina	Residuos de frutas, en particular cítricos y pulpa de manzana	Usada ampliamente en jaleas de frutas cítricas

Las mermeladas y jaleas se preparan con una alta concentración de sólidos disueltos para que no se produzca la fermentación. Sin embargo, la pectina y el azúcar no son suficientes para la elaboración de estos productos; igualmente importante es la acidez de la fruta, que da como resultado un equilibrio definido por el sistema "pectina-ácido-azúcar" (Smith, 2003; Featherstone, 2015; Vibhakara y Bawa, 2006) como se describe en el Capítulo 2. La **Figura 3.1** muestra los factores que afectan la fuerza de la red que forma la pectina cuando gelifica, por ejemplo en una jalea.





**Figura 3.1:** Efecto del pH, concentración de azúcar y pectina sobre la estructura y fuerza del gel (Featherstone, 2015).

De acuerdo con la **Figura 3.1**, la fuerza del gel está dada por la continuidad de su estructura, que depende de la concentración de pectina, y por la rigidez o firmeza de su estructura, que depende de la acidez expresada como pH y de la concentración de sólidos solubles (%). A un pH < 2.4 y una concentración de sólidos solubles < 55% se formará un gel débil, mientras que a un pH > 3.6 no se formará el gel y si aumenta la concentración de sólidos solubles por encima de 69% se puede producir la cristalización de los azúcares en el producto final.

➤ Agente endulzante

En cuanto al agente endulzante o edulcorante, diferentes tipos son utilizados en el procesamiento de frutas debido a razones funcionales, ya que el edulcorante puede agregar flavor, cuerpo y volumen además de controlar la viscosidad del producto final, lo que contribuye a la textura y evita el deterioro del mismo (Moritaka et al., 1999; Anónimo, 2018). La sacarosa, comúnmente conocida como azúcar de mesa (o azúcar

refinada), es el estándar contra el cual se miden todos los edulcorantes en términos de calidad, poder endulzante y perfil de sabor. Sin embargo, los jarabes de glucosa han sido ampliamente utilizados como fuente de azúcar en los últimos años (Pilgrin et al., 1991).

En el procesamiento de alimentos con alto contenido de sólidos solubles como son las jaleas y mermeladas, es necesario un componente de azúcar invertido para evitar la cristalización de la sacarosa durante el almacenamiento. El porcentaje óptimo de azúcar invertido está entre el 35% y el 40% del azúcar total en la mermelada (Vibhakara y Bawa, 2006). Durante la ebullición la sacarosa sufre un cambio químico. El azúcar de caña es un azúcar no reductor, sin embargo cuando se hierve con ácido (o es tratada con enzimas) se convierte en dos azúcares reductores: dextrosa y levulosa (fructosa) en partes iguales (Smith, 2003). La inversión de la sacarosa está influenciada por tres factores (Featherstone, 2015):

1. Concentración de iones de hidrógeno del producto (pH).
2. Temperatura de ebullición
3. Tiempo de ebullición

En el caso de geles de pectina de alto metoxilo (HM), varios otros azúcares, alcoholes y polioles permitirán la gelificación. Desde un punto de vista práctico, puede ser ventajoso sustituir la sacarosa por otros azúcares, ya sea por el costo o para reducir la probabilidad de cristalización o modificación del sabor (Pilgrin et al., 1991). El reemplazo parcial de sacarosa con otro azúcar tal como la maltosa, glucosa, jarabes de glucosa o de maíz de alta fructosa altera los tiempos de elaboración y ciertas propiedades reológicas de un gel modelo, con sacarosa únicamente (Vibhakara y Bawa, 2006). El reemplazo parcial o completo de la sacarosa con otros azúcares también altera la actividad de agua del sistema y puede modificar las interacciones hidrófobas que contribuyen a la gelificación (Anónimo, 2018).

➤ Acidulante

El acidulante cumple muchas funciones en el procesamiento de frutas, a saber: regulador de pH, agente conservante y de curado, agente aromatizante, agente quelante, agente gelificante / coagulante y actúa como un sinergista antioxidante. La elección de un ácido particular, para cualquier aplicación específica de alimentos, depende de varios factores dado que cada ácido tiene su propia combinación de propiedades físicas y químicas, por lo que la elección debe hacerse sobre la base de las cualidades requeridas en el producto final (Watase y Nishinari, 1993). En muchos casos, la selección se basa en la capacidad del ácido para resaltar y mejorar el sabor de los alimentos. El control del pH es crítico para la formación exitosa de un gel de pectina, particularmente en el caso de las pectinas HM. Se debe tener en cuenta para la elección del acidulante que el pH de las mermeladas suele ser de 2.8 a 3.4 (dependiendo de la fruta) (Vibhakara y Bawa, 2006; Featherstone, 2015). Además se debe tener en cuenta que las pectinas de rápida gelificación con un alto grado de esterificación se gelificarán a un pH más alto que la pectina de gelificación lenta (con un menor grado de esterificación); sin embargo, esta diferencia es leve, con un pH óptimo para pectinas de gelificación lenta de alrededor de 3.1 y para pectinas de gelificación rápida de 3.4 (Crandall y Wicker, 1986). En general, pectinas de gelificación lenta son utilizadas en la elaboración de jaleas, mientras que pectinas de gelificación rápida se usan en la elaboración de mermeladas, ya que esta comienza la gelificación a temperaturas mayores, evitando que la fruta quede en el fondo del envase y garantizando que se distribuya uniformemente (Anónimo, 2018).

➤ Agentes colorantes y de flavor

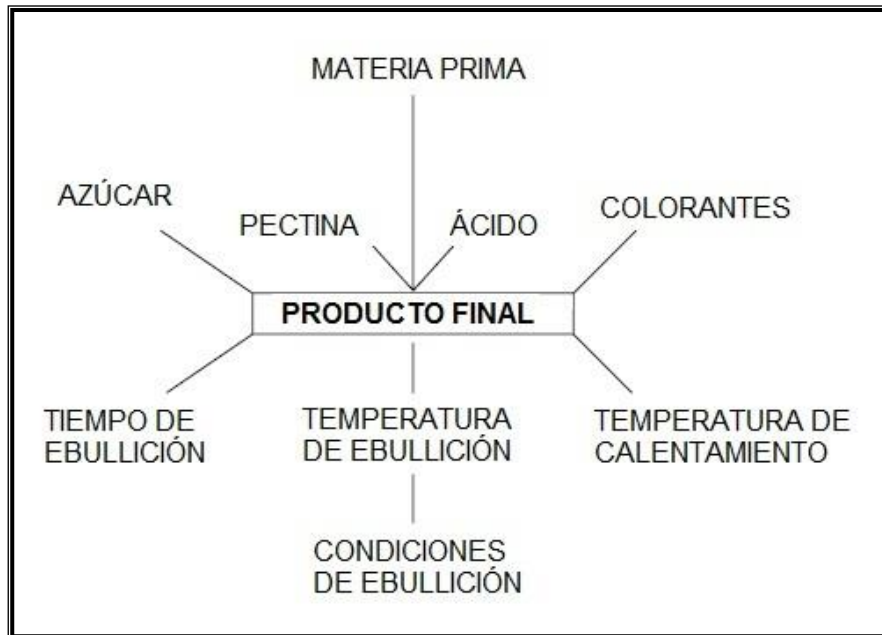
El color de la mermelada es un factor de considerable importancia. Una buena mermelada debe ser atractiva tanto para el ojo como para el paladar. No se requiere colorante para las mermeladas producidas a partir de fruta fresca, siempre que el

tiempo de ebullición sea corto y el calor no sea excesivo (Vibhakara y Bawa, 2006). Sin embargo, el color natural de la fruta siempre se ve afectado por la presencia de SO<sub>2</sub> y, en algunos casos, por el proceso de ebullición, lo que requiere la adición de color artificial. El objetivo debe ser restaurar el aspecto natural original. Sólo se deben usar los colorantes comestibles permitidos.

En cuanto al flavor, normalmente las mermeladas no requieren la adición de sabores. Si se desea, se pueden agregar cuando el proceso de ebullición se esté terminando (Vibhakara y Bawa, 2006).

### **1.2.1 Variables de proceso**

El grado de esterificación de la pectina, el pH, el contenido de calcio (para pectinas de bajo metoxilo, LMP), y el contenido de azúcar son variables intrínsecas de los productos a base de pectina y estos son fijados en la formulación (Fügel et al., 2005; Vibhakara y Bawa, 2006; Acosta et al., 2006). Por otro lado, el proceso de elaboración de jaleas y mermeladas está influenciado por la medida en que ciertas variables extrínsecas como el preprocesamiento de la fruta, el transporte, la temperatura de cocción, el tamaño de los envases contenedores, el orden de los ingredientes, afectan la calidad final del producto (Smith, 2003; Featherstone, 2015). La elaboración de mermeladas y jaleas puede considerarse bastante simple; sin embargo, a menos que los enfoques científicos no se cumplan, el producto terminado no será perfecto. En la **Figura 3.2** se muestra los diferentes factores involucrados en la producción de jaleas y mermeladas.



**Figura 3.2.** Factores que controlan el proceso de fabricación de mermeladas (Vibhakara y Bawa, 2006).

❖ *Preprocesamiento de la fruta*

Partiendo de la base de que la mejor fruta produce el mejor producto, la fruta deberá ser tan fresca como sea posible. Con frecuencia se utiliza una mezcla de fruta madura con fruta que recién ha iniciado su maduración y los resultados son bastantes satisfactorios. La fruta demasiado madura no resulta apropiada para preparar mermeladas, ya que no gelificará bien (Pilgrin et al., 1991).

En cuanto a la preparación de jaleas, el jugo es el ingrediente principal, por lo que es muy importante contar con un jugo con un buen color, claridad y flavor. El método de extracción ideal varía según la fruta, por ejemplo las manzanas pueden prensarse sin calentarse, las bayas o frutos del bosque requieren calor para ablandar y extraer el color, mientras que las frutas más firmes como el membrillo pueden requerir un ablandamiento intenso con agua caliente (Featherstone, 2015)

❖ *Cocción - Ebullición*

La ebullición es uno de los pasos más importantes en el proceso de elaboración de estos productos, ya que es la etapa donde se disuelve el azúcar y se produce la unión de esta con el ácido y la pectina para producirlos. Usualmente puede causar la coagulación de ciertos compuestos orgánicos que pueden eliminarse de la superficie durante la ebullición de manera de obtener por ejemplo una jalea más clara. El propósito principal de la ebullición es el incremento de la concentración de azúcar (Smith, 2003; Pilgrin et al., 1991). Si bien es una etapa necesaria e importante, la ebullición debe ser lo más corta posible. Una ebullición prolongada puede resultar en la pérdida de flavor, cambio en el color y en la hidrólisis de la pectina, lo que provocaría en consecuencia una jalea de mala calidad (Featherstone, 2015).

A nivel industrial, durante la ebullición de la pulpa o el jugo se debe eliminar el material coagulado y se debe agitar constantemente para conseguir una mezcla completa de todos los ingredientes. La ebullición continúa hasta que, al enfriarse, el producto forme una mermelada o jalea con la consistencia adecuada. La consistencia de la mezcla cuando se alcanza ese punto dependerá de varios factores: la concentración de pectina, la concentración de ácido, la relación azúcar/pectina/ácido y la textura deseada (Smith, 2003). El punto final del producto puede ser determinado por refractometría o por el uso de un termómetro, controlando que la temperatura de ebullición no esté por debajo de 105° C, ya que esto puede resultar en un gel débil (Featherstone, 2015).

#### ❖ *Envasado*

El llenado se realiza en caliente a una temperatura no menor a los 85° C. Esta temperatura mejora la fluidez del producto durante el llenado y a la vez permite la formación de un vacío adecuado dentro del envase por efecto de la contracción de la mermelada una vez que se ha enfriado (Vibhakara y Bawa, 2006).

### **1.3 Geles frutales**

En el Capítulo 2 se definió el concepto de geles alimenticios a aquellos formulados mediante el uso de un agente gelificante como la pectina; dentro de este grupo de geles estarían incluidas las jaleas, mermeladas y dulces. Según lo mencionado por Basu et al. (2016) este tipo de geles podrían definirse también como geles frutales. Los geles frutales son elaborados, más específicamente, mediante la ebullición de pulpa de fruta en presencia de azúcar, ácido y pectina, siendo los más comunes los ya mencionados, los cuales se diferencian entre sí en la forma en que la fruta es incorporada (Sección 1.2).

Los ensayos reológicos representan una herramienta útil para estimar la estabilidad mecánica de este tipo de productos, la cual es una propiedad importante para el almacenamiento de los mismos, ya que se sabe que los productos con una estabilidad mecánica insuficiente son propensos a la sinéresis y otros cambios estructurales que podrían llevar al rechazo del producto por parte de los consumidores antes del final de la vida útil (Belovic et al., 2017).

El comportamiento de flujo y las propiedades reológicas de geles de fruta con niveles altos o moderados de azúcares y/o una cantidad pequeña del agente gelificante ha sido ampliamente estudiado desde hace años: Saravacos, 1970; Mizrahi y Firtenberg, 1975, Carbonell et al., 1991a,b; Costell et al., 1993, Raphaelides et al., 1996; Guerrero y Alzamora, 1998; Basu et al., 2007; Basu y Shivhare, 2010; Holzwarth et al., 2013. La mayoría de los estudios acerca de geles frutales, investigan efectos de la formulación y la temperatura sobre el comportamiento reológico, la dependencia con el tiempo y el estado de equilibrio (Carbonell et al., 1991 a,b; Costell et al., 1993; Villarán et al., 1997; Grigelmo-Miguel y Martín Belloso, 2000; Gabriele et al., 2001; Alvarez et al., 2006; Basu et al., 2007, Basu, et al., 2013; Díaz-Ocampo et al.; 2013).

A partir de estos estudios se ha establecido que las propiedades reológicas de la mermelada se ven afectadas principalmente por la cantidad y el tipo de azúcar

agregada, la proporción y el tipo de agente gelificante utilizado, el contenido de pulpa de fruta, y temperatura del proceso (Andullah y Cheng, 2001; Gajar y Badrie, 2000; Acosta et al; 2008; Javanmard y Endan, 2010). Para los geles de frutas, es importante entender la relación entre la textura del gel y la estructura del producto, por lo que las propiedades reológicas son útiles para definir la funcionalidad de los ingredientes en el control de calidad y la correlación de la textura de los alimentos con los atributos sensoriales. Las mediciones mecánicas (texturales y reológicas) en combinación con el análisis sensorial podrían representar la calidad del gel de fruta con mayor precisión (Renard et al., 2006)

Como ya se mencionó en el Capítulo 2, los dulces de fruta disponibles en el mercado contienen fibra por el aporte natural de la fruta, pero su concentración es inferior a la requerida por el CAA para ser denominado fuente de fibra. Por esa razón, el objetivo principal de este Capítulo fue obtener una jalea de fruta enriquecida con fibra dietaria de origen frutícola como lo es la fibra de manzana y no frutícola como lo son la fibra de trigo, bambú y plántago. A tal fin, se utilizaron los datos recopilados en los Capítulos 1 y 2. El producto resultante es similar a un dulce de fruta, y debe contener al menos 3 g de fibra dietaria / 100 de producto final para cumplir con los requerimientos del CAA y poder ser declarado "fuente de fibra". Las jaleas fueron adicionadas con fibra dietaria de una sola variedad, y en combinaciones de dos variedades, en dos proporciones (1:1 y 3:1, donde la segunda variedad fue plántago). Además de esto, se espera que por el aporte de fibra dietaria el producto obtenido pueda ser considerado como un alimento funcional, ya que como se demostró para los geles adicionados de fibra dietaria en el Capítulo 2, aún después del tratamiento térmico el producto final conservó los 3 g de fibra / 100 g de producto. Los dulces fueron estudiados mediante la determinación y análisis de sus propiedades reológicas, mecánicas, sinéresis y color. Se evaluó el efecto de diferentes factores sobre dichas propiedades, a saber: 1) El agregado de fibra dietaria a la jalea, donde se comparó una jalea control (sin fibra) con



las jaleas enriquecidas con una sola variedad de fibra; 2) La combinación de fibra dietaria en proporción 1:1, donde se compararon las jaleas enriquecidas con una sola variedad de fibra con las enriquecidas con una combinación de variedades en iguales proporciones (una de ellas plántago); y 3) La reducción del contenido de plántago en la combinación de variedades, donde se compararon las jaleas enriquecidas con combinaciones en proporción 1:1 y 3:1. Finalmente, a partir del conjunto de datos y observaciones recopilados se seleccionaron las tres jaleas enriquecidas con combinaciones de fibra en proporción 3:1 para ser comparadas con dos dulces de manzana disponibles en el mercado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materiales

En la preparación de las muestras se utilizaron como materias primas: manzana verde (variedad *Granny Smith*), pectina cítrica de alto metoxilo (CP Kelco), sacarosa (Ledesma) y glucosa anhidra (Anedra) como co-solutos, solución saturada de ácido cítrico, preparada a partir de ácido cítrico anhidro (Parafarm) y agua destilada, y fibras dietéticas de: manzana, M (Vitacel AF 400-30); trigo, T (Vitacel WF 101); bambú, B (Qualicel, CFF); y psyllium plántago, P (Konsyl). Konsyl es una fórmula farmacéutica que consiste en una mezcla de cáscaras de semillas de Plántago Ovata (72%), maltodextrina (27%) y sílica amorfa (1%). Las muestras elaboradas en este trabajo fueron comparadas con dos dulces de manzana comerciales: Mermelada de Manzana “Alimentos Natali” (Paso del Rey, Bs. As., Argentina) y Dulce de Manzana “Cabaña Mico” (El Bolsón, Río Negro, Argentina), que fueron comprados en un supermercado local, y que a partir de ahora denominaremos DMC1 y DMC2, respectivamente. El DMC2 se eligió por poseer una pulpa finamente molida (sin partículas grandes ni trozos de fruta), similar a la de las muestras elaboradas en este trabajo, y que permitió medir sus propiedades reológicas.

## **2.2 Métodos**

### **2.2.1 Proceso de extracción de jugo**

Para preparar las jaleas primeramente se extrajo jugo de manzana. A tal fin, aprox. 10 kg de manzanas fueron cuidadosamente lavadas y luego trituradas en un molino de cuchillas Fitz Mill (Fitzpatrick Co., Chicago, IL, U.S.A.). La pulpa que se obtuvo de la molienda fue envuelta en una tela de lienzo y prensada (en lotes) en una prensa hidráulica Delfabro (Delfabro SRL, Córdoba, Argentina), hasta extraer un total de aproximadamente 8 litros de jugo. Posteriormente el jugo obtenido fue pasteurizado en un tanque agitado (Figmay, Córdoba Argentina), donde se calentó hasta 90° C (se usó como sustancia calefactora una solución de glicerina al 37% p /p, y el tiempo de calentamiento fue aprox. 1 h). Una vez alcanzada esta temperatura se cortó el calentamiento y el jugo fue enfriado hasta 50° C aproximadamente. Por último, el jugo se embotelló y se congeló hasta su uso.

El jugo extraído tenía un pH = 3.92 determinado con un pH-metro digital Altronix II (Buenos Aires, Argentina) y una concentración de sólidos solubles de 13.25% p/p, medida con un refractómetro tipo Abbe marca Arcano (Buenos Aires, Argentina).

### **2.2.2 Elaboración de las jaleas con y sin fibra**

Antes de la preparación definitiva de las muestras, se hicieron pruebas preliminares con el objetivo de ajustar las variables de elaboración a fin de lograr un producto que se asemejara a un dulce comercial, principalmente en sus propiedades reológicas. A partir de dichas pruebas se concluyó que se debía concentrar el jugo hasta 67 -69 % p/p de sólidos solubles. Los 3 g de fibra adicionada fueron tanto de una sola variedad de fibra, como de combinaciones de dos variedades: M-P, B-P y T-P, donde puede notarse que en todos los casos se combinó el plántago con otra variedad. Estas combinaciones se eligieron a partir de los resultados obtenidos en el Capítulo 2, Sección 3.2. Para las combinaciones de fibra se usaron dos proporciones a) 1:1, iguales cantidades de cada

variedad, b) 3:1, siendo la fibra de plántago la que se encontraba en menor proporción en la mezcla.

Los pasos seguidos para la preparación de las muestras fueron (**Figura 3.3**):

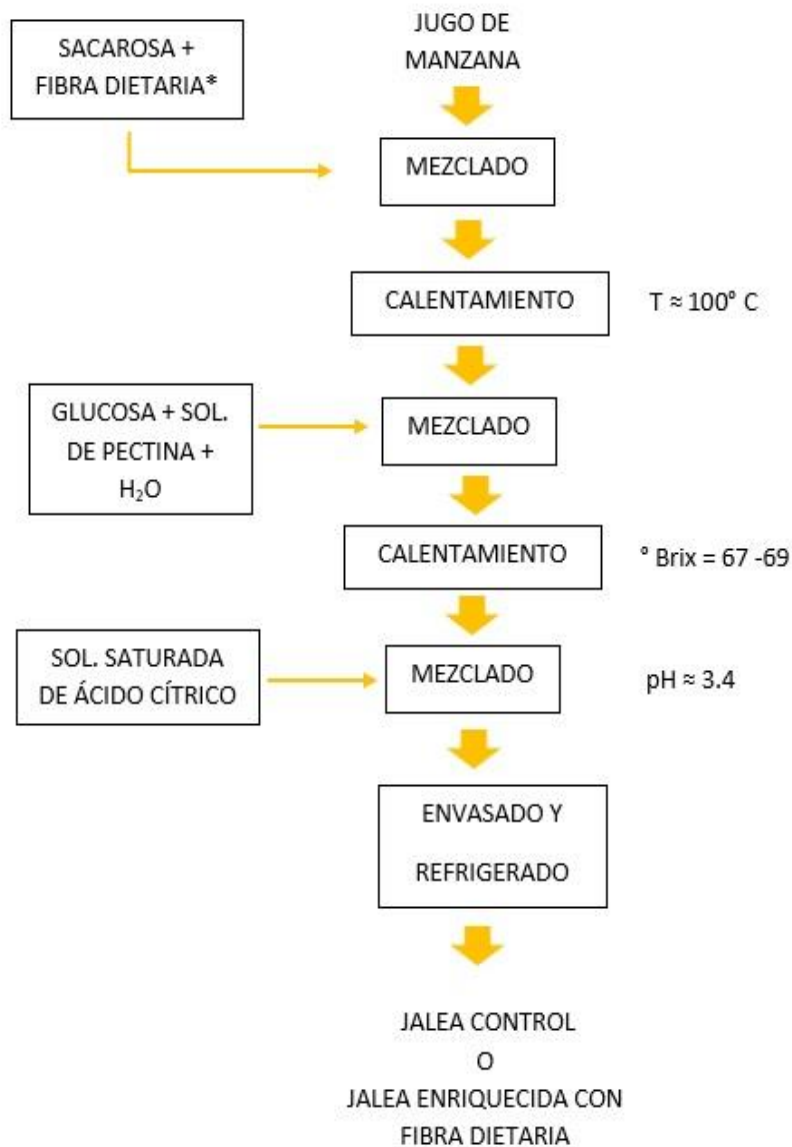
- Jalea sin fibra (Control)

1. Para la preparación de las jaleas se utilizaron las proporciones de jugo/sacarosa/glucosa de la receta sugerida por la empresa productora de pectina Herbstreith & Fox (Anónimo, 2018), mientras que la cantidad de pectina utilizada fue la máxima aceptada por el CAA para este tipo de preparaciones. Así, las cantidades utilizadas de cada ingrediente por cada 100 g de producto final fueron: 45 g de jugo de manzana (superior al mínimo propuesto por el CAA), 0.5 g de pectina, 41 g de sacarosa, 16.4 g de glucosa y 3.6 g de agua.
2. Se dispersó la pectina con la sacarosa (en seco), en proporción 1:15 (Thakur et al., 1997) tal como la utilizada para la preparación de geles (Capítulo 2). Esta mezcla se hidrató posteriormente con una parte del jugo de manzana.
3. Se mezclaron el jugo y la sacarosa restantes y esta mezcla se calentó usando una placa calefactora y un baño termostático de glicerina. Se utilizó además un agitador mecánico vertical DLAB OS40-Pro (Ontario, United States) para mantener la mezcla bajo agitación continua a 100 rpm.
4. Una vez que esta mezcla llegó al punto de ebullición se agregó la glucosa, la solución de pectina (obtenida en el paso 2) y el agua y se continuó con la agitación y el calentamiento hasta que toda la mezcla alcanzó la concentración de sólidos solubles deseada, la cual se determinó usando el mismo refractómetro mencionado en la Sección 1.2.1. En este punto, para evitar la pre-gelificación de la jalea se corrigió el pH agregando la solución saturada de ácido cítrico, monitoreando el pH con un pH-metro digital Altronix II (Buenos Aires, Argentina) equipado con un electrodo resistente a altas temperaturas, Broadley F600 (Irvine, USA).

5. Finalmente, cada muestra se envasó en caliente (a aproximadamente 100 °C) en tres frascos de vidrio sanitizados y etiquetados (diámetro=65 mm y altura=80 mm), que se sellaron con sus tapas de rosca, se dejaron enfriar a temperatura ambiente, y finalmente se almacenaron en heladera a 4.5 ° C para mediciones posteriores.

- Jaleas enriquecidas con fibra dietaria:

Para la formulación de estas jaleas con fibra se incorporó un total de 3 g de fibra por cada 100 g de producto final, utilizando las siguientes combinaciones: a) una sola variedad de fibra (M, B, T y P), b) dos variedades de fibra en proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11), y c) dos variedades de fibra en proporción 3:1 (MP31, BP31 y TP31), en este caso la fibra de plántago fue la que siempre se utilizó en la menor proporción. Para la preparación de estas jaleas con fibra se siguió el mismo procedimiento que para la jalea control, salvo que la fibra se mezcló con la sacarosa y el jugo en el paso 3. De esta manera se consiguió hidratar la fibra dietaria evitando que se formaran grumos.



**Figura 3.3.** Pasos seguidos para la elaboración de las jaleas con y sin fibra dietaria, (\*) no se agregó a la jalea Control.

Cada muestra fue preparada 3 veces, de modo que todas las mediciones de propiedades se realizaron por triplicado (excepto que se indique lo contrario).

### 2.2.3 Determinación de propiedades reológicas

Las propiedades reológicas fueron determinadas como se describió en el Capítulo 2, Sección 2.2.2., con algunas modificaciones. En esta oportunidad las mediciones se realizaron con una geometría de plato-plato (diámetro  $d = 50$  mm, gap = 2 mm) y a una temperatura de  $20.0 \pm 0.1$  °C. Se determinaron los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) a partir de un barrido de frecuencia ( $\omega$  de 0.1 a 100 rad/s), a una amplitud de 0.5% correspondiente al RVL, de todas las muestras a distintos tiempos de almacenamiento:  $t_0$ =día 0,  $t_1$ = día 1,  $t_2$ = día 3,  $t_3$ = día 7,  $t_4$ = día 14 y  $t_5$ = día 30.

Además, como parámetros secundarios para caracterizar el comportamiento reológico de las muestras se calculó el módulo complejo ( $G^*$ ) con la Ec. (2.3) del Capítulo 2, la  $\tan \delta$ , y la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) de cada muestra, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (3.1)$$

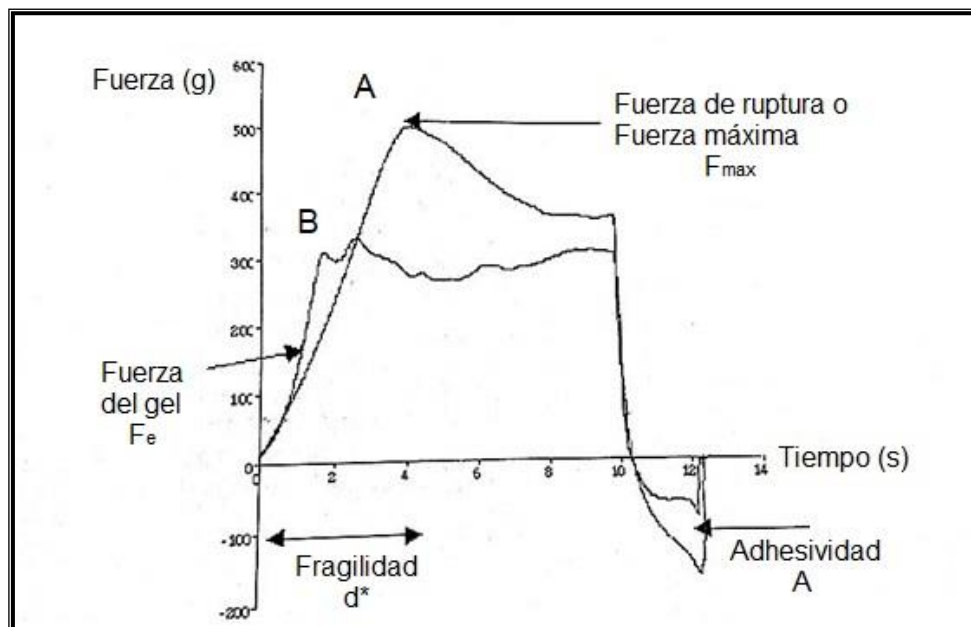
$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} \quad (3.2)$$

### 2.2.4 Determinación de propiedades mecánicas – Test de penetración

Las propiedades mecánicas se determinaron en un texturómetro como el mencionado en el Capítulo 2, Sección 2.2.3, mediante un test de penetración diseñado para mermeladas (Genovese et al., 2010), con algunas modificaciones. La dispersión caliente de jalea (con o sin fibra) se colocó en dos frascos de vidrio que se llenaron hasta alcanzar una altura aproximada de 3 cm, cada frasco se selló con su tapa y se dejó enfriar la muestra a temperatura ambiente. A continuación, los frascos fueron colocados en la heladera a 4.5 °C. Las mediciones se hicieron a dos tiempos de almacenamiento distintos (día 7 y día 30). Las muestras fueron sacadas de la heladera 2 h antes de realizar las mediciones, a fin de que se atemperen. A continuación, se procedió con la

prueba, que consistió en dos ciclos de penetración, donde las muestras fueron penetrados hasta una profundidad de 15 mm (~50% de su altura inicial) usando una sonda cilíndrica ( $D=25.5\text{mm}$ ) a una velocidad de 1 mm/s. Se utilizó una celda de carga fija de 50 N.

De cada curva de Fuerza vs. Tiempo (ejemplo, **Figura 3.4**) se obtuvieron cinco parámetros característicos, a saber: 1) fuerza máxima ( $F_{\max}$ ): corresponde al pico máximo en la curva fuerza vs tiempo (similar al parámetro de dureza visto en el Capítulo 2, Sección 2.2.3), es un indicador de la fuerza de ruptura o punto de ruptura del gel; 2) distancia de ruptura ( $d^*$ ): distancia que la sonda penetra antes de que se produzca la ruptura del gel (en  $F_{\max}$ ), es un indicador de la fragilidad del gel; 3) fuerza a los 3 mm de penetración ( $F_e$ ), correspondiente a la zona de baja deformación del gel, es un indicador de la fuerza del gel; 4) adhesividad (A): calculada como el área bajo la región negativa de la curva, es un indicador del trabajo total necesario para retirar la sonda de la muestra; 5) gomosidad (G) calculada como en el TPA (Capítulo 2, Sección 2.2.3).



**Figura 3.4.** Curva típica de Fuerza vs Tiempo de un test de penetración (Anónimo, 2000).

### 2.2.5 Color

La medición de color se realizó como en el Capítulo 2, Sección 2.2.4.

### 2.2.6 Sinéresis

La sinéresis se determinó como en el Capítulo 2, Sección 2.2.5, con algunas modificaciones. Para esta medición se usaron las mismas muestras a las cuales se les habían determinado previamente las propiedades mecánicas, es decir que se hicieron mediciones de sinéresis a dos tiempos distintos (día 7 y día 30). El procedimiento seguido fue el siguiente: se tomó una porción la muestra (en la zona donde penetró la sonda) utilizando un cortante de plástico (diámetro =33mm, altura=48mm) como se muestra en la **Figura 3.5**; esta porción de muestra se colocó en un embudo büchner con un papel de filtro en la base. Una vez colocada la porción de muestra, se pesó y se tapó el embudo con film para evitar su deshidratación, y se lo dejó sobre un erlenmeyer donde se recolectó el líquido perdido por la muestra debido a la gravedad, durante 24 h. Luego se pesó nuevamente la muestra, además del líquido que esta perdió. Se calculó la sinéresis como:

$$\text{Sinéresis} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (3.3)$$

Donde  $m_i$  y  $m_f$  representan el peso inicial y final de la muestra, respectivamente. Los resultados se expresaron como g agua /100 g producto.





**Figura 3.5.** Porción de muestra tomada para la determinación de la sinéresis. La zona delimitada con una línea roja corresponde a la zona penetrada por la sonda durante el test de penetración.

### 2.2.7 Análisis sensorial

Se realizó el análisis sensorial de las muestras MP31, BP31, TP31 y el dulce de manzana comercial DMC2, a fin de determinar el grado de aceptación por parte de los consumidores. Un total de 100 panelistas no entrenados (34 hombres y 66 mujeres) participaron en el estudio. Se seleccionaron estudiantes y personal de todo el predio del CONICET- CCT Bahía Blanca, identificados como consumidores habituales de mermeladas, jaleas y dulces de fruta, entre los que se clasificaron a quienes declararon consumir estos productos diariamente, una o dos veces por semana o menos de una vez por semana. Las muestras fueron preparadas 3 días antes de la degustación (de manera de asegurar que todas alcanzaran su estabilidad máxima según los resultados obtenidos en este Capítulo) y almacenadas en heladera a 4.5 ° C. Una hora antes de la realización de las pruebas las muestras fueron sacadas de la heladera para que se atemperen. Cada panelista evaluó en una única sesión las cuatro muestras mencionadas, colocadas en respectivos envases plásticos conteniendo aproximadamente 15 g de muestra cada uno. Las muestras se presentaron a los panelistas codificadas con un número de 3 dígitos y ordenadas de manera aleatoria. Se proporcionó a cada panelista una cuchara y un cuchillo de plástico y un par de galletas

de agua para realizar la prueba. Además, se les proporcionó agua para limpiar sus paladares entre degustaciones de muestras (**Figura 3.6**). Los panelistas recibieron instrucciones de considerar el aspecto, el sabor, la consistencia y la untabilidad de las muestras y basándose en estos atributos se les pidió que determinaran la aceptabilidad global de cada muestra en una escala hedónica de 9 puntos (1 = me disgusta mucho, 5 = me es indiferente y 9 = me gusta mucho). En el Anexo al final de este Capítulo puede verse la planilla que se le entregó a cada consumidor.



**Figura 3.6.** Muestras codificadas entregadas a los panelistas.

### 2.2.8 Análisis estadístico

Los datos experimentales fueron analizados mediante un Anova Simple, tomando un factor diferente en cada sección, a saber: en la **Sección 3.1** el factor fue el agregado de una sola variedad de fibra (M, B, T y P), en la **Sección 3.2** el factor fue la combinación de dos variedades de fibra en proporción 1:1, donde en todas las combinaciones una de las variedades fue plántago (MP11, BP11 y TP11), en la **Sección 3.3** el factor fue la combinación de dos variedades de fibra en proporción 3:1, donde en todas las

combinaciones la variedad en menor proporción fue plántago (MP31, BP31 y TP31), y por último en la **Sección 3.4** el factor fue el tipo de dulce (DMC1, DMC2, MP31, BP31 y TP31). Además, se aplicó en todos los casos un test de Tukey para comparar las medias con un nivel de significancia de 5% usando el programa InfoStat v. 2014. En todos los casos se realizó un test de diagnóstico Box-Cox, con el programa Design Expert 7.0, para verificar los supuestos del Anova (normalidad y homocedasticidad) y los datos fueron transformados cuando fue necesario.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Efecto del agregado de una sola variedad de fibra

##### 3.1.1 Propiedades reológicas

Se analizaron las propiedades reológicas de las muestras C, M, B, T y P a los distintos tiempos de almacenamiento. Solo en las muestras recién preparadas (tiempo  $t_0$ ) se observó que  $G' < G''$  (resultados no mostrados) a partir de  $\omega > 10$  rad/s para las muestras C y M, mientras que para las muestras B y T fue a partir de  $\omega > 1$  rad/s. Este comportamiento se atribuyó principalmente a que el producto no alcanzó a gelificar al momento que se hizo la medición en el reómetro, salvo las muestras con fibra de plántago que mostraron una consistencia altamente espesa (gomosa) al finalizar la preparación. Desde  $t_1$  en adelante se observó que  $G' > G''$  para todas las muestras en todo el rango de frecuencias (resultados no mostrados), lo que indicó un comportamiento predominantemente sólido (Basu, et al., 2011).

Los datos experimentales de  $G'$  en función de la frecuencia fueron ajustados con la siguiente función potencial:

$$G' = G'_0 \cdot \omega^n \quad (3.4)$$

Donde  $G'_0$  equivale al valor predicho de  $G'$  para  $\omega=1$  rad/s, y  $n$  es la pendiente de la recta obtenida al graficar  $\log G'$  vs.  $\log \omega$ .

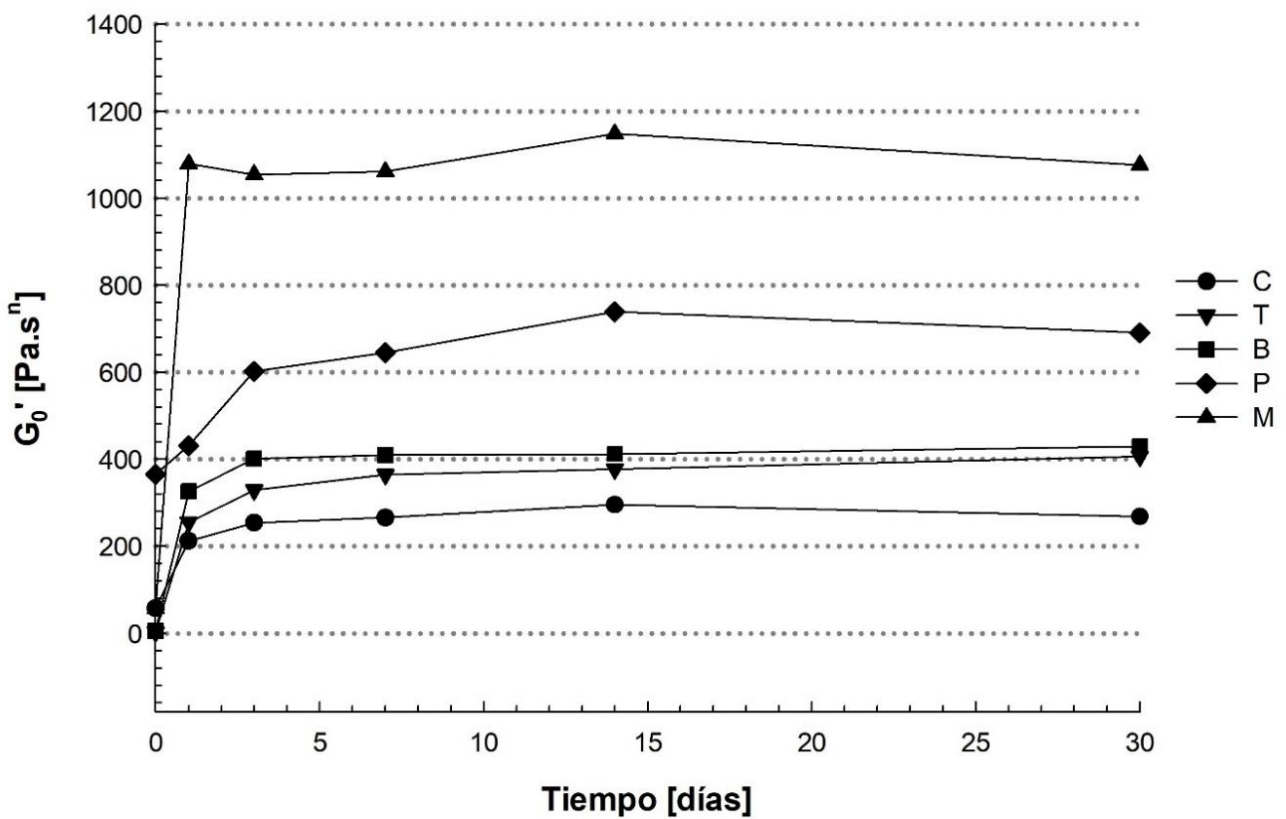
Otros autores han propuesto un modelo del gel débil (Gabrielle, 2001) que permite describir las propiedades reológicas de alimentos tales como masas, mermeladas y yogur. La "teoría del gel" o de Winter (Winter y Mours, 1997; Power et al., 1998)) propuesta para "geles críticos" (originalmente desarrolladas para polímeros) suponen que estos geles son la transición de un estado líquido a sólido, y por lo tanto relajan a un tiempo infinito y no fluyen. En cambio, el modelo del gel débil supone que los alimentos son una red tipo gel capaz de fluir, porque poseen un tiempo de relajación finito. En este modelo, el gel es visto como una red de hebras, constituidas por unidades reológicas de flujo que no se rompen o disgregan durante el flujo, pero las hebras sí. El módulo elástico se representa como:

$$G^* = A * \omega^{1/z} \quad (3.5)$$

Donde  $G^*$  es el módulo complejo calculado con la Ec. (2.3), del Capítulo 2,  $A$  es una constante que puede interpretarse como la "fuerza de interacción" entre las unidades de flujo (que se refleja en la fuerza del gel) y  $z$  es denominado "número de coordinación", y equivale al número de unidades de flujo que interactúan entre sí, y mide la extensión de dichas interacciones. Este modelo también fue aplicado por Basu (2011) para dulces de fruta.

A partir del ajuste de  $G'$  con la Ec. (3.4) se obtuvieron los valores de  $G'_0$ ,  $n$  y  $R^2$  de cada muestra para los distintos tiempos de almacenamiento (**Tabla 3.2**). Cabe aclarar que los datos  $\log G'$  vs.  $\log \omega$  correspondientes al día 0 no resultaron lineales, por lo que no fue posible ajustarlos con la Ec. (3.4). Por lo tanto, para este tiempo se tomó el valor experimental promedio de  $G'$  a  $\omega = 1$  rad/s, a fin de poder comparar estadísticamente todos los tiempos de almacenamiento. Los valores de  $G'_0$  de las muestras M, T y B, necesitaron de transformaciones del tipo inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\quad}$ ), logarítmica ( $\log_{10}$ ) y raíz cuadrada ( $\sqrt{\quad}$ ), respectivamente. En cuanto a los valores obtenidos para  $n$ , en ningún caso se necesitó de una transformación

La **Figura 3.7** muestra las medias de los valores de  $G'_0$  en función del tiempo de almacenamiento. En todas las muestras se puede observar que  $G'_0$  aumentó en el tiempo, y que el mayor cambio se produjo entre el día 0 y el día 1. Este cambio fue significativo para todas las muestras excepto P (**Tabla 3.2**). A partir de  $t_2$  (día 3) y hasta  $t_5$  (día 30) no hubo cambios significativos en los valores de  $G'_0$  y  $n$  (**Tabla 3.2**). Por lo tanto, se consideró que las muestras alcanzaron su rigidez máxima luego de 3 días de estacionadas, y que sus propiedades viscoelásticas no cambiaron significativamente a partir de ese momento.



**Figura 3.7.** Evolución del módulo elástico  $G'_0$  durante el almacenamiento de las muestras: jalea control (C) y las adicionadas con fibra dietaria de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M).

**Tabla 3.2.** Coeficientes  $G'_0$ ,  $n$  y  $R^2$  obtenidos a partir del ajuste de los datos experimentales con la Ec. (3.4), a los distintos tiempos de almacenamiento de la jalea sin fibra (C) y las adicionadas con fibra de trigo, bambú, plántago y manzana (muestras T, B, P y M).

Muestra	Tiempo (días)	$G'_0$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (-)	$R^2$
C	0	57.7 ± 87 <sup>b</sup>	--	--
	1	212 ± 52 <sup>a</sup>	0.131 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.988
	3	254 ± 48 <sup>a</sup>	0.132 ± 0.004 <sup>b</sup>	0.991
	7	265 ± 43 <sup>a</sup>	0.138 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.991
	14	295 ± 44 <sup>a</sup>	0.139 ± 0.004 <sup>b</sup>	0.995
	30	268 ± 32 <sup>a</sup>	0.142 ± 0.010 <sup>b</sup>	0.993
T	0	2.85 ± 1 <sup>b</sup>	--	--
	1	255 ± 143 <sup>a</sup>	0.146 ± 0.004 <sup>a</sup>	0.985
	3	330 ± 133 <sup>a</sup>	0.152 ± 0.002 <sup>a</sup>	0.993
	7	364 ± 129 <sup>a</sup>	0.156 ± 0.004 <sup>a</sup>	0.996
	14	378 ± 119 <sup>a</sup>	0.160 ± 0.004 <sup>a</sup>	0.996
	30	406 ± 115 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.997
B	0	5.61 ± 4 <sup>b</sup>	--	--
	1	326 ± 76 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.013 <sup>b</sup>	0.99
	3	401 ± 125 <sup>a</sup>	0.143 ± 0.012 <sup>b</sup>	0.997
	7	410 ± 99 <sup>a</sup>	0.157 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.997
	14	412 ± 104 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.996
	30	428 ± 113 <sup>a</sup>	0.150 ± 0.004 <sup>b</sup>	0.997

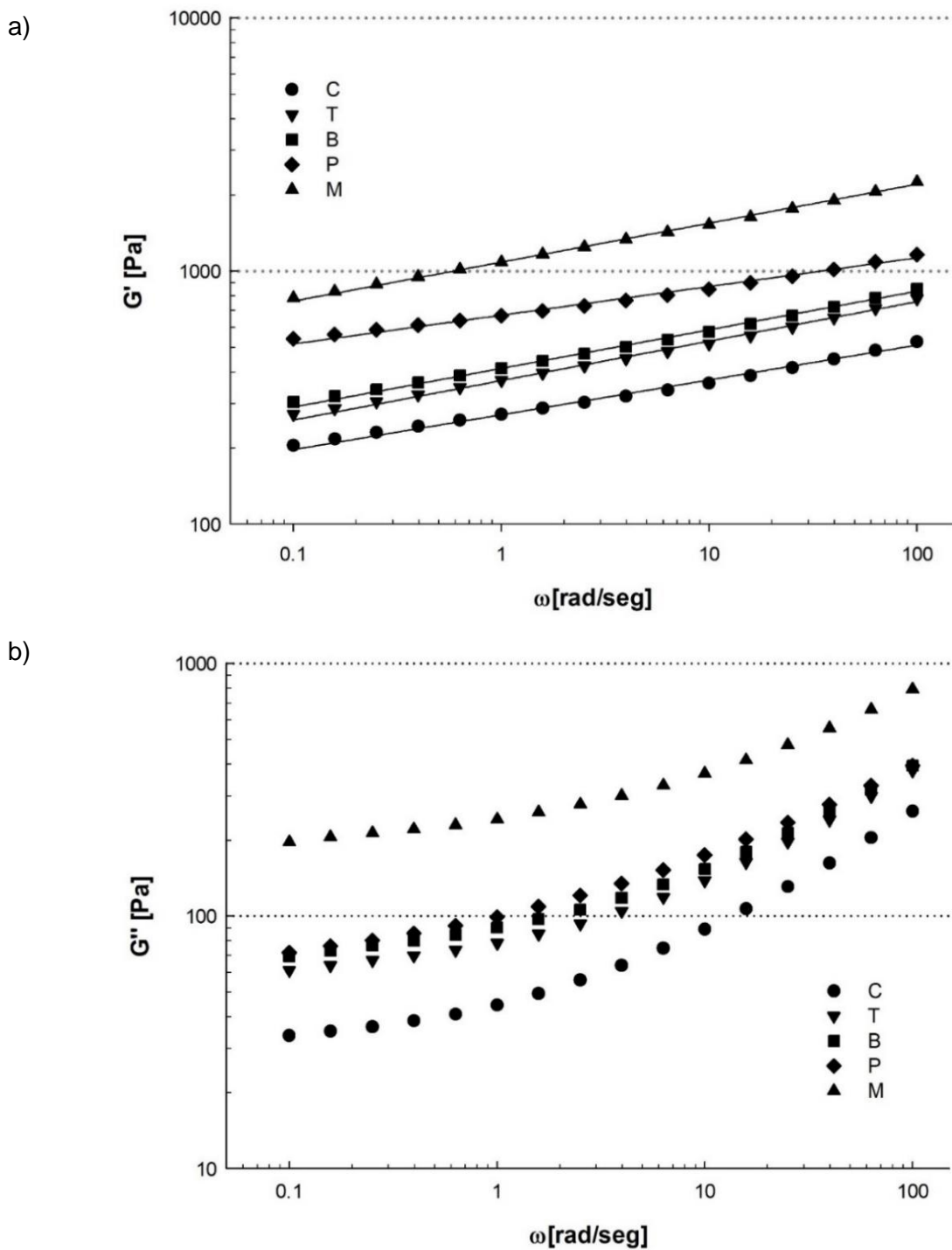
**Tabla 3.2.** Continuación.

Muestra	Tiempo (días)	G' <sub>0</sub> (Pa.s <sup>n</sup> )	n (-)	R <sup>2</sup>
P	0	367 ± 87 <sup>c</sup>	--	--
	1	431 ± 69 <sup>b,c</sup>	0.145 ± 0.015 <sup>b</sup>	0.988
	3	602 ± 94 <sup>a,b</sup>	0.123 ± 0.010 <sup>c</sup>	0.992
	7	645 ± 70 <sup>a</sup>	0.117 ± 0.006 <sup>c</sup>	0.990
	14	739 ± 63 <sup>a</sup>	0.105 ± 0.006 <sup>c</sup>	0.992
	30	690 ± 49 <sup>a</sup>	0.111 ± 0.000 <sup>c</sup>	0.992
M	0	56.6 ± 3 <sup>b</sup>	--	--
	1	1079 ± 262 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.020 <sup>b</sup>	0.998
	3	1054 ± 343 <sup>a</sup>	0.151 ± 0.019 <sup>b</sup>	0.998
	7	1061 ± 278 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.018 <sup>b</sup>	0.998
	14	1148 ± 302 <sup>a</sup>	0.161 ± 0.015 <sup>b</sup>	0.998
	30	1076 ± 301 <sup>a</sup>	0.154 ± 0.013 <sup>b</sup>	0.998

\*Medias con una letra en común (en la misma columna, para cada muestra) no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Teniendo en cuenta este resultado se consideró que para cada muestra los valores de G' y G'' desde t<sub>2</sub> a t<sub>5</sub> eran promediables, y dichos promedios se representaron en función de la frecuencia angular (**Figura 3.8 a y b**). En primer lugar, se pudo observar que el agregado de fibra a la jalea produjo un aumento en los valores de G' y G'', desplazando las curvas hacia arriba. En todas las muestras analizadas G' mostró un aumento con la frecuencia (**Figura 3.8 a**), indicando un proceso de relajación igual al que mostraron los geles en el Capítulo 2. Todas las muestras podrían ser descritas como geles débiles, ya que las curvas G' y G'' fueron siempre paralelas, G' > G'' y ambos

módulos variaron con la frecuencia (Ikeda y Nichinari, 2001; Picout y Ross-Murphy, 2003; Seo y Yoo, 2013).

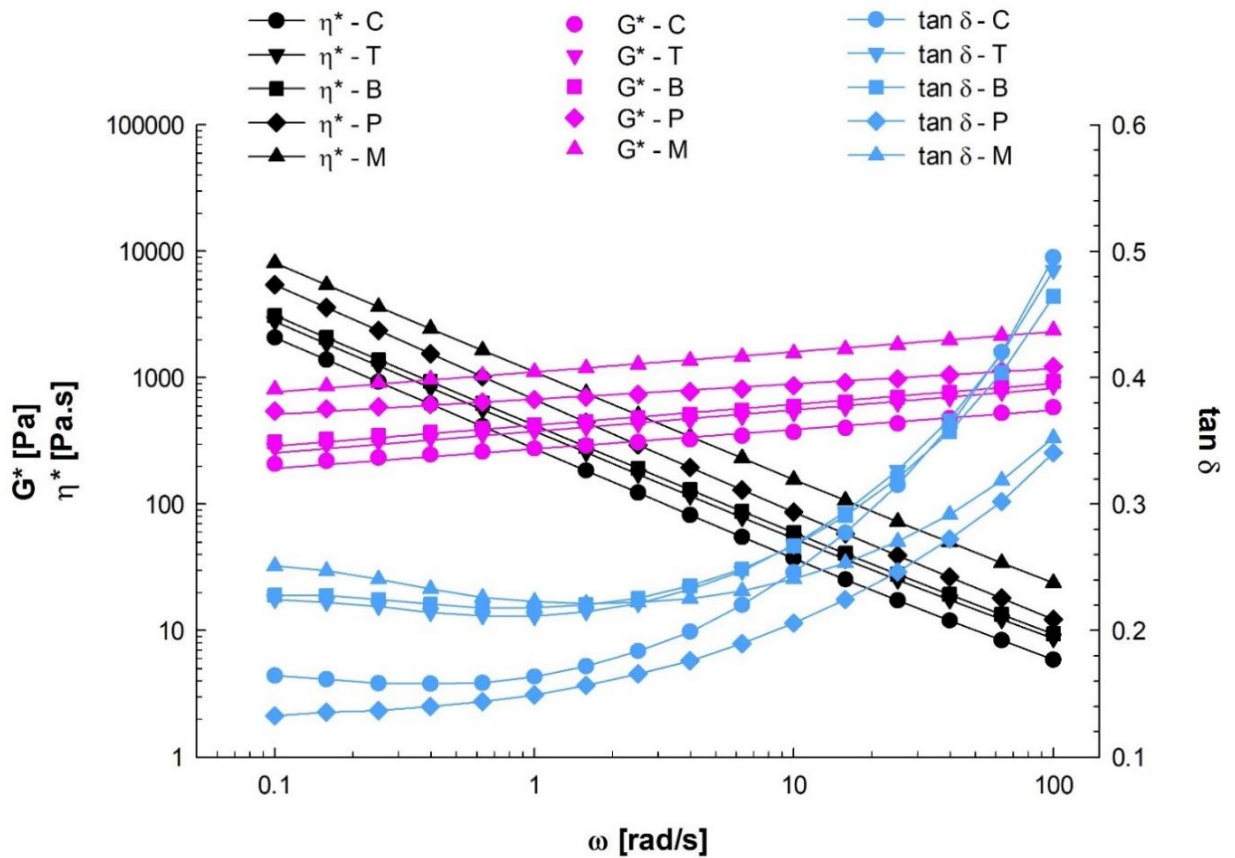


**Figura 3.8.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$ , durante el barrido de frecuencia de la jalea control (C) y las adicionadas de fibra dietaria de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M).



Teniendo en cuenta las **Figuras 3.8 a y b** podemos observar que el orden de refuerzo de la estructura debido a la adición de fibra dietaria en la jalea fue el siguiente:  $M > P > B > T$ , contrario al que se observó en el caso de los geles (Capítulo 2) donde la fibra de trigo fue la que produjo el mayor efecto reforzante, mientras que la fibra de manzana fue la de menor efecto reforzante. Esta variación en el comportamiento puede ser atribuida al cambio en el medio dispersante, ya que en el caso de los geles el medio utilizado fue un buffer ( $\text{pH} = 3$ ), mientras que en las jaleas se utilizó un jugo de manzanas y se ajustó el pH del producto final a 3.4.

La **Figura 3.9** muestra la evolución de la  $\tan \delta$ , el módulo complejo ( $G^*$ ) y la viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) calculados con las Ec. (2.3), (3.1) y (3.2), utilizando los valores promedio de  $G'$  y  $G''$  (**Figura 3.8 a y b**) en función de la frecuencia, para la jalea sin fibra (muestra C) y las jaleas con fibra de distintas variedades (muestras T, B, P y M).



**Figura 3.9.** Evolución de  $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) durante el barrido de frecuencias de la jalea control (C) y las adicionadas con fibra de trigo (T), bambú (B), plántago (P), y manzana (M).

Como se puede observar en la **Figura 3.9**, en todos los casos los valores de  $\tan \delta$  estuvieron por debajo de 0.5, revelando que el comportamiento de las muestras fue principalmente elástico en naturaleza (Mounsey y O’Riordan, 2001). A bajas frecuencias las jaleas con fibra de manzana, trigo y bambú (muestras M, B y T) fueron las que presentaron el mayor valor de  $\tan \delta$ , en comparación con la muestra C, es decir que tuvieron un comportamiento relativamente menos sólido, mientras que la jalea con plántago (muestra P) siguió la tendencia contraria. Al aumentar la frecuencia en todos los casos hubo un aumento de  $\tan \delta$ . A altas frecuencias las muestras C, B y T fueron las que presentaron los valores de  $\tan \delta$  más altos, debido a un mayor incremento de la

componente viscosa ( $G''$ ) respecto a la sólida ( $G'$ ), mientras que las muestras M y P siguieron la tendencia contraria.

En cuanto a  $\eta^*$  se puede observar que en todos los casos hubo una disminución de la viscosidad al aumentar la frecuencia angular, lo que significaría que todas las muestras tuvieron un comportamiento pseudoplástico, tal como el reportado en otros trabajos (Álvarez et al., 2006; Basu et al., 2011; Yildiz y Alpaslan, 2012).

Cada una de las curvas de la **Figura 3.8 a** fue ajustada con la Ec. (3.4), obteniéndose valores de  $G'_0$  y  $n$  para cada muestra (**Tabla 3.3**), con coeficientes de regresión mayores a 0.992 (no mostrados). Como se puede observar en la **Figura 3.8 b** las curvas  $\log G''$  vs.  $\log \omega$  no resultaron lineales, por lo tanto no fue posible ajustar estos datos con una función potencial análoga a la Ec. (3.4) y obtener un valor de  $G''_0$  para cada muestra. Por lo tanto, se tomó el valor de  $G''$  a una frecuencia de 1 rad/s, como representativo de cada muestra. Además se tomaron los valores de  $\tan \delta$  y  $\eta^*$  a una frecuencia de 1 rad/s (resultados mostrados en la **Tabla 3.3**) para poder comparar las muestras. Las transformaciones de los datos experimentales fueron: inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\omega}$ ) para  $G'$ , y del tipo logarítmica ( $\text{Log}_{10}$ ) para  $G''$  y  $\eta^*$ .

**Tabla 3.3.** Parámetros reológicos  $G'_0$ ,  $n$ ,  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ ,  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  y  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  de la jalea sin fibra (C) y las enriquecidas con fibras de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M).

Muestra	$G'_0$	$n$	$G''_{(1 \text{ rad/s})}$	$\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$	$\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$
	(Pa.s <sup>n</sup> )	(-)	(Pa)	(-)	(Pa.s)
C	271 ± 39 <sup>d</sup>	0.138 ± 0.007 <sup>b</sup>	45 ± 7 <sup>d</sup>	0.164 ± 0.008 <sup>c</sup>	274 ± 40 <sup>d</sup>
T	370 ± 110 <sup>c</sup>	0.156 ± 0.005 <sup>a</sup>	78 ± 25 <sup>c</sup>	0.211 ± 0.010 <sup>b</sup>	378 ± 113 <sup>c</sup>
B	413 ± 95 <sup>c</sup>	0.151 ± 0.008 <sup>a</sup>	90 ± 22 <sup>b,c</sup>	0.217 ± 0.007 <sup>a,b</sup>	423 ± 97 <sup>c</sup>
P	669 ± 81 <sup>b</sup>	0.114 ± 0.009 <sup>c</sup>	99 ± 5 <sup>b</sup>	0.150 ± 0.013 <sup>d</sup>	676 ± 80 <sup>b</sup>
M	1085 ± 264 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.014 <sup>a</sup>	242 ± 45 <sup>a</sup>	0.226 ± 0.018 <sup>a</sup>	1111 ± 267 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

A partir de los resultados obtenidos (**Tabla 3.3**) se pudo observar que el agregado de fibra provocó en la jalea un aumento significativo en el módulo elástico ( $G'_0$ ), siendo las muestras M y P las que presentaron mayores diferencias con respecto al control. Al igual que lo observado con los geles en el Capítulo 2, el aumento en el módulo elástico podría atribuirse a que el agregado de fibra reforzó la estructura del gel de pectina y se podría considerar que la fracción insoluble de la fibra dietaria es la que produjo el efecto reforzante en la matriz del gel (Le Goff et al, 2015; Wang y Chen, 2017). En cuanto a la pendiente de las curvas, el agregado de M, B y T provocó un aumento significativo de  $n$ , mientras que P provocó una disminución significativa de este valor. El valor de  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$  siguió la misma tendencia que  $G'_0$ , es decir, hubo un aumento significativo de su valor con el agregado de fibra a la jalea.

Como se sabe, la  $\tan \delta$  es la relación entre los módulos viscoso y elástico de la muestra. Según los resultados obtenidos (**Tabla 3.3**) se puede observar que el valor de  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  de las muestras M, B y T fue significativamente mayor que el control, mientras que el de la muestra P fue significativamente menor. Esto indicaría que el agregado de las fibras de manzana, trigo y bambú aumentó el carácter viscoso de las jaleas en mayor medida que el carácter sólido, mientras que el agregado de plántago produjo el efecto contrario. Por su parte, los valores de  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  siguieron la misma tendencia que los de  $G'_0$ , indicando que la viscosidad compleja estuvo gobernada por el módulo elástico de las muestras.

Finalmente, para obtener los parámetros del modelo del gel débil, las curvas  $\log G^*$  vs  $\log \omega$  de la **Figura 3.9** fueron ajustadas con la Ec (3.5). Los valores del ajuste obtenidos de los parámetros A y z se listan en la **Tabla 3.4**, con coeficientes de regresión mayores a 0.983.

**Tabla 3.4.** Parámetros del modelo del gel débil (Ec. (3.5)) de la jalea sin fibra (C) y las enriquecidas con fibras de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M).

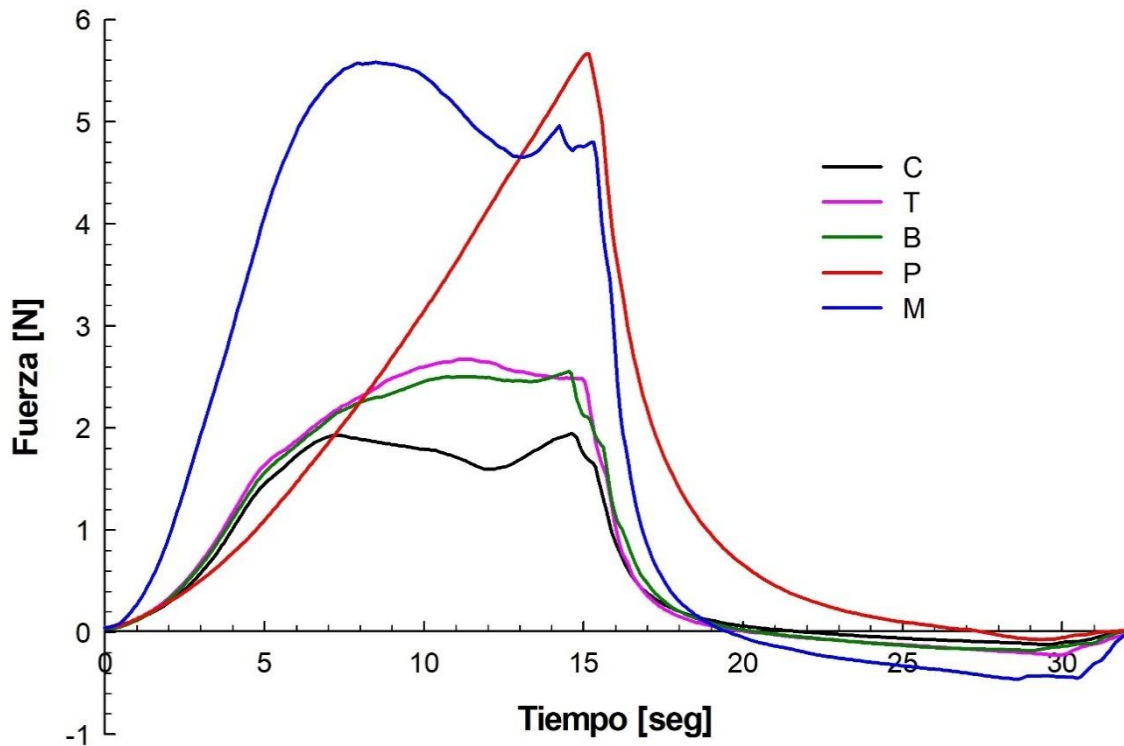
Muestra	A (Pa.s <sup>1/z</sup> )	z (-)
C	274 ± 40 <sup>d</sup>	6.51 ± 0.30 <sup>b</sup>
T	376 ± 113 <sup>c</sup>	5.85 ± 0.19 <sup>a</sup>
B	421 ± 97 <sup>c</sup>	6.13 ± 0.35 <sup>a,b</sup>
P	677 ± 80 <sup>b</sup>	8.26 ± 0.68 <sup>c</sup>
M	1111 ± 269 <sup>a</sup>	6.25 ± 0.59 <sup>a,b</sup>

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Se puede observar (**Tabla 3.4**) que el agregado de fibra provocó un aumento significativo en el valor de A respecto a la jalea sin fibra, al igual que lo observado con los valores de  $G'_{0}$  y  $G''_{1rad/s}$ . La fuerza del gel de las muestras disminuyó en el siguiente orden:  $M > P > B > T > C$ . Las fibras de trigo, bambú y manzana redujeron el valor de z respecto al control, pero solo en el caso de la T la reducción fue significativa, mientras que la fibra de plántago lo aumentó de manera significativa. Esto significa que la extensión de la red o número de interacciones disminuyó en el siguiente orden:  $P > C > M > B > T$ . En consecuencia, se podría concluir que el agregado de las fibras T, B y M provocó una disminución en el número de interacciones, pero estas interacciones resultaron más fuertes. Por el contrario, la fibra de plántago fue la única que provocó un aumento en el número de interacciones y en la fuerza de las mismas. Esto (en especial la mayor extensión de la red de interacciones) podría estar asociado a la mayor capacidad de retención de agua de los geles con plántago (Capítulo 1, Sección 3.3).

### 3.1.2 Propiedades mecánicas

Como se dijo en la Sección 2.2.4 el test de penetración para cada muestra se realizó a dos tiempos de almacenamiento distintos,  $t_3$  y  $t_5$ . La **Figura 3.10** muestra las curvas promedio de Fuerza vs Tiempo obtenidas para todas las muestras. En la misma se puede observar que el agregado de las fibras de manzana y plántago (muestras M y P) cambió considerablemente la forma de la curva obtenida para la jalea control (muestra C). A partir de las curvas para cada tiempo de almacenamiento se obtuvieron las propiedades mecánicas de las muestras, descritas en la Sección 2.2.4. En este caso no se realizó ninguna transformación de los datos. Posteriormente se determinó que no hubo efecto significativo del tiempo sobre los parámetros de textura analizados. Por esa razón, para cada muestra se tomó el promedio de los datos a ambos tiempos, tanto para graficar las curvas fuerza vs tiempo (**Figura 3.10**), como para analizar el efecto del agregado de fibra sobre las propiedades mecánicas de las jaleas, y para realizar las comparaciones entre muestras.



**Figura 3.10.** Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidas a partir del ensayo de penetración de la jalea control (C), y las adicionadas con fibra dietaria de trigo (T), bambú (B), plántago (P), y manzana (M).

Las medias para cada muestra se listan en la **Tabla 3.5**, junto con los resultados de las comparaciones. Las transformaciones realizadas sobre los datos experimentales fueron: del tipo logarítmica ( $\text{Log}_{10}$ ) para  $F_{\text{max}}$  y del tipo potencial (potencia  $\lambda=1.75$ ) para la adhesividad.

Como se puede observar en la **Tabla 3.5** el agregado de fibra provocó cambios en todas las propiedades mecánicas analizadas, pero solo en algunos casos estos cambios fueron significativos. El agregado de fibra provocó un aumento de  $F_{\text{max}}$  en todos los casos, pero solo fue significativo en los casos de manzana y plántago (muestras M y P). Esto no se debió a un incremento en el porcentaje de sólidos solubles en las muestras,

como el reportado por (Basu et al., 2011), ya que en general todas presentaron entre 67 y 69 % de sólidos solubles totales, sino que se debería como se dijo con anterioridad (Sección 3.1.1) al aporte de la fracción insoluble de la fibra, que reforzó la estructura de la red de pectina. Por otro lado, se puede observar que solo la fibra de manzana provocó un aumento significativo en  $F_e$ , lo que indicaría que la muestra M es la que presentó el gel más fuerte, en coincidencia con los valores obtenidos de  $G'_0$  (**Tabla 3.3**). Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas entre los valores de  $d^*$  de las muestras (**Tabla 3.5**), lo cual indica que el agregado de fibra no tuvo efecto significativo sobre la fragilidad del gel. Con respecto a la adhesividad, las únicas variedades de fibra que provocaron un cambio significativo respecto a la jalea control C fueron manzana (aumento en valor absoluto) y plántago (reducción en valor absoluto). Por último, las fibras de manzana y plántago provocaron un aumento significativo de la gomosidad de la jalea.

Al igual que sucedió con los geles en el Capítulo 2, con el agregado de fibra de plántago se obtuvo un producto de aspecto “gomoso”, pero a diferencia de los geles en las jaleas esto se vio reflejado en un valor alto del parámetro de gomosidad. Por otra parte, el agregado de fibra de trigo y bambú le confirieron a la jalea una sensación harinosa al paladar. Estas características organolépticas indeseadas fueron corregidas mediante la combinación de variedades de fibra, como se verán en la Sección 3.2.



**Tabla 3.5.** Propiedades mecánicas del test de penetración de las jaleas: control (C) y las enriquecidas con fibra dietaria de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M).

Muestra	$F_{max}$ (N)	$F_e$ (N)	$d^*$ (mm)	A (N*s)	G (N)
C	1.95 ± 0.41 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.09 <sup>b</sup>	13.60 ± 3.42 <sup>a</sup>	-0.67 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.69 ± 0.12 <sup>a</sup>
T	2.69 ± 0.77 <sup>b</sup>	0.82 ± 0.23 <sup>b</sup>	10.44 ± 0.62 <sup>a</sup>	-1.44 ± 0.61 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.20 <sup>a</sup>
B	2.55 ± 1.10 <sup>b</sup>	0.78 ± 0.44 <sup>b</sup>	12.44 ± 2.76 <sup>a</sup>	-1.33 ± 0.76 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.18 <sup>a</sup>
P	5.79 ± 1.89 <sup>a</sup>	0.59 ± 0.13 <sup>b</sup>	15.02 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.16 ± 0.11 <sup>c</sup>	3.29 ± 1.05 <sup>b</sup>
M	5.76 ± 1.63 <sup>a</sup>	2.29 ± 0.56 <sup>a</sup>	11.73 ± 3.65 <sup>a</sup>	-3.80 ± 0.82 <sup>a</sup>	1.79 ± 0.44 <sup>b</sup>

\*Muestras con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

### 3.1.3 Sinéresis

Los datos de sinéresis o pérdida de agua (al igual que los de textura) fueron analizados a dos tiempos de almacenamiento diferentes (día 7 y día 30). En este caso los datos no necesitaron de ninguna transformación. Se encontró que para cada muestra no hubo diferencias significativas entre la sinéresis medida el día 7 y la que se midió posteriormente el 30. Por lo tanto, para realizar las comparaciones entre muestras se usaron los promedios de ambos tiempos (**Tabla 3.6**).

**Tabla 3.6.** Sinéresis (g de agua /100 g de producto) y parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) de las jaleas sin fibra (control, C) y las enriquecidas con fibras de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M).

Muestra	Sinéresis (g / 100 g)	Color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
C	11.69 ± 1.13 <sup>b</sup>	54.69 ± 0.15 <sup>a</sup>	7.57 ± 0.39 <sup>a,b</sup>	42.0 ± 1.17 <sup>a</sup>
T	15.02 ± 1.12 <sup>a</sup>	33.88 ± 0.85 <sup>d</sup>	6.14 ± 0.85 <sup>a</sup>	23.98 ± 0.63 <sup>b</sup>
B	15.05 ± 0.79 <sup>a</sup>	35.29 ± 0.35 <sup>c</sup>	6.24 ± 0.84 <sup>a</sup>	23.0 ± 1.26 <sup>b,c</sup>
P	0.00 ± 0.00	30.56 ± 0.06 <sup>e</sup>	9.81 ± 2.90 <sup>b</sup>	21.14 ± 0.68 <sup>b,c</sup>
M	6.67 ± 0.48 <sup>c</sup>	14.61 ± 2.23 <sup>b</sup>	11.23 ± 1.17 <sup>b</sup>	10.47 ± 1.31 <sup>d</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Como se puede observar en la **Tabla 3.6** el agregado de fibra solo tuvo efectos favorables sobre la sinéresis en los casos de la fibra de manzana (muestra M) que la redujo a la mitad y la de plántago (muestra P) que hizo que la jalea directamente no presentara sinéresis. Por el contrario, las fibras de bambú y trigo (muestras B y T), aumentaron significativamente la sinéresis de las jaleas incluso por arriba del 10 g de agua / 100 g de producto (valor propuesto como límite de aceptabilidad en el Capítulo 2). Este resultado fue distinto al obtenido en el caso de los geles con fibra del Capítulo 2 Sección 3.1.3, donde las fibras de bambú y trigo redujeron la sinéresis, lo que indica que en el caso de las jaleas con fibra el efecto reforzante aportado por las fibras de bambú y trigo no fue suficiente para evitar la sinéresis. Por otro lado, la reducción de la sinéresis en los casos de las fibras de manzana y plántago (muestras M y P) estaría asociada a las propiedades de hidratación de cada variedad de fibra y al aporte de las mismas a las zonas de unión formada por la pectina al gelificar.

Los resultados parecen indicar que las fibras que produjeron una reducción en la sinéresis de las jaleas (manzana y plántago) fueron las que más reforzaron la estructura del gel, principalmente en términos de los parámetros  $G'_0$  y  $F_{max}$ . Las fibras de bambú y trigo también incrementaron estos parámetros aunque en menor medida, y los resultados indican que su efecto en la estructura del gel fue perjudicial para la sinéresis.

#### 3.1.4 Color

Los resultados de las mediciones de color se muestran en la **Tabla 3.6**. Las transformaciones de los datos experimentales fueron del tipo potencial en los valores de  $L^*$  (potencia  $\lambda = 2.86$ ) y del tipo Inversa ( $1/$ ) en los valores de  $a^*$ . Comparando la jalea control (muestra C) con las adicionadas con fibra dietaria, se observó que el agregado de fibra disminuyó significativamente el valor de  $L^*$  (productos más oscuros) y esta disminución fue más notoria con el agregado de fibra de manzana, al igual que lo observado con los geles del Capítulo 2, lo que podría deberse a la presencia de compuestos polifenólicos y flavonoides en la misma (Hussein et al., 2015). Con respecto al valor de  $a^*$ , si bien hubo un aumento debido al agregado de M y P (productos más rojizos) y una disminución con el agregado de T y B (productos menos rojizos), en ningún caso esta variación fue significativamente diferente al control. Por último, con respecto al valor de  $b^*$  en todos los casos hubo una reducción significativa por el agregado de fibra (productos menos amarillentos).

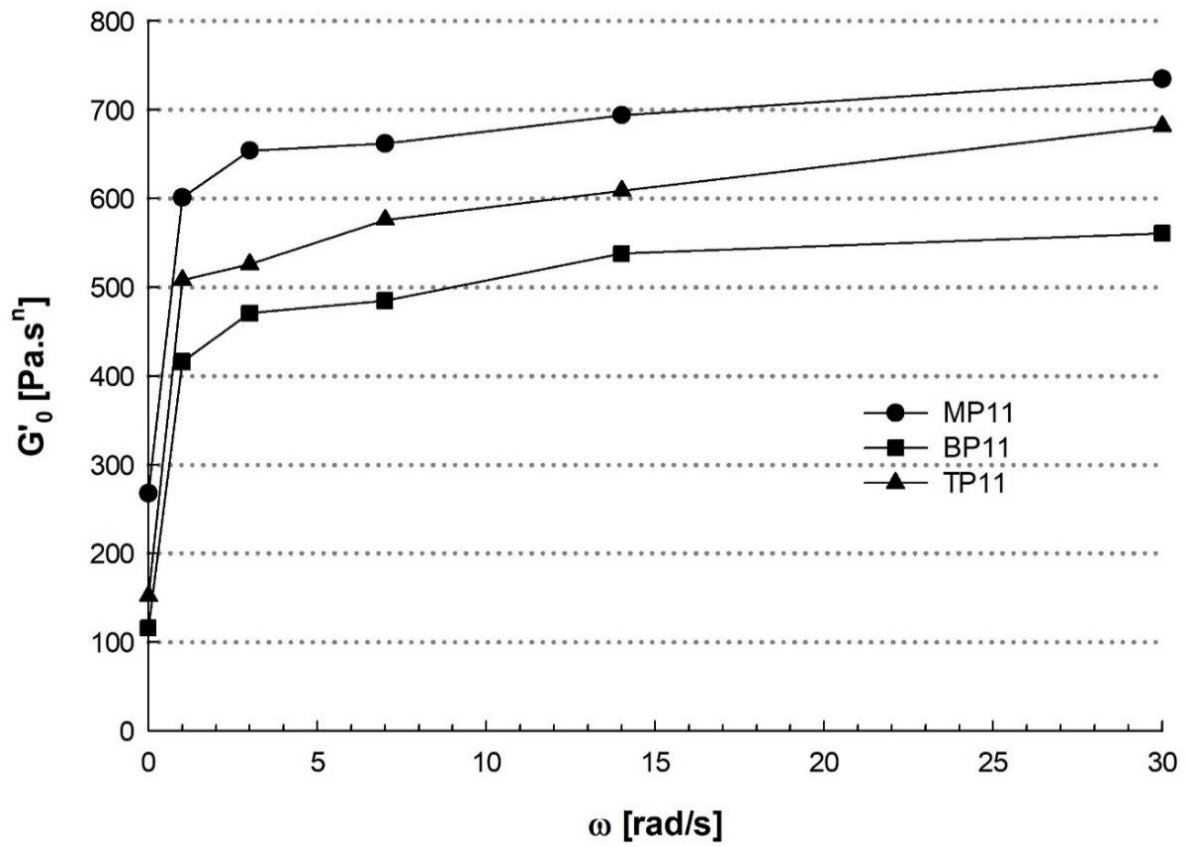
En conclusión, en primer lugar se observó que las jaleas con y sin fibra alcanzaron su consistencia o estructura final 1 día después de su elaboración, excepto las muestras con plántago que demoraron 3 días. En segundo lugar, la adición de una sola variedad de fibra a la jalea tuvo efectos reforzantes sobre las propiedades reológicas. Sin embargo, en el caso de las propiedades mecánicas la fibra de plántago le dejó a la jalea una apariencia “gomosa”, lo cual fue considerado un efecto desfavorable. En cuanto a la sinéresis, los resultados indican que no sería adecuado agregar a las jaleas fibras de trigo y bambú por sí solas, ya que éstas la incrementaron. Por último, el agregado de

fibra hizo que las jaleas se volvieran más oscuras, lo que podría no ser atractivo para los consumidores. Otro de los aspectos a resaltar de esta sección fue la palatabilidad de las jaleas que tenían solo trigo y bambú, ya que estos productos al probarlos dejaban al paladar una sensación harinosa. Al igual que sucedió con los geles en el Capítulo 2, a partir de estas observaciones se decidió combinar las fibras de a dos, en primera instancia en proporciones iguales, tomando solo aquellas combinaciones que en dicho capítulo dieron resultados favorables y evaluar el efecto de la combinación sobre las propiedades reológicas, mecánicas, sinéresis y color de los productos.

### **3.2 Efecto del agregado de combinaciones de dos variedades de fibra en proporción 1:1**

#### **3.2.1 Propiedades reológicas**

Los datos  $G'$  vs  $\omega$  de las mezclas MP11, BP11 y TP11 a los distintos tiempos de almacenamiento fueron ajustados con la Ec. (3.4), y los valores de  $G'_0$  y  $n$  obtenidos fueron representados en la **Figura 3.11.** y listados en la **Tabla 3.7.** Los datos experimentales no necesitaron de ninguna transformación. Luego de un incremento inicial significativo de  $G'_0$  entre  $t_0$  y  $t_1$ , no hubo cambios significativos de  $G'_0$  y  $n$  entre  $t_1$  y  $t_5$ , para ninguna de las muestras (**Tabla 3.7**). Por lo tanto, para poder comparar estos datos con los de la Sección 3.1, se consideró que a partir del día 3 ( $t_2$ ) las jaleas con fibra alcanzaron su rigidez máxima de equilibrio y luego sus propiedades reológicas se mantuvieron constantes. Por lo tanto para cada muestra se promediaron los datos experimentales ( $G'$  y  $G''$  vs  $\omega$ ) entre  $t_2$  y  $t_5$ .



**Figura 3.11.** Evolución del módulo elástico  $G'_0$  durante el almacenamiento de las jaleas adicionadas con distintas combinaciones de fibra: MP11, BP11 y TP11.

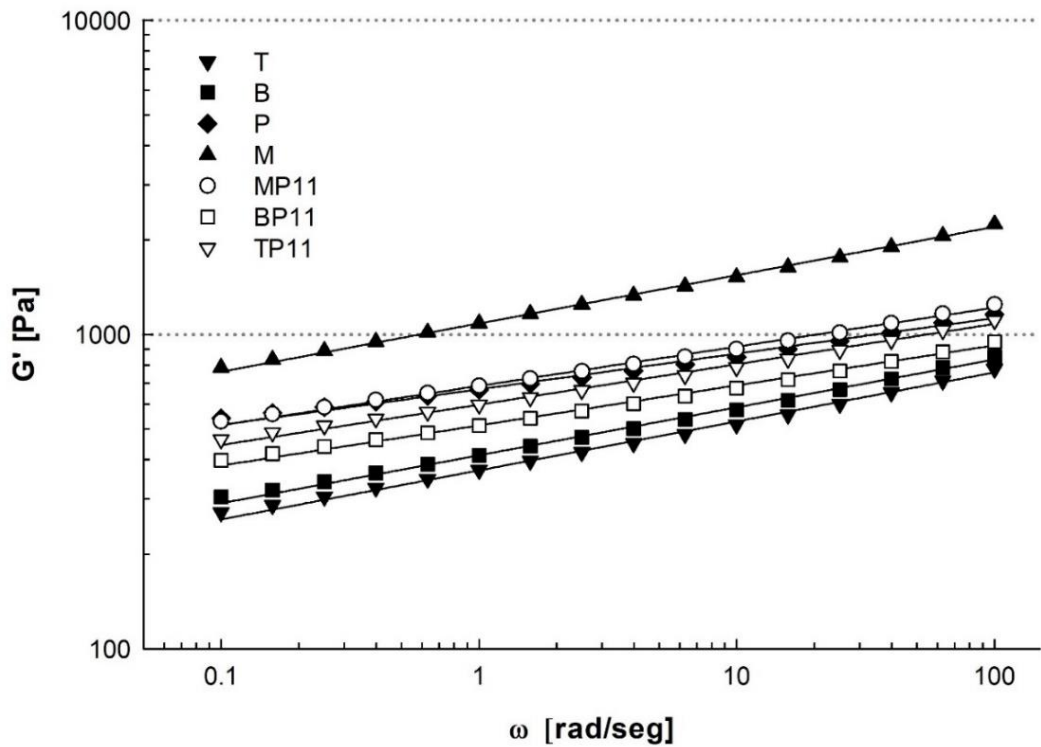
**Tabla 3.7.** Coeficientes  $G'_0$ ,  $n$  y  $R^2$  obtenidos del ajuste de los datos experimentales con la Ec. (3.4) a los distintos tiempos de almacenamiento de las jaleas enriquecidas con combinaciones de fibra (proporción 1:1).

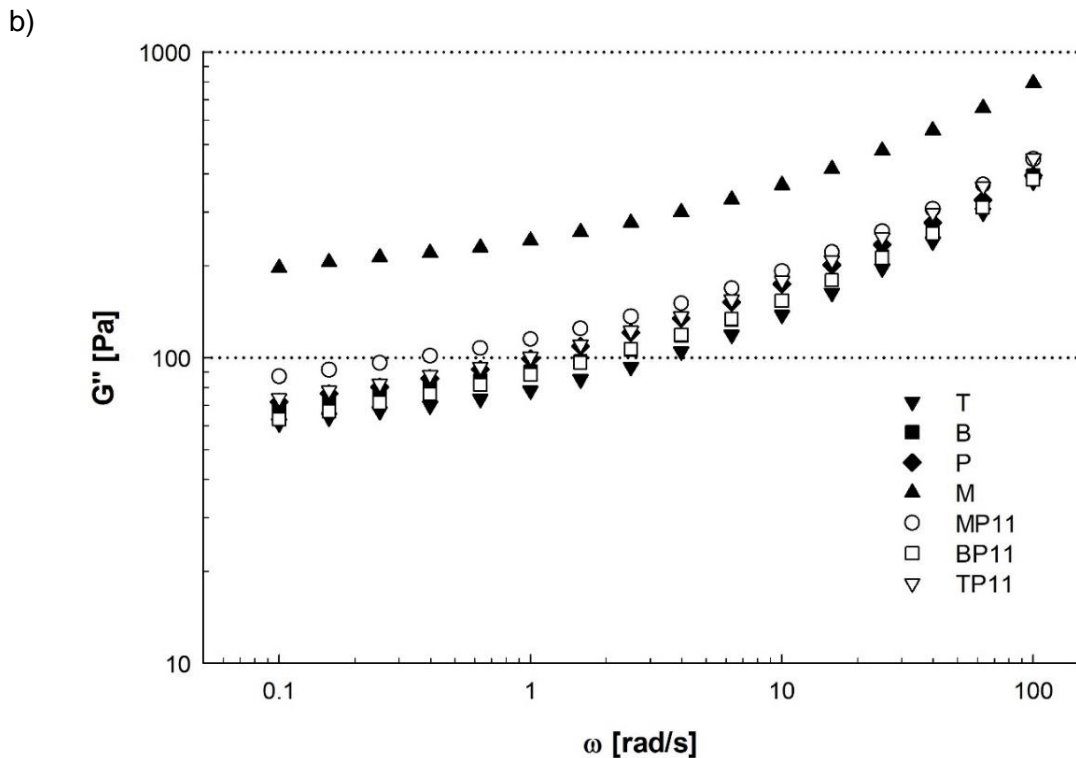
Muestra	Tiempo (días)	$G'_0$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (-)	$R^2$
MP11	0	268 ± 111 <sup>b</sup>	--	--
	1	602 ± 144 <sup>a</sup>	0.130 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.993
	3	653 ± 92 <sup>a</sup>	0.133 ± 0.012 <sup>b</sup>	0.995
	7	661 ± 57 <sup>a</sup>	0.123 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.995
	14	664 ± 44 <sup>a</sup>	0.123 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.997
	30	735 ± 62 <sup>a</sup>	0.127 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.997
BP11	0	116 ± 64 <sup>b</sup>	--	--
	1	415 ± 46 <sup>a</sup>	0.133 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.991
	3	471 ± 14 <sup>a</sup>	0.127 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.996
	7	485 ± 54 <sup>a</sup>	0.130 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.995
	14	538 ± 68 <sup>a</sup>	0.127 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.995
	30	561 ± 103 <sup>a</sup>	0.123 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.996
TP11	0	152 ± 7 <sup>b</sup>	--	--
	1	507 ± 173 <sup>a</sup>	0.140 ± 0.020 <sup>b</sup>	0.988
	3	526 ± 105 <sup>a</sup>	0.133 ± 0.021 <sup>b</sup>	0.994
	7	576 ± 85 <sup>a</sup>	0.130 ± 0.017 <sup>b</sup>	0.994
	14	609 ± 124 <sup>a</sup>	0.133 ± 0.015 <sup>b</sup>	0.994
	30	682 ± 41 <sup>a</sup>	0.123 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.996

\*Medias con una letra en común (en la misma columna, para cada muestra) no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

En la **Figura 3.12 a y b** se muestra la evolución de los promedios de los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) respectivamente, en función de la frecuencia angular  $\omega$ , de las muestras con un solo tipo de fibra y con combinaciones de las mismas. Se puede observar que al igual que las jaleas adicionadas con un solo tipo de fibra, aquellas adicionadas con una mezcla (muestras MP11, BP11 y TP11) también mostraron una alta dependencia de  $G'$  y  $G''$  con la frecuencia, indicando que se comportaron como geles débiles.

a)



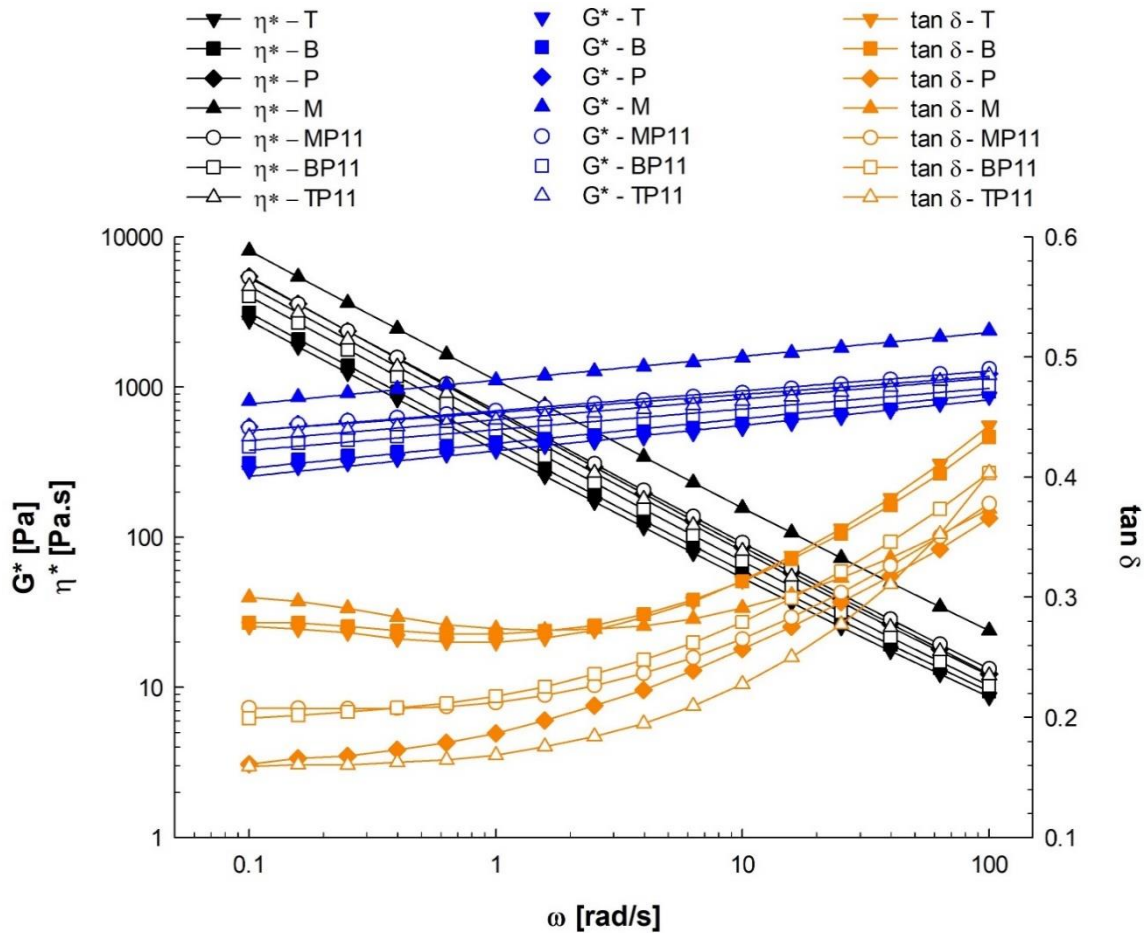


**Figura 3.12.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$ , durante el barrido de frecuencia de las jaleas adicionadas con un solo tipo de fibra: manzana (M), bambú (B), trigo (T) y plántago (P), y sus combinaciones: MP11, BP11 y TP11.

En la **Figura 3.13** se puede observar la evolución de  $\tan \delta$ ,  $G^*$  y  $\eta^*$  calculados con las Ecs. (2.3), (3.1) y (3.3) utilizando los valores promedio de  $G'$  y  $G''$  (**Figura 3.12 a y b**) durante el barrido de frecuencia de las jaleas con una sola variedad de fibra (muestras T, B, P y M) y las enriquecidas con dos variedades de fibra en iguales proporciones (muestras MP11, BP11 y TP11). La viscosidad compleja disminuyó con la frecuencia (al igual que en la Sección 3.1.1), es decir que las muestras con una combinación de fibras también observaron un comportamiento pseudoplástico, al igual que las jaleas con un solo tipo de fibra. En cuanto a  $\tan \delta$ , a bajas frecuencias las muestras MP11, BP11 y TP11 presentaron valores menores que M, B o T, y mayores que P, es decir presentaron un comportamiento relativamente más sólido respecto de las muestras M, B y T, y más



viscoso respecto de P. A altas frecuencias la  $\tan \delta$  aumentó en todos los casos, manteniendo la misma tendencia que a bajas frecuencias, salvo en el caso de la muestra M que mostró un comportamiento similar a la muestra MP11.



**Figura 3.13.** Evolución de  $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) durante el barrido de frecuencias de las jaleas adicionadas con una sola variedad de fibra (M, B T y P) y sus combinaciones (MP11, BP11 y TP11).

Para obtener valores representativos de las propiedades reológicas de cada muestra se procedió de la misma manera que en la sección anterior, es decir se ajustaron los datos experimentales de la **Figura 3.12 a** con la Ec. (3.4) y se obtuvieron los valores de  $G'_0$  y  $n$ , mientras que para  $G''$  (**Figura 3.12 b**),  $\tan \delta$  Ec (3.2) y  $\eta^*$  Ec.(3.2) se tomaron

los valores a  $\omega=1\text{rad/s}$  para cada muestra (**Tabla 3.8**). En este caso los datos de  $G'_0$ ,  $G''$  y  $\eta^*$  fueron transformados con una función del tipo raíz cuadrada ( $\sqrt{\quad}$ ).

**Tabla 3.8.** Parámetros reológicos  $G'_0$ ,  $n$ ,  $G''_{(1\text{ rad/s})}$ ,  $\tan \delta_{(1\text{ rad/s})}$  y  $\eta^*_{(1\text{ rad/s})}$  de las jaleas enriquecidas con una sola variedad de fibra: trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M) y sus combinaciones: MP11, BP11 y TP11.

Muestra	$G'_0$ (Pa.s <sup>n</sup> )	n (-)	$G''_{(1\text{ rad/s})}$ (Pa)	$\tan \delta_{(1\text{ rad/s})}$ (-)	$\eta^*_{(1\text{ rad/s})}$ (Pa.s)
T	370 ± 110 <sup>e</sup>	0.156 ± 0.005 <sup>a</sup>	78 ± 25 <sup>d</sup>	0.211 ± 0.010 <sup>b</sup>	378 ± 113 <sup>e</sup>
B	413 ± 95 <sup>d,e</sup>	0.151 ± 0.008 <sup>a</sup>	90 ± 22 <sup>c,d</sup>	0.217 ± 0.007 <sup>a,b</sup>	423 ± 97 <sup>e</sup>
P	669 ± 81 <sup>b</sup>	0.114 ± 0.009 <sup>c</sup>	99 ± 5 <sup>b,c</sup>	0.150 ± 0.013 <sup>d</sup>	676 ± 80 <sup>e</sup>
M	1085 ± 264 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.014 <sup>a</sup>	242 ± 45 <sup>a</sup>	0.226 ± 0.018 <sup>a</sup>	1111 ± 267 <sup>d</sup>
MP11	686 ± 66 <sup>b</sup>	0.126 ± 0.009 <sup>b</sup>	115 ± 8 <sup>b</sup>	0.168 ± 0.008 <sup>c</sup>	696 ± 66 <sup>a</sup>
BP11	514 ± 69 <sup>c,d</sup>	0.128 ± 0.004 <sup>b</sup>	88 ± 10 <sup>c,d</sup>	0.171 ± 0.003 <sup>c</sup>	521 ± 70 <sup>c</sup>
TP11	598 ± 100 <sup>b,c</sup>	0.131 ± 0.011 <sup>b</sup>	101 ± 12 <sup>b,c</sup>	0.170 ± 0.012 <sup>c</sup>	607 ± 100 <sup>b</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Al comparar los valores de las propiedades viscoelásticas de las muestras (**Tabla 3.8**) que contenían un solo tipo de fibra con las que contenían una combinación de estas, se pudo observar que la combinación manzana-plántago (muestra MP11) redujo el valor de  $G'_0$  y  $G''_{(1\text{ rad/s})}$  significativamente en comparación con la muestra M, mientras que no presentó diferencias significativas con respecto a P. Por otro lado, la combinación bambú-plántago (muestra BP11) redujo significativamente el valor de  $G'_0$  con respecto a P, pero no presentó diferencias significativas con respecto de B, mientras que no hubo efecto significativo sobre  $G''_{(1\text{ rad/s})}$ . Por último, la combinación trigo-plántago (muestra

TP11) aumentó significativamente el valor de  $G'_{\omega}$  y  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$  respecto de T pero no presentó diferencias significativas con respecto de P. Al analizar el efecto de la combinación de fibras sobre  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  se pudo observar que la mezcla MP11 produjo una reducción significativa respecto de M y un aumento significativo respecto de P, mientras que las combinaciones BP11 y TP11 aumentaron la viscosidad compleja de manera significativa respecto de las muestras B y T respectivamente, y la redujeron significativamente respecto de P en ambos casos. Con respecto a la  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ , las muestras MP11, BP11 y TP11 mostraron una reducción significativa de la  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  respecto de las muestras M, B y T respectivamente, es decir que la combinación de estas fibras con plántago aumentó el carácter sólido de las muestras.

A continuación, se analizan los resultados considerando la regla de mezclado utilizada en la Sección 3.2.1. En este caso se calcularon los valores experimentales de  $G^*$  a una frecuencia angular  $\omega = 1 \text{ rad/s}$  (**Tabla 3.9**), y utilizando los valores de  $G^*_{(1 \text{ rad/s})}$  de las jaleas con una sola variedad de fibra en las Ecs. 2.4 y 2.5, se obtuvieron los valores predichos para las jaleas enriquecidas con combinaciones de fibras (**Tabla 3.9**).

Como se puede observar las jaleas enriquecidas con una combinación de fibras presentaron un comportamiento reológico intermedio al de las jaleas enriquecidas con cada variedad de fibra correspondiente (por ej. MP11 resultó intermedio entre M y P, etc.). Más aún, los valores predichos de  $G^*$  por la regla de mezclado se aproximaron a los valores experimentales obtenidos, a diferencia de los geles donde esta regla no se cumplió. Esto pudo deberse al cambio en el medio dispersante, y más probablemente a que en el caso de las jaleas se utilizó una pectina recién adquirida, y la preparación de las muestras con una y dos variedades de fibra se realizó con muy poca diferencia de tiempo. Finalmente, al igual que lo observado en los geles del Capítulo 2, el comportamiento reológico (descrito principalmente por  $G'_{\omega}$ ) en general estuvo dominado por la fibra que tuvo el efecto menos reforzante.

Como en la Sección 3.1 para obtener los parámetros del modelo del gel débil, las curvas  $\log G^*$  vs  $\log \omega$  de la **Figura 3.13** fueron ajustadas con la Ec (3.5). Los valores del ajuste obtenidos de los parámetros A y z se listan en la **Tabla 3.9**, con coeficientes de regresión mayores a 0.988.

**Tabla 3.9.** Parámetros del modelo del gel débil Ec. (3.5), y valores experimentales ( $G^*_{(1\text{rad/s})}$ ) y predichos ( $G^*_{c1}$  y  $G^*_{c2}$ ) del módulo complejo de las jaleas enriquecidas con fibra de trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M) y sus combinaciones (muestras MP11, BP11 y TP11)

Muestra	A (Pa.s <sup>1/z</sup> )	z (-)	$G^*_{(1\text{rad/s})}$ Pa	$G^*_{c1}$ Pa	$G^*_{c2}$ Pa
T	376 ± 113 <sup>e</sup>	5.85 ± 0.19 <sup>a</sup>	378 ± 113	-	-
B	421 ± 97 <sup>e</sup>	6.13 ± 0.35 <sup>a</sup>	423 ± 97	-	-
P	677 ± 80 <sup>b</sup>	8.26 ± 0.68 <sup>c</sup>	674 ± 80	-	-
M	1111 ± 269 <sup>a</sup>	6.25 ± 0.59 <sup>a</sup>	1111 ± 267	-	-
MP11	695 ± 66 <sup>b</sup>	7.55 ± 0.56 <sup>b,c</sup>	696 ± 66	894	840
BP11	520 ± 70 <sup>c,d</sup>	7.25 ± 0.21 <sup>b</sup>	521 ± 70	549	520
TP11	606 ± 100 <sup>b,c</sup>	7.20 ± 0.60 <sup>b</sup>	607 ± 100	527	485

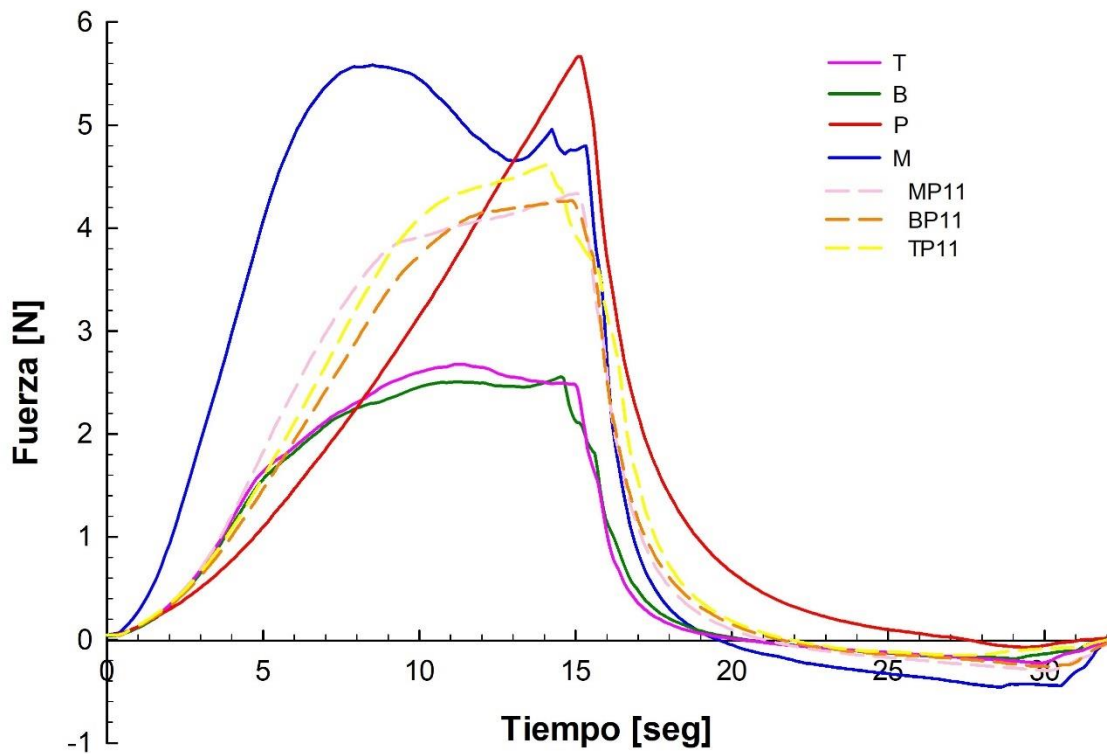
\*Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Como se puede observar en la **Tabla 3.9** la combinación de fibras produjo un efecto en las jaleas que resultó variable en todos los casos: la combinación de manzana-plántago (muestra MP11) produjo cambios solo respecto de la muestra M: redujo significativamente la rigidez (A) y aumentó significativamente el número interacciones en el gel (z). La combinación de bambú- plántago (muestra BP11), redujo los valores de

A y z respecto de P, y los incrementó respecto de B. Por último, la combinación de trigo-plántago (muestra TP11) aumentó los valores de A y z respecto de T y los redujo respecto de P (al igual que la combinación BP11). Como era de esperarse, las muestras con combinaciones de fibras presentaron propiedades (A y z) intermedias entre las muestras con una variedad de fibra. En general, la combinación de cualquiera de las fibras con plántago incrementó el número y la fuerza de las interacciones en el gel.

### **3.2.2** Propiedades mecánicas

Al igual que en la Sección 3.1.2 los datos experimentales de los parámetros de textura fueron analizados a dos tiempos de almacenamiento distintos,  $t_3$  y  $t_5$ . No se encontraron diferencias significativas entre los parámetros de textura analizados al día 7 ( $t_3$ ) y al día 30 ( $t_5$ ). Por lo tanto, para cada muestra se tomó el promedio de los datos recopilados en ambos tiempos para realizar el análisis estadístico y las comparaciones.



**Figura 3.14.** Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidas a partir del test de penetración de las jaleas enriquecidas con una sola variedad de fibra: manzana (M), bambú (B), trigo (T) y plántago (P) y sus combinaciones: manzana-plántago (MP11), bambú-plántago (BP11) y trigo-plántago (TP11).

La **Figura 3.14** muestra las curvas de Fuerza vs Tiempo de las jaleas adicionadas con un solo tipo de fibra y con una mezcla de fibras. Como se puede observar, al combinar las fibras las curvas toman una forma intermedia entre las curvas correspondientes a un solo tipo de fibra.

Nuevamente solo los valores de  $F_{max}$  y la adhesividad necesitaron de una transformación del tipo logarítmica ( $\text{Log}_{10}$ ) y del tipo potencial (potencia  $\lambda=1.63$ ) respectivamente. En la **Tabla 3.10** se muestran las medias correspondientes a los parámetros de textura de las jaleas con un solo tipo de fibra y las que fueron enriquecidas con las mezclas.

**Tabla 3.10.** Propiedades mecánicas del test de penetración de las jaleas enriquecidas con una sola variedad de fibra: trigo (T), bambú (B), plántago (P) y manzana (M) y sus combinaciones: manzana-plántago (MP11), bambú-plántago (BP11) y trigo-plántago (TP11).

Muestra	$F_{max}$	$F_e$	$d^*$	A	G
	(N)	(N)	(mm)	(N.s)	(N)
T	2.69 ± 0.77 <sup>c</sup>	0.82 ± 0.23 <sup>b</sup>	10.44 ± 0.62 <sup>b</sup>	-1.44 ± 0.61 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.20 <sup>c</sup>
B	2.55 ± 1.10 <sup>c</sup>	0.78 ± 0.44 <sup>b</sup>	12.44 ± 2.76 <sup>a,b</sup>	-1.33 ± 0.76 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.18 <sup>c</sup>
P	5.79 ± 1.89 <sup>a</sup>	0.59 ± 0.13 <sup>b</sup>	15.02 ± 0.01 <sup>a</sup>	-0.16 ± 0.11 <sup>a</sup>	3.29 ± 1.05 <sup>a</sup>
M	5.76 ± 1.63 <sup>a</sup>	2.29 ± 0.56 <sup>a</sup>	11.73 ± 3.65 <sup>a,b</sup>	-3.80 ± 0.82 <sup>c</sup>	1.79 ± 0.44 <sup>b</sup>
MP11	4.46 ± 0.62 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.18 <sup>b</sup>	13.71 ± 2.02 <sup>a,b</sup>	-2.01 ± 0.64 <sup>b</sup>	1.59 ± 0.17 <sup>b</sup>
BP11	4.31 ± 0.68 <sup>a</sup>	0.77 ± 0.15 <sup>b</sup>	14.36 ± 1.18 <sup>a,b</sup>	-1.66 ± 0.49 <sup>b</sup>	1.66 ± 0.26 <sup>b</sup>
TP11	4.54 ± 0.74 <sup>a</sup>	0.78 ± 0.17 <sup>b</sup>	14.98 ± 0.04 <sup>a,b</sup>	-1.17 ± 0.26 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.17 <sup>b</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

A partir de los resultados de la **Tabla 3.10** se puede observar que el valor de  $F_{max}$  de la mezcla MP11 no presentó diferencias significativas respecto de M ni de P. La combinación MP11 produjo una disminución significativa de  $F_e$  solo respecto de M, mientras que  $d^*$  no presentó diferencias ni con la muestra M ni con P. La combinación MP11 redujo la adhesividad en valor absoluto respecto de M mientras que la aumentó respecto de P. Por último, la gomosis de la muestra MP11 resultó significativamente menor respecto de P, mientras que no presentó diferencias respecto de M.

La mezcla BP11 aumentó significativamente  $F_{max}$  solo respecto de B, mientras que los parámetros  $F_e$  y  $d^*$  no fueron afectados por la combinación de las fibras. La

Adhesividad aumentó (en valor absoluto) solo respecto de P, y la gomosidad aumentó respecto a la muestra B y disminuyó respecto de P.

La mezcla TP11 produjo un aumento significativo de  $F_{max}$  solo respecto de T, y no produjo cambios significativos en los parámetros  $F_e$  y  $d^*$  (al igual que la mezcla BP11). La Adhesividad solo aumentó significativamente (en valor absoluto) respecto de P, mientras que la gomosidad aumentó respecto de T y disminuyó respecto de P.

En general, se puede decir que la combinación de plántago con cualquiera de las otras fibras redujo la gomosidad respecto de la jalea que tenía plántago únicamente. Además, se puede observar de los resultados de las tres combinaciones de fibra, que entre ellas no presentaron diferencias significativas en ninguno de los parámetros de textura analizados. Esto indica que las propiedades mecánicas de las mezclas fueron gobernadas por la fibra de plántago (la variedad en común en las tres mezclas), excepto la adhesividad que en todos los casos fue mayor en las mezclas que en la muestra P.

### 3.2.3 Sinéresis

Se determinó que no hubo efecto significativo del tiempo de almacenamiento sobre los valores de sinéresis de cada muestra, por lo que se promediaron los datos experimentales correspondientes a los tiempos  $t_3$  y  $t_5$  para cada muestra, a fin de determinar el efecto de la combinación de fibra sobre la sinéresis de la jalea, y comparar las muestras.

La **Tabla 3.11** muestra las medias de sinéresis de las jaleas adicionadas con un solo tipo de fibra (muestras M, B, T y P) y las jaleas que fueron adicionadas con la combinación de las fibras (muestras MP11, BP11 y TP11). En este caso los valores de sinéresis no necesitaron de ninguna transformación.



**Tabla 3.11.** Sinéresis (g de agua / 100 g producto) y parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) de las jaleas enriquecidas con una sola variedad de fibra: manzana (M), bambú (B), trigo (T) y plántago (P) y sus combinaciones: manzana-plántago (MP11), bambú-plántago (BP11) y trigo-plántago (TP11).

Muestra	Sinéresis (g / 100 g)	Color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
M	6.67 ± 0.48 <sup>b</sup>	14.61 ± 2.23 <sup>c</sup>	11.23 ± 1.17 <sup>b,c</sup>	10.47 ± 1.31 <sup>e</sup>
B	15.05 ± 0.79 <sup>a</sup>	35.29 ± 0.35 <sup>a</sup>	6.24 ± 0.84 <sup>a</sup>	23.0 ± 1.26 <sup>b,c</sup>
T	15.02 ± 1.12 <sup>a</sup>	33.88 ± 0.85 <sup>a</sup>	6.14 ± 0.85 <sup>a</sup>	23.98 ± 0.63 <sup>a,b,c</sup>
P	0.00 ± 0.00	30.56 ± 0.06 <sup>b</sup>	9.81 ± 2.90 <sup>b,c</sup>	21.14 ± 0.68 <sup>c,d</sup>
MP11	0.00 ± 0.00	16.50 ± 0.54 <sup>c</sup>	14.92 ± 2.43 <sup>c</sup>	19.37 ± 1.09 <sup>d</sup>
BP11	0.00 ± 0.00	30.93 ± 0.67 <sup>b</sup>	7.93 ± 0.39 <sup>a,b</sup>	25.62 ± 1.06 <sup>a,b</sup>
TP11	0.00 ± 0.00	30.44 ± 0.84 <sup>b</sup>	8.12 ± 0.14 <sup>a,b</sup>	26.16 ± 1.08 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Como podemos observar en la **Tabla 3.11** la combinación de fibras tuvo en efecto significativo (reducción) sobre la sinéresis de las jaleas, al igual que sucedió con los geles (Capítulo 2, Sección 3.2.3), ya que en todos los casos las muestras MP11, BP11 y TP11 no presentaron sinéresis. Esto se debió claramente a la presencia de la fibra de plántago en las mezclas, ya que fue la única variedad que eliminó la sinéresis de las jaleas al agregarla en forma individual.

### 3.2.4 Color

Los resultados de los parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) se presentan en la **Tabla 3.11**. En este caso las transformaciones realizadas fueron del tipo potencial (potencia  $\lambda=2.26$ )

para  $L^*$  y del tipo inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\quad}$ ) para  $a^*$ . La combinación de fibras tuvo efecto significativo sobre los 3 parámetros de color de las jaleas con fibra. Se puede observar que el agregado de la mezcla MP11 solo tuvo efecto significativo (aumento) sobre  $b^*$  (productos más amarillentos) con respecto a M, mientras que con respecto a P solo tuvo efecto significativo sobre  $L^*$  (reducción, productos más oscuros). Las mezclas BP11 y TP11 mostraron el mismo efecto sobre el color, es decir, solo hubo efecto significativo (reducción) sobre  $L^*$  (productos más oscuros) respecto de B y T respectivamente, mientras que respecto de P solo tuvo efecto significativo sobre  $b^*$  (aumento, productos más amarillentos).

Los resultados indican que cuando se agregó una mezcla de fibras, el parámetro  $L^*$  estuvo gobernado por la variedad de fibra que dio el producto más oscuro al agregarla en forma individual, el parámetro  $a^*$  de cada mezcla no fue significativamente distinto al de las jaleas con cada variedad de fibra, y el parámetro  $b^*$  estuvo gobernado por la variedad de fibra que dio el producto más amarillento al agregarla en forma individual.

En conclusión, la combinación de fibras en la proporción 1:1 no produjo cambios desfavorables sobre las propiedades reológicas de las jaleas con fibra, aunque se observó que las mismas estuvieron dominadas por la fibra que tenía el efecto menos reforzante. Además, fue posible reducir la gomosidad de la muestra P, aunque las propiedades mecánicas de las jaleas adicionadas con una combinación de fibras estuvieron dominadas principalmente por la fibra de plántago (salvo en la adhesividad). En cuanto a la sinéresis, la combinación de plántago con cualquiera de las fibras estudiadas resultó un método efectivo para eliminarla. La combinación de fibras no mejoró la luminosidad de las jaleas como sucedió con los geles del Capítulo 2, lo que podría deberse a que los geles estaban preparados a base de un buffer sin color (transparente) mientras que las jaleas fueron preparadas a base de un jugo de manzana que tenía un color marrón-amarillento.

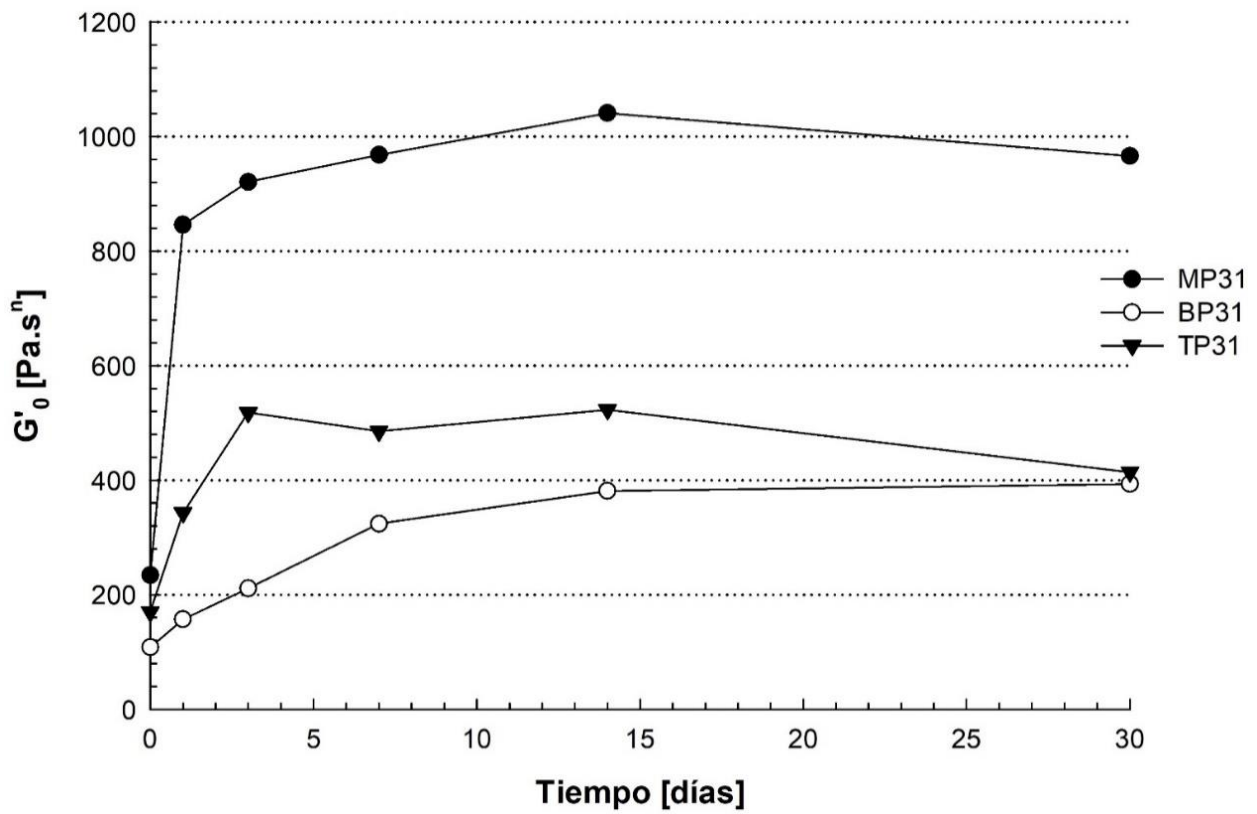
Por último, fue posible mejorar la palatabilidad de las muestras que tenían trigo o bambú únicamente, combinándolos con plántago. A partir de estos resultados y teniendo en cuenta que la fibra de plántago fue la que proporcionó el aspecto gomoso en las muestras, se decidió reducir la proporción de esta fibra en las combinaciones y evaluar el efecto de esta reducción sobre las propiedades reológicas, mecánicas, el color y la sinéresis de las jaleas con fibra.

### **3.3 Efecto del agregado de combinaciones de dos variedades de fibra en proporción 3:1**

Teniendo en cuenta los resultados y observaciones de la Sección 3.2, en esta sección se propuso optimizar la formulación reduciendo la proporción de la fibra de plántago a un 25% p/p en las mezclas con manzana, bambú y trigo. De esta manera en cada combinación quedó una proporción de 3 partes de una variedad de fibra (M, B o T) y 1 parte de plántago, y por lo tanto estas muestras se denominaron MP31, BP31 y TP31.

#### **3.3.1 Propiedades reológicas**

Los datos  $G'$  vs  $\omega$  de las mezclas MP31, BP31 y TP31 a los distintos tiempos de almacenamiento fueron ajustados con la Ec. (3.4), y los valores de  $G'_0$  y  $n$  obtenidos fueron representados en la **Figura 3.15** y listados en la **Tabla 3.12**. Los datos experimentales no necesitaron de ninguna transformación. Al igual que en las Secciones 3.1.1 y 3.2.1, luego de un incremento inicial significativo de  $G'_0$  entre  $t_0$  y  $t_1$ , no hubo cambios significativos de  $G'_0$  y  $n$  desde  $t_2$  a  $t_5$ , para las mezclas MP31, BP31 y TP31 (**Tabla 3.12**). Por lo tanto, se consideró que a partir del día 3 ( $t_2$ ) las jaleas con fibra alcanzaron su rigidez máxima de equilibrio, y luego sus propiedades reológicas se mantuvieron constantes. En consecuencia, se promediaron los datos experimentales de cada muestra entre  $t_2$  y  $t_5$ .



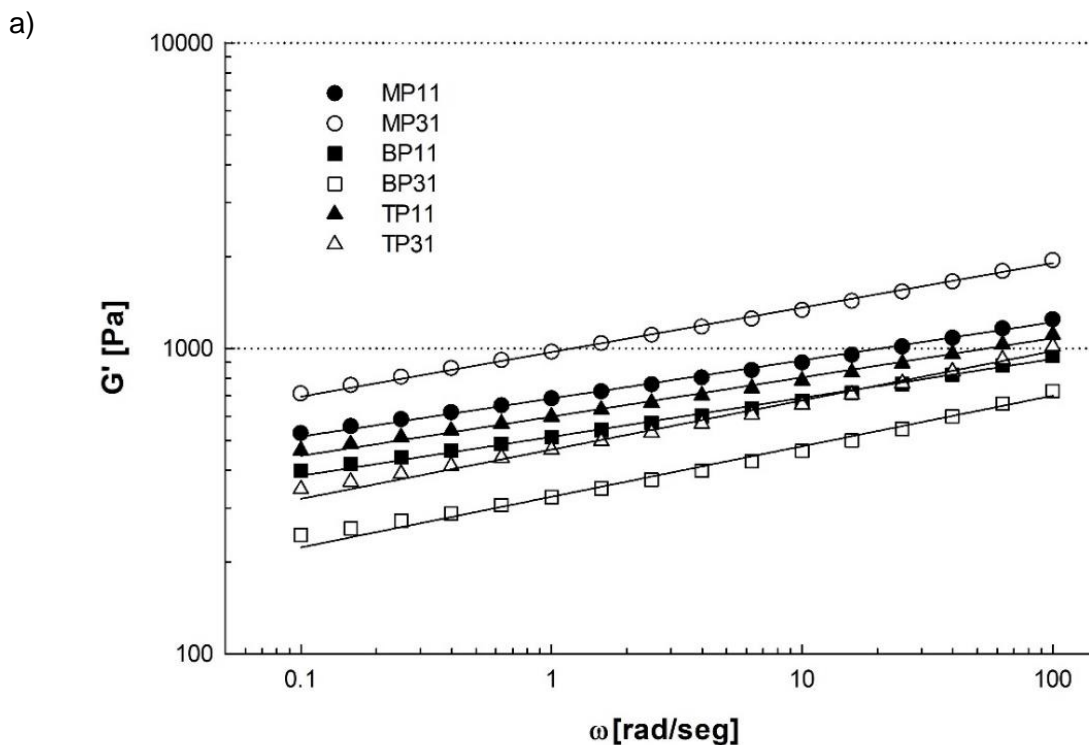
**Figura 3.15.** Evolución del módulo elástico  $G'_0$  durante almacenamiento de las jaleas enriquecidas con las combinaciones de fibras reducidas en la cantidad de plántago (MP31, BP31 y TP31).

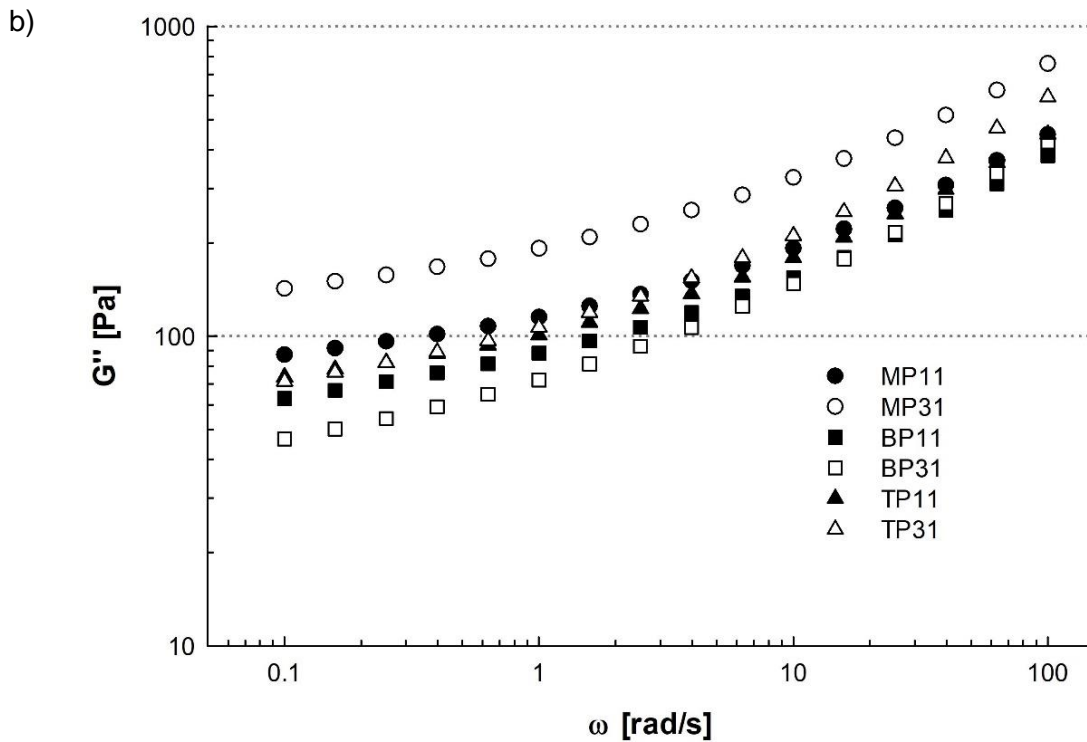
**Tabla 3.12.** Coeficientes  $G'_0$ ,  $n$  y  $R^2$  obtenidos a partir del ajuste Ec. (3.4), a los distintos tiempos de almacenamiento de las jaleas adicionadas con combinaciones de fibra en proporción 3:1 (muestras MP31, BP31 y TP31).

Muestra	Tiempo (días)	$G'_0$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (-)	$R^2$
MP31	0	234 ± 89 <sup>b</sup>	--	--
	1	846 ± 132 <sup>a</sup>	0.155 ± 0.010 <sup>b</sup>	0.993
	3	921 ± 167 <sup>a</sup>	0.147 ± 0.009 <sup>b</sup>	0.997
	7	968 ± 83 <sup>a</sup>	0.150 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.997
	14	1041 ± 90 <sup>a</sup>	0.148 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.999
	30	966 ± 32 <sup>a</sup>	0.148 ± 0.005 <sup>b</sup>	0.997
BP31	0	108 ± 31 <sup>b</sup>	--	--
	1	157 ± 16 <sup>b</sup>	0.213 ± 0.020 <sup>b</sup>	0.985
	3	211 ± 9 <sup>a,b</sup>	0.186 ± 0.007 <sup>c</sup>	0.989
	7	324 ± 27 <sup>a</sup>	0.170 ± 0.006 <sup>c</sup>	0.988
	14	381 ± 31 <sup>a</sup>	0.161 ± 0.005 <sup>c</sup>	0.993
	30	393 ± 42 <sup>a</sup>	0.164 ± 0.002 <sup>c</sup>	0.995
TP31	0	170 ± 56 <sup>b</sup>	--	--
	1	343 ± 58 <sup>a,b</sup>	0.174 ± 0.020 <sup>b</sup>	0.985
	3	516 ± 9 <sup>a</sup>	0.162 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.993
	7	485 ± 110 <sup>a</sup>	0.162 ± 0.004 <sup>b</sup>	0.994
	14	523 ± 91 <sup>a</sup>	0.159 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.994
	30	414 ± 27 <sup>a</sup>	0.163 ± 0.008 <sup>b</sup>	0.991

\*Medias con una letra en común (en la misma columna, para cada muestra) no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

En la **Figura 3.16 (a y b)** se representan los promedios de los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) durante el barrido de frecuencias de las jaleas adicionadas con mezclas de fibras. Como se puede observar la reducción de fibra de plántago en las mezclas no tuvo el mismo efecto en todos los casos, ya que en el caso de la mezcla con manzana (Muestra MP31) las curvas resultantes de  $G'$  y  $G''$  se desplazaron hacia arriba respecto de la curva correspondiente a la muestra MP11. En cambio en el caso de la mezcla con fibra de bambú (muestra BP31) la reducción de plántago provocó un desplazamiento de las curvas de  $G'$  y  $G''$  hacia abajo respecto de la curva de la muestra BP11. Por último, en el caso de la mezcla con fibra de trigo (muestra TP31) la reducción de plántago provocó un desplazamiento hacia abajo de  $G'$  y hacia arriba de  $G''$ , con respecto de la muestra TP11. También se puede observar que aún con la reducción de fibra de plántago en las combinaciones, los módulos  $G'$  y  $G''$  de todas las muestras siguieron mostrando dependencia con la frecuencia.

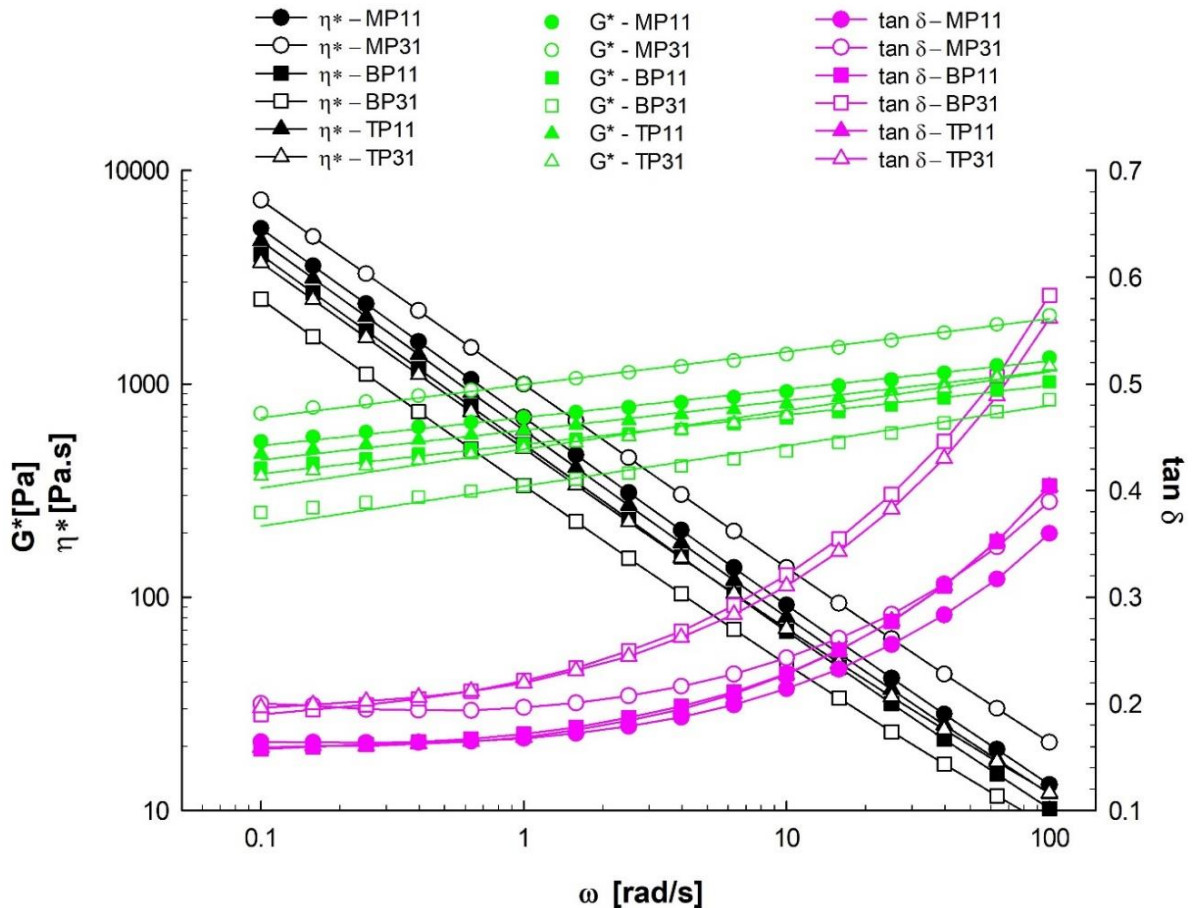




**Figura 3.16.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$ , durante el barrido de frecuencia de las jaleas adicionadas con combinaciones de fibra: proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y proporción 3:1 (MP31, BP31 y TP31).

En la **Figura 3.17** se muestra la evolución de  $G^*$ ,  $\tan \delta$ , y  $\eta^*$  calculados con las Ecs. (2.3), (3.1) a (3.2) utilizando las curvas promedio de  $G'$  y  $G''$  de las **Figuras 3.16 a y b**, durante el barrido de frecuencias para las mezclas de fibra con 50% y 25% p/p de plántago. Se puede observar para el caso de la viscosidad compleja que todas las muestras siguieron un comportamiento pseudoplástico (como en las secciones anteriores), y que el único efecto que tuvo la reducción de plántago sobre la viscosidad compleja fue un desplazamiento hacia abajo de las curvas de las muestras BP31 y TP31 respecto de las curvas BP11 y TP11 respectivamente, y un desplazamiento hacia arriba de MP31 respecto de MP11. También se puede observar que en todos los casos la reducción de plántago en la mezcla provocó un aumento de  $\tan \delta$  a bajas frecuencias,

mientras que a altas frecuencias solo las muestras BP31 y TP31 mostraron un aumento más notorio de  $\tan \delta$ . En general se podría decir que la reducción de plántago en las combinaciones de fibra provocó un aumento del carácter viscoso (aumento de  $\tan \delta$ ) de las jaleas, respecto a aquellas que tenían iguales proporciones de cada tipo de fibra.



**Figura 3.17.** Evolución de  $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) durante el barrido de frecuencias de las jaleas enriquecidas con mezclas de fibras: proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y proporción 3:1 (MP31, BP31 y TP31).

En la **Tabla 3.13** se presentan las medias de  $G'_0$  y  $n$  luego del ajuste de los datos experimentales  $G'$  vs  $\omega$  (**Figura 3.16 a**) con la Ec. (3.4) (los valores de  $R^2$  fueron mayores a 0.991). Como módulo viscoso representativo de cada muestra se tomó el valor de  $G''$



a  $\omega = 1$  rad/s (**Figura 3.16 b**), así como los valores de  $\eta^*$  y  $\tan \delta$  a  $\omega = 1$  rad/s para poder comparar las muestras.

**Tabla 3.13.** Parámetros reológicos  $G'_0$ ,  $n$ ,  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ ,  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  y  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  de las jaleas enriquecidas con combinaciones de fibras en proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y proporción 3:1 (MP31, BP31 y TP31).

Muestra	$G'_0$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (-)	$G''_{(1 \text{ rad/s})}$ (Pa)	$\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ (-)	$\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$ (Pa.s)
MP11	686 ± 66 <sup>b</sup>	0.126 ± 0.01 <sup>c</sup>	115 ± 8 <sup>b</sup>	0.168 ± 0.008 <sup>a</sup>	696 ± 66 <sup>b</sup>
MP31	974 ± 100 <sup>a</sup>	0.148 ± 0.006 <sup>b</sup>	192 ± 18 <sup>a</sup>	0.197 ± 0.004 <sup>b</sup>	993 ± 101 <sup>a</sup>
BP11	514 ± 69 <sup>c,d</sup>	0.128 ± 0.00 <sup>c</sup>	88 ± 10 <sup>c</sup>	0.171 ± 0.003 <sup>a</sup>	521 ± 70 <sup>c,d</sup>
BP31	327 ± 74 <sup>e</sup>	0.170 ± 0.011 <sup>a</sup>	72 ± 13 <sup>d</sup>	0.224 ± 0.018 <sup>c</sup>	335 ± 80 <sup>e</sup>
TP11	598 ± 100 <sup>b,c</sup>	0.131 ± 0.01 <sup>c</sup>	101 ± 12 <sup>b,c</sup>	0.170 ± 0.012 <sup>a</sup>	607 ± 100 <sup>b,c</sup>
TP31	485 ± 77 <sup>d</sup>	0.161 ± 0.005 <sup>a</sup>	107 ± 16 <sup>b</sup>	0.221 ± 0.020 <sup>c</sup>	497 ± 78 <sup>d</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

De los resultados presentados en la **Tabla 3.13** se puede observar que la reducción de plántago al 25 %p/p en las mezclas (proporción 3:1) provocó cambios con respecto a las combinaciones con 50 %p/p (proporción 1:1) de plántago. La reducción de plántago en la combinación manzana-plántago (muestra MP31) provocó un aumento significativo de  $G'_0$  y  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$  respecto a la muestra MP11. Por otro lado, la reducción de plántago en las combinaciones bambú-plántago y trigo-plántago (muestras BP31 y TP31) provocó una reducción significativa de  $G'_0$  respecto de las muestras BP11 y TP11, mientras que en el caso de  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$  la reducción de plántago produjo efectos

significativos (reducción) sobre BP31 respecto de BP11. Puede decirse (tomando como referencia solo el valor de  $G'_0$ ) que al reducir la proporción de plántago agregado, en la mezcla resultante dominó el comportamiento de la fibra que se encontraba en mayor proporción, acercándose más al comportamiento de las jaleas que contenían un solo tipo de fibra (muestras M, B o T). En cuanto al efecto sobre la  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  la reducción del contenido de plántago (muestras MP31, BP31 y TP31) provocó en todos los casos un aumento significativo de este parámetro, indicando un aumento del carácter viscoso de la muestra con respecto a aquellas muestras que tenían iguales proporciones de ambas fibras (muestras MP11, BP11 y TP11 respectivamente). Por último, la viscosidad compleja  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  siguió la misma tendencia que  $G'_0$ , lo que indica que estuvo gobernada por el módulo elástico de las muestras, como sucedió con anterioridad (Secciones 3.1 y 3.2).

En la **Tabla 3.14** se presentan los valores experimentales y predichos de  $G^*$  calculados para las jaleas enriquecidas con combinaciones de fibras en proporción 3:1, de forma análoga a la Sección 3.2.1. En este caso en las Ecs. (2.4) y (2.5) se utilizaron las fracciones másicas  $x = 0.25$  para plántago e  $y = 0.75$  para la otra variedad de fibra en la combinación.

Como se puede observar, para las jaleas con menor contenido de plántago en la combinación los valores predichos por la regla de mezclado fueron similares a los obtenidos experimentalmente, al igual que lo observado en la Sección 3.2.

Para obtener los parámetros del modelo del gel débil, las curvas  $\log G^*$  vs  $\log \omega$  de la **Figura 3.17** fueron ajustadas con la Ec (3.5). Los valores del ajuste obtenidos de los parámetros A y z se listan en la **Tabla 3.14**, con coeficientes de regresión mayores a 0.992.

**Tabla 3.14.** Parámetros del modelo del gel débil Ec. (3.5 y valores experimentales ( $G^*_{(1rad/s)}$ ) y predichos ( $G^*_{c1}$  y  $G^*_{c2}$ ) del módulo complejo de las jaleas enriquecidas con combinaciones de fibras en proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y en proporción 3:1 (MP31, BP31y TP31).

Muestra	A (Pa.s <sup>1/z</sup> )	z (-)	$G^*_{(1rad/s)}$ (Pa)	$G^*_{c1}$ (Pa)	$G^*_{c2}$ (Pa)
MP11	695 ± 66 b	7.55 ± 0.56 a	696 ± 66	894	840
MP31	990 ± 103 a	6.47 ± 0.19 b	993 ± 101	1003	957
BP11	520 ± 70 c,d	7.25 ± 0.21 a	521 ± 70	549	520
BP31	332 ± 81 e	5.24 ± 0.43 c	335 ± 80	486	466
TP11	606 ± 100 b,c	7.20 ± 0.60 a	607 ± 100	527	485
TP31	496 ± 75 d	5.57 ± 0.22 c	497 ± 78	453	426

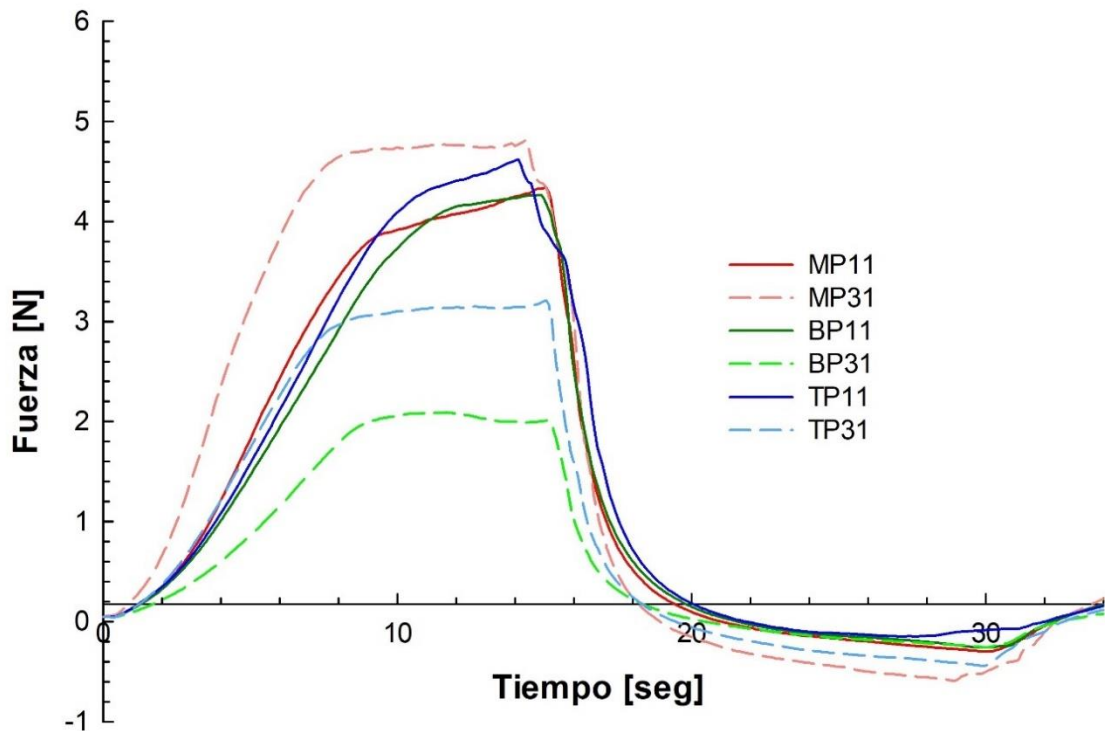
\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Como podemos ver en la **Tabla 3.14** la reducción del contenido de plántago en las combinaciones (muestras MP31, BP31 y TP31) tuvo un efecto variable en el comportamiento de los parámetros del modelo, según la muestra de la cual se trate. A partir de los resultados se puede observar que en el caso de la combinación de manzana y plántago, al reducir el contenido de plántago en la mezcla (muestra MP31), hubo un aumento significativo de A (fuerza de las interacciones) y una disminución significativa de z (número de interacciones). En los casos de las combinaciones de bambú y trigo con plántago, al reducir el contenido de plántago de la mezcla (muestras BP31 y TP31), se produjo una reducción significativa de la fuerza (A) y del número (z) de interacciones. Como se pudo ver anteriormente, el comportamiento de las jaleas con fibra al reducir el

contenido de plántago en la mezcla estuvo dominado por la fibra que se encontraba en mayor proporción.

### 3.3.2 Propiedades mecánicas

En la **Figura 3.18** se pueden observar las curvas de Fuerza vs Tiempo de las jaleas enriquecidas con mezclas de fibras, con 50 y 25 % p/p de plántago. Se puede observar que la reducción del contenido de plántago provocó cambios en la forma de las curvas y por lo tanto en las propiedades mecánicas analizadas.



**Figura 3.18.** Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidas a partir del test de penetración de las jaleas enriquecidas con mezclas de fibras: proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y proporción 3:1 (MP31, BP31 y TP31).

Primeramente, se determinó que no hubo efecto del tiempo de almacenamiento sobre las propiedades mecánicas entre  $t_3$  y  $t_5$ , como sucedió en las Secciones 3.1 y 3.2. Por lo tanto se promediaron los datos experimentales obtenidos a ambos tiempos para

comparar las muestras. En este caso las transformaciones realizadas sobre los parámetros analizados fueron: del tipo logarítmica (Log10) para  $F_{max}$ , del tipo inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\cdot}$ ) sobre  $F_e$ , y del tipo potencial (potencia  $\lambda=1.72$ ) para la adhesividad. Las medias de los parámetros de textura y los resultados de las comparaciones se listan en la **Tabla 3.15**.

**Tabla 3.15.** Propiedades mecánicas del test de penetración de las jaleas enriquecidas con mezclas de fibras: proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y proporción 3:1 (MP31, BP31 y TP31).

Muestra	$F_{max}$	$F_e$	$d^*$	A	G
	(N)	(N)	(mm)	(N.s)	(N)
MP11	4.46 ± 0.62 <sup>a,b</sup>	0.91 ± 0.18 <sup>b</sup>	13.71 ± 2.02 <sup>a,b</sup>	-2.01 ± 0.64 <sup>a</sup>	1.59 ± 0.17 <sup>a</sup>
MP31	5.08 ± 1.26 <sup>a</sup>	1.73 ± 0.59 <sup>c</sup>	14.73 ± 0.52 <sup>a,b</sup>	-4.71 ± 0.97 <sup>b</sup>	1.65 ± 0.45 <sup>a</sup>
BP11	4.31 ± 0.68 <sup>a,b</sup>	0.77 ± 0.15 <sup>b</sup>	14.36 ± 1.18 <sup>a,b</sup>	-1.66 ± 0.49 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.26 <sup>a</sup>
BP31	2.12 ± 0.44 <sup>c</sup>	0.48 ± 0.06 <sup>a</sup>	11.65 ± 1.88 <sup>b</sup>	-1.81 ± 0.41 <sup>a</sup>	0.75 ± 0.13 <sup>b</sup>
TP11	4.54 ± 0.74 <sup>a,b</sup>	0.78 ± 0.17 <sup>b</sup>	14.98 ± 0.04 <sup>a</sup>	-1.17 ± 0.26 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.17 <sup>a</sup>
TP31	3.24 ± 0.86 <sup>b,c</sup>	0.93 ± 0.27 <sup>b</sup>	12.94 ± 3.21 <sup>a,b</sup>	-3.70 ± 0.96 <sup>b</sup>	1.08 ± 0.26 <sup>b</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Como se puede observar (**Tabla 3.15**), la reducción del contenido de plántago provocó cambios significativos en los parámetros de textura analizados. En el caso de la mezcla de manzana y plántago (muestras MP11 y MP31) la reducción provocó un aumento significativo en  $F_e$  y la adhesividad (en valor absoluto). Para el caso de la mezcla de bambú y plántago (muestras BP11 y BP31), la reducción provocó una

disminución significativa en  $F_{max}$ ,  $F_e$  y  $G$ . Por último, en la combinación de trigo y plántago (muestras TP11 y TP31) la reducción en la proporción de plántago provocó un aumento significativo (valor absoluto) en la adhesividad y una reducción significativa de la gomosidad. Como sucedió con las propiedades reológicas, al reducir la cantidad de plántago en la combinación, las propiedades mecánicas fueron dominadas por la fibra que se encontraba en mayor proporción.

### 3.3.3 Sinéresis

Al igual que en las secciones anteriores, no hubo efecto del tiempo de almacenamiento en la sinéresis de cada muestra entre  $t_3$  (día 7) y  $t_5$  (día 30), por lo que fue posible promediar los valores a ambos tiempos para comparar las muestras. En la **Tabla 3.16** se detallan los promedios obtenidos para la sinéresis de las jaleas con las distintas mezclas de fibras.

**Tabla 3.16.** Sinéresis (g de agua / 100 g de producto) y parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) de las jaleas enriquecidas con mezclas de fibras, en proporción 1:1 (MP11, BP11 y TP11) y 3:1 (MP31, BP31 y TP31).

Muestra	Sinéresis (g / 100 g)	Color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
MP11	0.00 ± 0.00	16.50 ± 0.54 <sup>b</sup>	14.92 ± 2.43 <sup>c</sup>	19.37 ± 1.09 <sup>d</sup>
MP31	0.00 ± 0.00	13.12 ± 0.55 <sup>c</sup>	14.00 ± 0.69 <sup>c</sup>	14.47 ± 0.85 <sup>c</sup>
BP11	0.00 ± 0.00	30.93 ± 0.67 <sup>a</sup>	7.93 ± 0.39 <sup>a</sup>	25.62 ± 1.06 <sup>a</sup>
BP31	0.00 ± 0.00	29.53 ± 0.15 <sup>a</sup>	8.37 ± 0.68 <sup>a,b</sup>	26.11 ± 0.69 <sup>a</sup>
TP11	0.00 ± 0.00	30.44 ± 0.84 <sup>a</sup>	8.12 ± 0.14 <sup>a,b</sup>	26.16 ± 1.08 <sup>a</sup>
TP31	0.00 ± 0.00	29.80 ± 1.18 <sup>a</sup>	9.36 ± 0.57 <sup>b</sup>	27.20 ± 0.69 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Como se puede observar, el resultado obtenido es muy importante ya que tanto aquellas mezclas que tenían el 50% p/p de plántago como aquellas que tenían solo el 25% p/p, no presentaron sinéresis. Esto se debería principalmente a las propiedades de hidratación de la fibra de plántago, que a pesar de estar en menor proporción redujo a 0 g / 100 g la sinéresis de las jaleas.

#### **3.3.4 Color**

Las medias de los parámetros de color de las jaleas adicionadas con combinaciones de fibras se listan en la **Tabla 3.16**. Como se puede observar, la reducción del contenido de plántago solo tuvo efectos significativos en el caso de las mezclas de manzana y plántago, ya que provocó cambios significativos (reducción) en los valores de L\* y de b\* (producto más oscuro y menos amarillento). Esto era de esperarse dadas las características de la fibra de manzana que predominaron por estar en mayor proporción. En los casos de las mezclas de bambú-plántago y trigo-plántago la reducción del contenido de plántago no provocó cambios significativos en los parámetros de color.

Una de las conclusiones más importantes de esta sección es que con la reducción de plántago en las combinaciones de fibra fue posible reducir la gomosidad de las jaleas enriquecidas con combinaciones de fibra en proporción 1:1 (salvo para las combinaciones de manzana y plántago), sin afectar la sinéresis (que se mantuvo en 0 g / 100 g) ni la palatabilidad de las mismas (no presentaron sensación harinosa al paladar).

### **3.4 Comparación entre las jaleas enriquecidos con fibra y dulces de fruta comerciales**

Dados los resultados obtenidos en la sección anterior, las muestras MP31, BP31 y TP31 (**Figura 3.19**) fueron consideradas las formulaciones con las mejores propiedades combinadas entre las estudiadas, y por lo tanto fueron seleccionadas para ser comparadas con dos dulces de manzana comerciales (**Figura 3.20**).

Cabe aclarar que para poder realizar el análisis estadístico y las comparaciones entre las jaleas con fibra y los dulces comerciales, solo se tomaron los datos experimentales de las jaleas con fibra al  $t_5$  (día 30), tanto para las propiedades reológicas como para las mecánicas, de manera de no tener un sistema desbalanceado en la cantidad de réplicas.

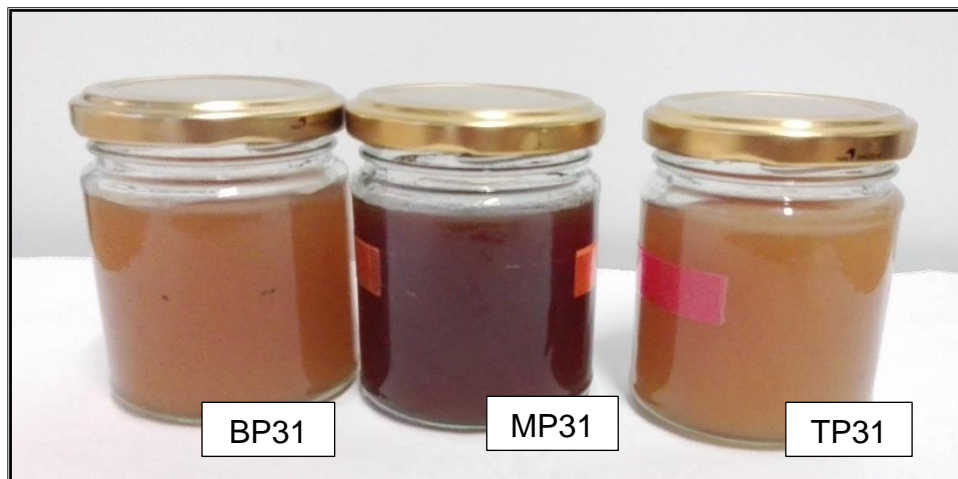


Figura 3.19. Muestras de jaleas enriquecidas con combinaciones de fibra en proporción 3:1.

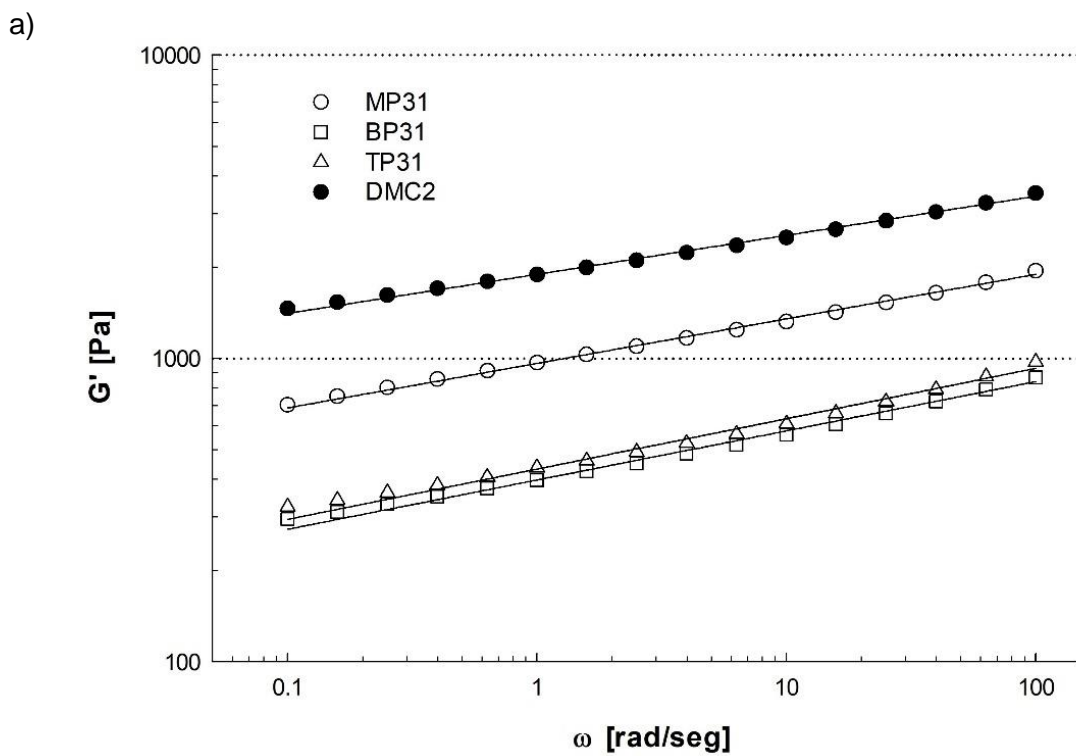


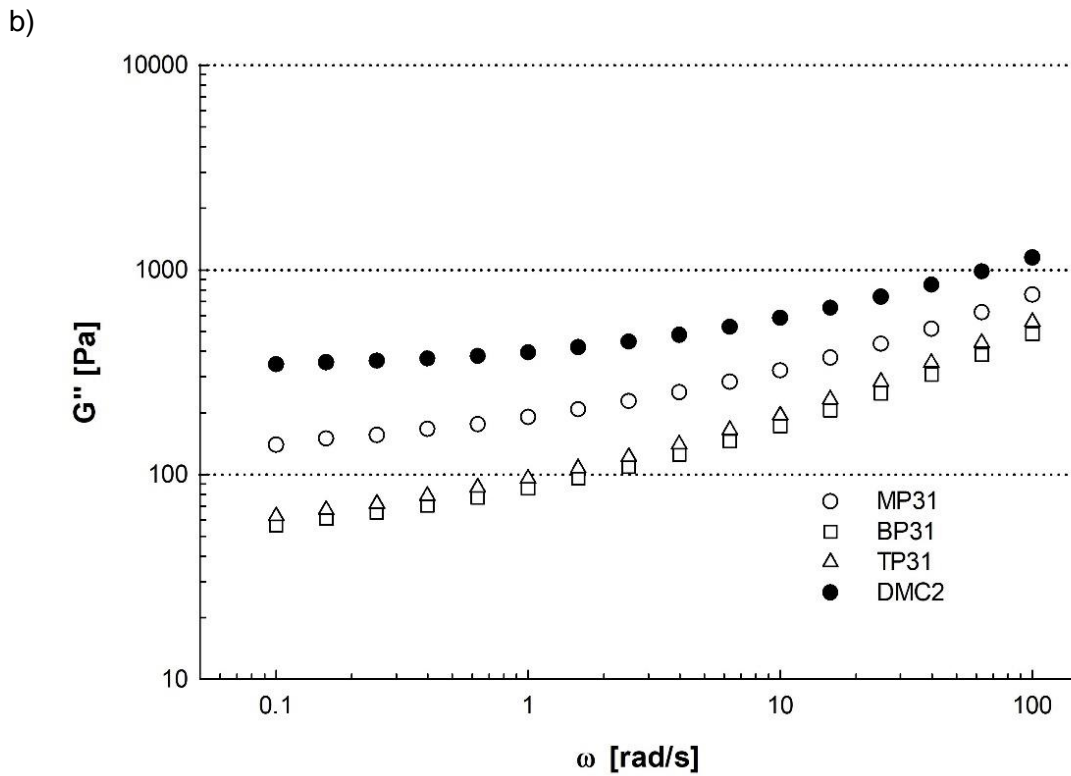
Figura 3.20. Dulces de manzana comerciales usados para comparación.



### 3.4.1 Propiedades reológicas

Los datos experimentales de  $G'$  y  $G''$  en función de la frecuencia angular de las jaleas con fibra (muestras MP31, BP31 y TP31) al tiempo  $t_5$  (**Figura 3.19**) fueron comparadas con el dulce comercial DMC2 (**Figura 3.20**). No se determinaron las propiedades reológicas del dulce DMC1 ya que el mismo no tenía una pulpa finamente molida sino que presentaba trozos de fruta relativamente grandes, por lo que se consideró que las mediciones en el reómetro no serían confiables.

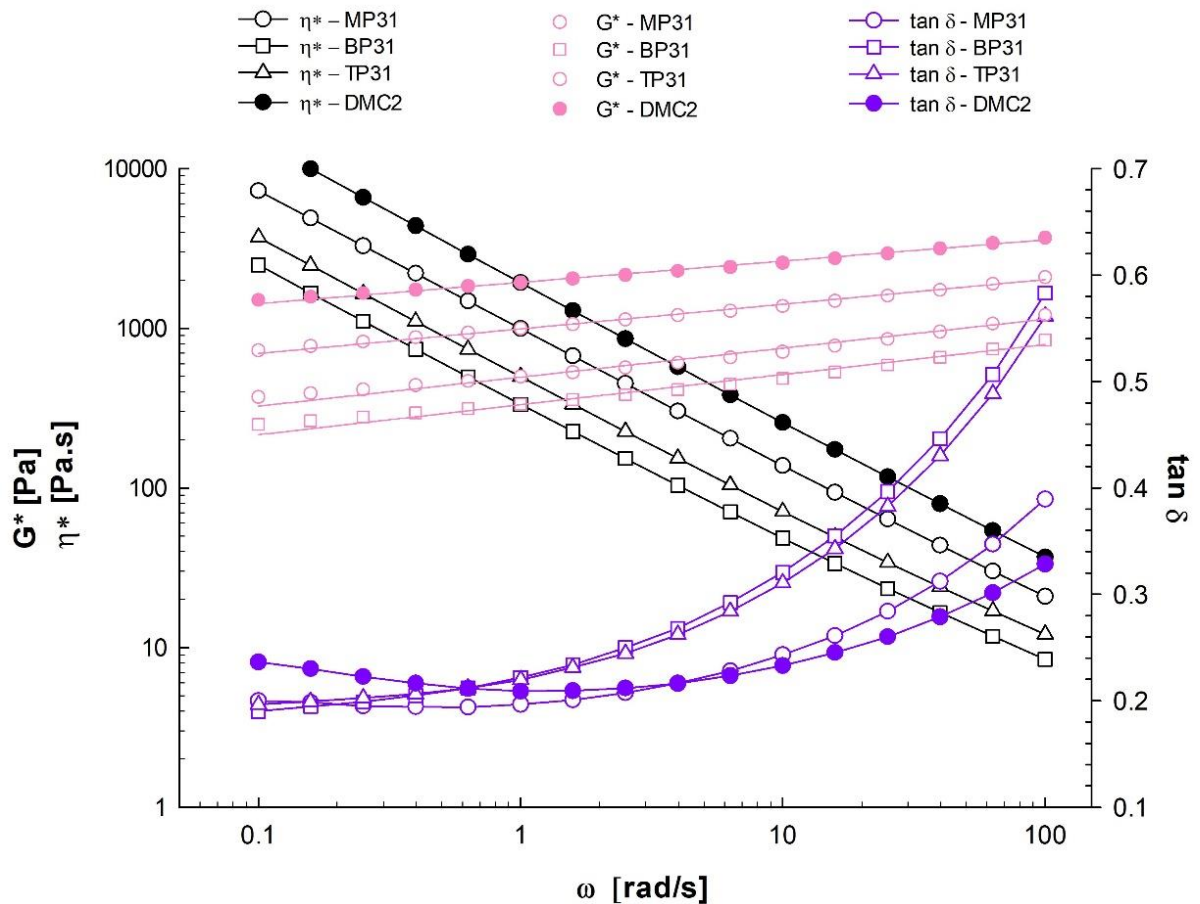




**Figura 3.21.** Evolución de a)  $G'$  y b)  $G''$ , durante el barrido de frecuencia de las jaleas enriquecidas con fibra dietaria (MP31, BP31, TP31) y el dulce comercial (DMC2).

Como puede observarse el dulce comercial presentó valores de las propiedades viscoelásticas ( $G'$  y  $G''$ ) algo mayores a los de las jaleas con fibra, aunque la dependencia con la frecuencia fue similar. Por lo tanto, los datos de  $G'$  vs  $\omega$  (**Figura 3.21 a**) fueron ajustados con la Ec. (3.4).

En la **Figura 3.22** se observa la evolución de  $\tan \delta$ ,  $G^*$  y  $\eta^*$  de las jaleas con fibra y de los dulces comerciales en función de la frecuencia angular. Los valores de  $G^*$ ,  $\tan \delta$ , y  $\eta^*$  fueron calculados con las Ecs. (2.2), (3.1) y (3.2) respectivamente.



**Figura 3.22.** Evolución de  $\tan \delta$ , módulo complejo ( $G^*$ ) y viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) de las jaleas adicionadas con fibra (MP31, BP31 y TP31) y el dulce comercial (DMC2).

Como podemos ver (**Figura 3.22**), la curva de viscosidad compleja ( $\eta^*$ ) del dulce comercial (muestra DMC2) estuvo por encima de las curvas de las jaleas con fibra (muestras MP31, BP31 y TP31), debido al mayor valor de sus propiedades viscoelásticas, aunque no se observan diferencias en la pendiente de las curvas.

Las diferencias más notorias entre las jaleas con fibra y el dulce comercial (DMC2) se observaron en las curvas de  $\tan \delta$ , donde se puede ver que a bajas frecuencias la muestra DMC2 presentó valores mayores de  $\tan \delta$  en comparación con las muestras MP31, BP31 y TP31, pero al aumentar la frecuencia la  $\tan \delta$  del dulce comercial se mantuvo casi constante, mientras que aumentó en las jaleas con fibra hasta alcanzar mayores valores a altas frecuencias, indicando un mayor carácter viscoso.

A continuación, en la **Tabla 3.17** se presentan las medias de los parámetros reológicos determinados para todas las muestras: los valores de  $G'_0$  y  $n$  obtenidos a partir del ajuste de las curvas promedio de la **Figura 3.24 a** con la Ec. (3.4) (valores de  $R^2$  mayores a 0.991), y los valores de  $G''$  (obtenido de las curvas promedio **Figura 3.24 b**),  $\tan \delta$  y  $\eta^*$  a  $\omega = 1 \text{ rad/s}$ .

**Tabla 3.17.** Parámetros reológicos  $G'_0$ ,  $n$ ,  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ ,  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  y  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  de las jaleas con fibra (MP31, BP31 y TP31) y el dulce comercial (DMC2).

Muestra	$G'_0$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (-)	$G''_{(1 \text{ rad/s})}$ (Pa)	$\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$ (-)	$\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$ (Pa.s)
MP31	966 ± 32 <sup>b</sup>	0.148 ± 0.005 <sup>b</sup>	191 ± 6 <sup>b</sup>	0.197 ± 0.001 <sup>a</sup>	985 ± 32 <sup>b</sup>
BP31	393 ± 42 <sup>a</sup>	0.164 ± 0.002 <sup>a</sup>	85 ± 6 <sup>c</sup>	0.218 ± 0.008 <sup>a</sup>	402 ± 42 <sup>c</sup>
TP31	414 ± 27 <sup>a</sup>	0.163 ± 0.008 <sup>a</sup>	96 ± 21 <sup>c</sup>	0.232 ± 0.043 <sup>a</sup>	425 ± 29 <sup>c</sup>
DMC2	1895 ± 71 <sup>c</sup>	0.129 ± 0.001 <sup>c</sup>	395 ± 15 <sup>a</sup>	0.208 ± 0.001 <sup>a</sup>	1935 ± 73 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Los datos experimentales fueron transformados con las siguientes funciones: del tipo inversa de la raíz cuadrada ( $1/\sqrt{\quad}$ ) para  $G'$ , del tipo logarítmica (Log10) para  $G''$  y del tipo raíz cuadrada ( $\sqrt{\quad}$ ) para  $\eta^*$ .

Como se puede observar en los resultados de la **Tabla 3.17** el DMC2 presentó valores de  $G'_0$  y  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$  significativamente mayores a los que se obtuvieron para las muestras MP31, BP31 y TP31. Esto podría deberse a que contuviera mayor concentración de pectina, ya que su concentración de sólidos solubles fue de 65%,

inferior a la de las jaleas con fibra (67- 69 % p/p). En cuanto al valor de n, se puede ver que el DMC2 presentó diferencias con respecto a todas las muestras.

La  $\tan \delta_{(1 \text{ rad/s})}$  de las muestras MP31, BP31 y TP31 no presentó diferencias significativas respecto del DMC2. En cuanto a  $\eta^*_{(1 \text{ rad/s})}$  se observó la misma tendencia presentada por  $G'_0$  (al igual que lo observado en las secciones anteriores de este capítulo), confirmando que la viscosidad compleja estuvo gobernada por el módulo elástico de las muestras.

Finalmente, los parámetros del modelo del gel débil se obtuvieron nuevamente del ajuste con la Ec. (3.5) de las curvas  $\log G^*$  vs  $\log \omega$  de la **Figura 3.22**. Los valores del ajuste obtenidos de los parámetros A y z se listan en la **Tabla 3.18**, con coeficientes de regresión mayores a 0.992.

**Tabla 3.18.** Parámetros del modelo para gel débil Ec. (3.5) de las jaleas enriquecidas con fibra MP31, BP31 y TP31 y el dulce comercial DMC2.

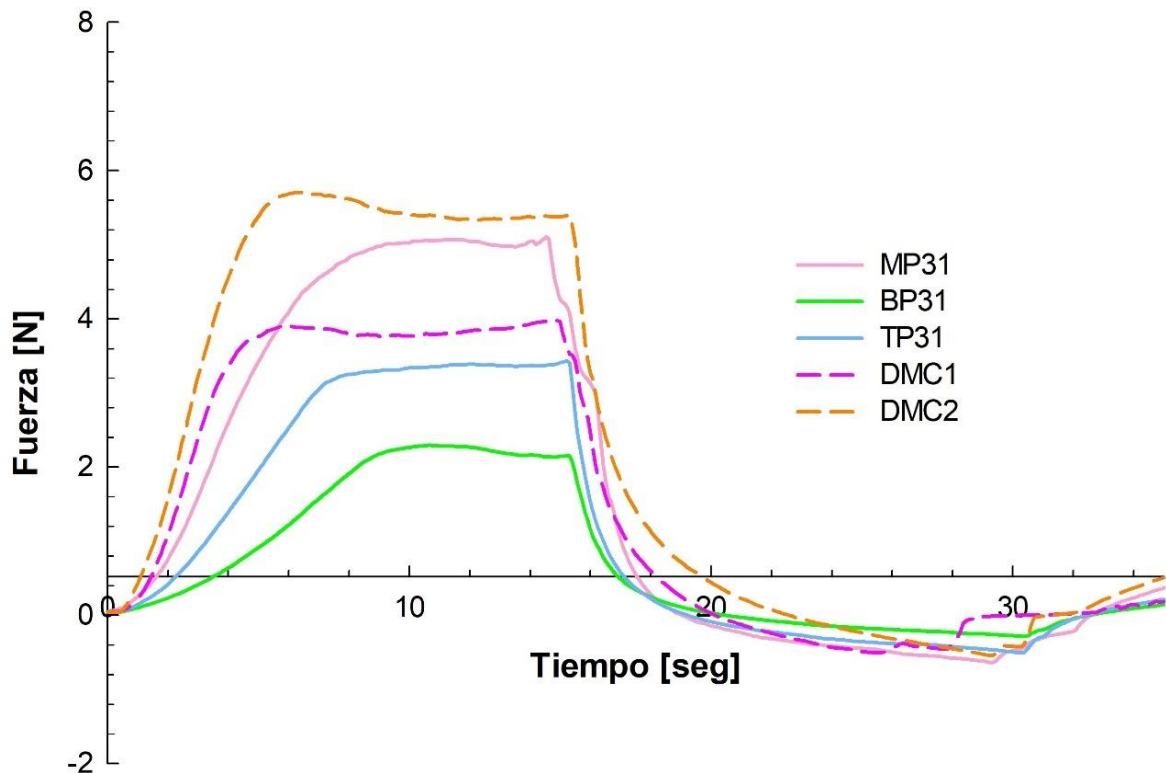
Muestra	A (Pa.s <sup>1/z</sup> )	z (-)
MP31	981 ± 29 <sup>b</sup>	6.44 ± 0.12 <sup>b</sup>
BP31	404 ± 45 <sup>c</sup>	5.45 ± 0.14 <sup>c</sup>
TP31	439 ± 87 <sup>c</sup>	5.30 ± 0.06 <sup>c</sup>
DMC2	1937 ± 73 <sup>a</sup>	7.50 ± 0.03 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

A partir de los resultados de la **Tabla 3.18** se puede observar que al igual que sucedió con los valores de  $G'_0$  y  $G''_{(1 \text{ rad/s})}$ , el parámetro A resultó mayor en el caso del

dulce comercial DMC2 con respecto a las jaleas con fibra, indicando una mayor rigidez del gel. Además de esto, el dulce comercial también presentó un mayor número de interacciones (z) respecto de las jaleas con fibra.

### 3.4.2 Propiedades mecánicas



**Figura 3.23.** Curvas Fuerza vs Tiempo obtenidas a partir del test de penetración para las jaleas enriquecidas con fibra dietaria (MP31, BP31 y TP31) y los dulces comerciales (DMC1 y DMC2).

La **Figura 3.23** muestra las curvas fuerza vs tiempo obtenidas de los ensayos de penetración realizados en los dulces comerciales y las jaleas con fibra, para los cuales se tomaron los datos experimentales al tiempo  $t_5$  (día 30). En este caso sí se efectuó la medición del dulce DMC1, ya que se asumió que la presencia de partículas grandes y trozos de fruta no afectaría los resultados obtenidos mediante un test de penetración.

En la **Tabla 3.19** se presentan las medias de los parámetros de textura que se obtuvieron a partir de las curvas promedio de la **Figura 3.23**. En este caso no hubo transformaciones de los datos experimentales.

**Tabla 3.19.** Propiedades mecánicas del test de penetración para las jaleas enriquecidas con fibra dietaria (MP31, BP31 y TP31) y los dulces comerciales (DMC1 y DMC2).

<b>Muestra</b>	<b>F<sub>max</sub></b> <b>(N)</b>	<b>F<sub>e</sub></b> <b>(N)</b>	<b>d*</b> <b>(mm)</b>	<b>A</b> <b>(N.s)</b>	<b>G</b> <b>N</b>
MP31	5.49 ± 1.47 <sup>a,b</sup>	1.88 ± 0.73 <sup>b,c</sup>	14.57 ± 0.76 <sup>a</sup>	-4.31 ± 0.44 <sup>b</sup>	1.79 ± 0.48 <sup>a</sup>
BP31	2.31 ± 0.37 <sup>c</sup>	0.51 ± 0.04 <sup>d</sup>	10.50 ± 1.07 <sup>a</sup>	-1.96 ± 0.17 <sup>a</sup>	0.82 ± 0.11 <sup>b</sup>
TP31	3.45 ± 0.89 <sup>b,c</sup>	1.05 ± 0.30 <sup>c,d</sup>	13.12 ± 3.26 <sup>a</sup>	-4.28 ± 0.56 <sup>b</sup>	1.14 ± 0.28 <sup>a,b</sup>
DMC1	4.05 ± 0.37 <sup>a,b,c</sup>	2.88 ± 0.53 <sup>a,b</sup>	8.65 ± 5.58 <sup>a</sup>	-2.88 ± 0.99 <sup>a,b</sup>	1.49 ± 0.13 <sup>a,b</sup>
DMC2	5.74 ± 0.39 <sup>a</sup>	3.89 ± 0.26 <sup>a</sup>	6.68 ± 1.32 <sup>a</sup>	-2.56 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.39 ± 0.10 <sup>a,b</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Como se puede observar, las propiedades mecánicas analizadas presentaron diferencias, en algunos casos significativas, entre los dulces comerciales y las jaleas con fibra. En el caso de  $F_{max}$  solo el DMC2 resultó significativamente mayor a las muestras BP31 y TP31, mientras que no presentó diferencias respecto de MP31. El valor de  $F_e$  del DMC2 resultó significativamente mayor a todas las jaleas con fibra, mientras que el valor de  $F_e$  para DMC1 solo resultó mayor que las muestras BP31 y TP31; en ambos casos podría deberse a un mayor contenido de pectina en los dulces comerciales, lo que les conferiría una mayor fuerza del gel. Respecto de  $d^*$ , las muestras

no presentaron diferencias significativas en su fragilidad. Con respecto a la adhesividad, solo los valores de las muestras MP31 y TP31 resultaron mayores que el DMC2, mientras que el DMC1 no mostró diferencias respecto de las jaleas con fibra. Por último, solo la muestra BP31 resultó significativamente menos gomosa que los dulces DMC1 y DMC2.

### 3.4.3 Sinéresis

En la **Tabla 3.20** se presentan los resultados de sinéresis obtenidos para las jaleas con fibra (obtenidos en la Sección 3.3.3) y para los dulces comerciales. El DMC2 no presentó sinéresis, al igual que las muestras MP31, BP31 y TP31. El DMC1 presentó un porcentaje de sinéresis significativamente alto, incluso mayor al 10 g /100 g tomado como límite de aceptabilidad en el Capítulo 2.

**Tabla 3.20.** Sinéresis (g de agua / 100 g de producto) y parámetros de color ( $L^*a^*b^*$ ) de las jaleas enriquecidas con fibra (MP31, BP31 y TP31) y los dulces comerciales (DMC1 y DMC2).

Muestra	Sinéresis (g / 100 g)	Color		
		$L^*$	$a^*$	$b^*$
MP31	0.00 ± 0.00	13.12 ± 0.55 <sup>d</sup>	14.00 ± 0.69 <sup>b</sup>	14.47 ± 0.85 <sup>c</sup>
BP31	0.00 ± 0.00	29.53 ± 0.15 <sup>c</sup>	8.37 ± 0.68 <sup>c</sup>	26.11 ± 0.69 <sup>b</sup>
TP31	0.00 ± 0.00	29.80 ± 1.18 <sup>c</sup>	9.36 ± 0.57 <sup>c</sup>	27.20 ± 0.69 <sup>b</sup>
DMC1	20.4 ± 1.1	40.35 ± 1.03 <sup>a</sup>	17.67 ± 0.35 <sup>a</sup>	43.35 ± 1.01 <sup>a</sup>
DMC2	0.00 ± 0.00	35.91 ± 0.34 <sup>b</sup>	14.04 ± 0.27 <sup>b</sup>	40.61 ± 0.98 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común, en la misma columna, no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).



#### 3.4.4 Color

En la **Tabla 3.20** se presentan los resultados de los parámetros de color de las jaleas con fibra (obtenidos en la Sección 3.3.4) y los dulces comerciales, entre los que se encontraron importantes diferencias. Los valores de luminosidad ( $L^*$ ) de los dulces comerciales resultaron significativamente mayores a los valores de las jaleas con fibra. El valor de  $a^*$  del DMC1 fue significativamente mayor (más rojizo) que los de las muestras MP31, BP31 y TP31, mientras que el DMC2 resultó significativamente más rojizo que las muestras BP31 y TP31. Por último, se puede observar que ambos dulces comerciales resultaron significativamente más amarillentos (mayor valor de  $b^*$ ) que las jaleas con fibra.

Una de las razones que podría explicar las diferencias en la luminosidad de los dulces comerciales con respecto a las jaleas con fibra podría ser que estas últimas fueron concentradas hasta 67-69 % de sólidos solubles, mientras que los dulces DMC1 y DMC2 presentaron 62 y 65 % de sólidos solubles, respectivamente. El porcentaje final de sólidos solubles está relacionado con el tiempo de cocción, por lo que en el caso de las jaleas con fibra indicaría un mayor tiempo de cocción, y por lo tanto una mayor caramelización de los azúcares y en definitiva un mayor oscurecimiento de las mismas.

#### 3.4.5 Análisis sensorial

De los 100 individuos que participaron del análisis sensorial, 66 fueron mujeres y 34 fueron hombres. Del total de panelistas (mujeres y hombres) el 61 % se encontraba dentro del rango de edad entre 26 a 35 años (**Figura 3.24**). A pesar de que el porcentaje de mujeres fue mayor, se sabe que la categoría sexual no interfiere en la agudeza del análisis sensorial y que este rango de edad es preferido ya que los individuos normalmente presentan hábitos de consumo bien definidos y buena salud (Lago-Vanzela et al., 2011). En cuanto a la frecuencia de consumo informada por los panelistas, se puede observar en la **Figura 3.25** que más del 70 % de los panelistas eran consumidores frecuentes de dulces, jaleas o mermeladas, ya que manifestaron

consumir estos productos diariamente o al menos 2 a 3 veces por semana. Esto indica que los panelistas cumplieron con el requisito de ser consumidores habituales del producto, necesario para validar el análisis sensorial.

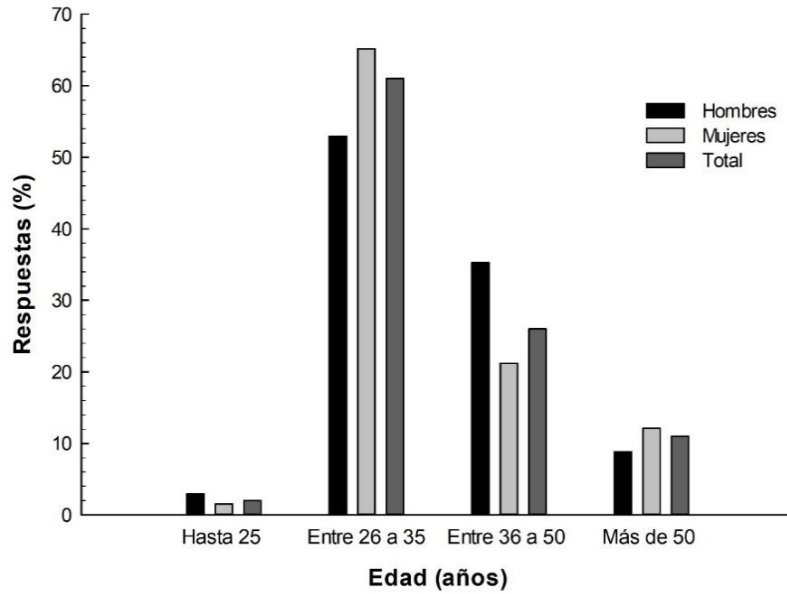


Figura 3.24. Distribución de edades de los participantes del análisis sensorial.

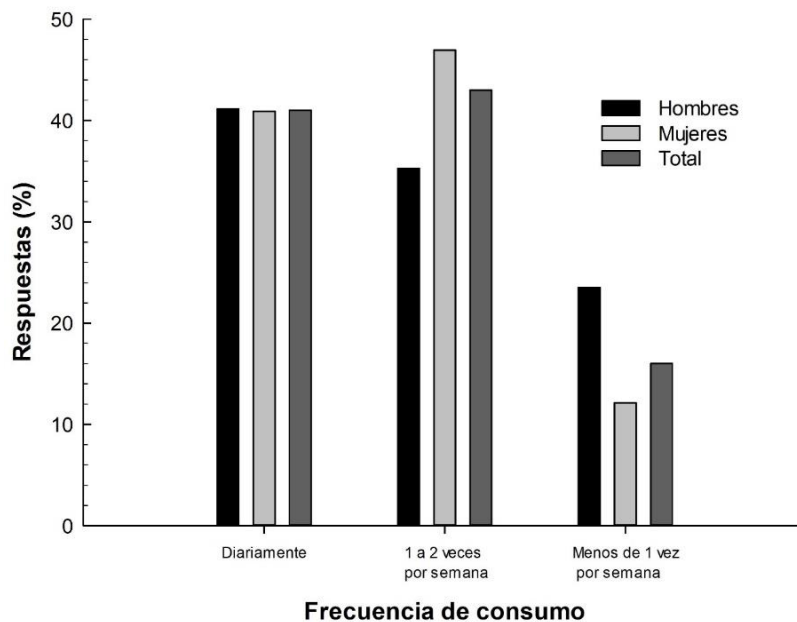


Figura 3.25. Frecuencia de consumo de dulces de fruta de los participantes del análisis sensorial.

En la **Tabla 3.21** se presentan las medias obtenidas para la aceptabilidad global de las jaleas enriquecidas con fibra y el dulce comercial. Los datos fueron transformados mediante una función del tipo potencial (potencia  $\lambda=1.39$ ).

**Tabla 3.21.** Aceptabilidad global de las jaleas enriquecidas con fibra (MP31, BP31, TP31) y el dulce de manzana comercial (DMC2).

Producto	Aceptabilidad global
MP31	5.63 ± 2.19 <sup>b</sup>
BP31	6.49 ± 1.75 <sup>a</sup>
TP31	5.78 ± 1.88 <sup>b</sup>
DMC2	6.76 ± 1.78 <sup>a</sup>

\*Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ ).

Los valores promedio de aceptabilidad global estuvieron entre 5.63 y 6.76 en la escala hedónica de 9 puntos. Tomando como media aceptable el puntaje 5 de la escala hedónica, se calculó un porcentaje total de panelistas que consideraban a las jaleas con fibra como aceptables. El orden de preferencia resultante fue: DMC2 (88%) > BP31 (87%) > TP31 (73%) > MP31 (72 %), donde el número entre paréntesis indica el mencionado porcentaje de aceptación de cada muestra. A partir de este resultado se puede decir que más del 70% de los panelistas consideraron como aceptables a las jaleas con fibra. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre el dulce comercial y la muestra BP31 (**Tabla 3.21**).

#### 4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

A partir de los resultados recopilados en este Capítulo, podemos afirmar que es posible obtener una jalea de fruta enriquecida con fibra dietaria, que cumple con los

requerimientos del CAA para ser declarada “fuente de fibra”, y que es aceptada por los consumidores. También podemos señalar que se trata de un producto novedoso, que puede ser considerado un alimento funcional por los beneficios a la salud que aporta la fibra dietaria que contiene.

En la Sección 3.1 de este Capítulo se vio que el agregado de un solo tipo de fibra a la jalea aumentó la magnitud de sus propiedades viscoelásticas y mecánicas, lo que se atribuyó al efecto reforzante de la fibra. El agregado de fibra de manzana y plántago fueron los únicos casos donde se mejoró la sinéresis de las jaleas. Por otra parte, todas las fibras provocaron una disminución de la luminosidad de las jaleas. Otros resultados significativos de esta sección fueron la elevada gomosidad de la jalea con plántago, y la palatabilidad negativa de las jaleas con trigo y bambú.

En la Sección 3.2 de este Capítulo, se adicionaron las fibras en combinaciones de a dos en iguales proporciones (1:1). En este caso también se observó el efecto reforzante aportado por la adición de fibra, aunque las propiedades reológicas estuvieron dominadas por la fibra que tenía el menor efecto reforzante. En cuanto a las propiedades mecánicas éstas fueron dominadas por la fibra de plántago (salvo la adhesividad). Además, cualquiera de las fibras en combinación con plántago redujeron la sinéresis a 0 g / 100 g producto. También se observó que la combinación de fibras redujo significativamente la gomosidad que tenía la jalea con plántago únicamente, además de eliminar la sensación harinosa de las jaleas con trigo o bambú únicamente.

En la Sección 3.3 de este Capítulo, se observó que al reducir el contenido de fibra de plántago en un 25% p/p en las combinaciones, se obtuvo un producto cuyas propiedades estuvieron dominadas por la fibra que se encontraba en mayor proporción, salvo en el caso de la sinéresis donde el aporte de la fibra de plántago la mantuvo en 0 g /100 g producto. Otro resultado interesante de la reducción del contenido de plántago en las combinaciones de fibra fue que se redujo la gomosidad de la jalea con respecto a aquellas adicionadas con una mezcla de fibra en iguales proporciones. Además, la

mayor proporción de fibra de trigo o bambú en sus combinaciones con plántago, no perjudicó la palatabilidad del producto.

Finalmente, cuando se compararon las jaleas con fibra con los dulces comerciales (Sección 3.4), se pudo observar que estos últimos presentaron mayores valores de las propiedades viscoelásticas y mecánicas, debido posiblemente a un mayor contenido de pectina en los mismos. Solo uno de los dulces comerciales no presentó sinéresis, y en cuanto al color ambos fueron más luminosos que las jaleas con fibra. Quizás el resultado más importante de esta sección fue el obtenido por el análisis sensorial, que demostró que las jaleas con fibra resultaron aceptables para los consumidores, y no hubo diferencia de aceptabilidad entre el dulce comercial y la jalea con las fibras de bambú y plántago en proporción 3:1.

Otro aspecto para resaltar es que la posibilidad de usar fibras que no son de origen frutícola permitió incrementar la fracción de fibra insoluble en el producto final, y los resultados conseguidos sientan la base para la elaboración de productos de confitería con la adición de fibra dietaria de distintos orígenes.

**5. ANEXO I**

**1. Formulario presentado a cada consumidor para el análisis sensorial de las jaleas enriquecidas con fibra dietaria de diversos orígenes.**

NOMBRE.....

Edad

- ( ) Hasta 25 años
- ( ) Entre 26 a 35 años
- ( ) Entre 36 a 50 años
- ( ) Más de 50 años

Frecuencia de Consumo

- ( ) Consume diariamente
- ( ) Consume una a dos veces por semana
- ( ) Consume menos de una vez por semana

- Usted recibirá CUATRO muestras de dulce de fruta. Deberá evaluarlas mirándolas y probándolas.
- Considere todas las características (ASPECTO, SABOR, CONSISTENCIA Y UNTABILIDAD). Por favor marque con una (X) según su grado de preferencia.

	Me disgusta mucho			Me es indiferente			Me gusta mucho		
276	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
826	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
974	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
125	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

COMENTARIOS OPCIONALES: si lo desea, indique CUAL producto le gustó o disgustó más y por qué (Use una o dos palabras, no oraciones).

\_\_\_\_\_

**SI LE GUSTÓ**

\_\_\_\_\_

Código \_\_\_\_\_

Motivo: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**NO LE GUSTÓ**

\_\_\_\_\_

Código \_\_\_\_\_

Motivo: \_\_\_\_\_

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, A., y Cheng, T. C. (2001). Optimization of reduced calorie tropical mixed fruit jam. *Food Quality and Preference*, 12(1), 63-68.
- Acosta, O., Víquez, F., y Cubero, E. (2008). Optimisation of low calorie mixed fruit jelly by response surface methodology. *Food Quality and Preference*, 19(1), 79-85.
- Acosta, O., Víquez, F., Cubero, E., y Morales, I. (2006). Ingredient levels optimization and nutritional evaluation of a low-calorie blackberry (*Rubus irasuensis Liebm.*) jelly. *Journal of Food Science*, 71(5), S390-S394.
- Alderte J. M. (2013). Alimentos funcionales. Consolidación de una tendencia. Alimentos Argentinos. Buenos Aires, Argentina. Disponible en:  
[http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/html/34/34\\_05\\_consolidacion\\_tendencia.htm](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/html/34/34_05_consolidacion_tendencia.htm)
- Álvarez, E., Cancela, M. A., y Maceiras, R. (2006). Effect of temperature on rheological properties of different jams. *International Journal of Food Properties*, 9(1), 135-146.
- Anónimo. (2000). Measurement of gel strength, rupture force, brittleness/elasticity and adhesiveness of marmalade formulation TA-XTPlus Application guide.
- Anónimo. (2013). Alimentos funcionales. *Alimentos Argentinos*. (Ficha 17; pp 1-3) Buenos Aires, Argentina. Diponible en:  
[http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha\\_17\\_AlímFunc.pdf](http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha_17_AlímFunc.pdf)
- Anónimo. (2018). Jams and other fruit spreads: Herbstreith & Fox. Disponible en:  
<http://www.herbstreith-fox.de/index.php?id=54&L=1>
- Ashwell M. (2004). Concepts of functional food. *Nutrition & Food Science*, 34(1), 47-47.
- Basu, S., Shivhare, U., y Raghavan, G. (2007). Time dependent rheological crcharacteristics of pineapple jam. *International Journal of Food Engineering*, 3(3).

- Basu, S., y Shivhare, U. S. (2010). Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 357-365.
- Basu, S., Shivhare, U. S., y Singh, T. V. (2013). Effect of substitution of stevioside and sucralose on rheological, spectral, color and microstructural characteristics of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 465-476.
- Basu, S., Shivhare, U. S., Singh, T. V., y Beniwal, V. S. (2011). Rheological, textural and spectral characteristics of sorbitol substituted mango jam. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 503-512.
- Basu, S., Shivhare, U. S., y Chakraborty, P. (2016). Influence of sugar substitute in rheology of fruit gel. In Anmed J. (Ed), *Advances in Food Rheology and Its Applications* (pp 355-376). Woodhead Publishing.
- Belovic, M., Torbica, A., Pajic-Lijakovic, I., y Mastilovic, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. *Food Chem*, 237, 1226-1233.
- Carbonell, E., Costell, E., y Duran, L. (1991a). Rheological behavior of sheared jams: relation with fruit content. *Journal of texture studies*, 22(1), 33-43.
- Carbonell, E., Costell, E., y Durán, I. (1991b). Rheological indices of fruit content in jams: influence of formulation on time-dependent flow of sheared strawberry and peach jams. *Journal of texture studies*, 22(4), 457-471.
- Código Alimentario Argentino. (2010). *Capítulo X: Alimentos azucarados*. Buenos Aires, Argentina: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Disponible en:  
[http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo\\_X.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/Capitulo_X.pdf)
- Código Alimentario Argentino. (2017). *Capítulo XVII: Alimentos de régimen o dietéticos*. Buenos Aires, Argentina: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Disponible en:  
[http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO\\_XVII.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XVII.pdf)



- Costell, E., Carbonell, E., y Duran, I. (1993). Rheological indices of fruit content in jams: effect of formulation on flow plasticity of sheared strawberry and peach jams. *Journal of texture studies*, 24(4), 375-390.
- Crandall, P. G., y Wicker, L. (1986). Pectin internal gel strength: Theory, measurement, and methodology. 310, 88-102.
- de Deckere, E. A. M., y Verschuren, P. M. (2000). Functional fats and spreads. In G. R. Gibson y C. M. Williams (Eds.), *Functional foods: principles and technology*. New York, USA: CRC.
- Díaz-Ocampo, R., Sánchez, R., y Franco, J. M. (2013). Rheology of commercial and model borojó jam formulations. *International Journal of Food Properties*, 17(4), 791-805.
- F. Guillon, M. Champ, y J. F. Thibault. (2011). Dietary fibre functional products. In G. R. Gibson y C. M. Williams (Eds.), *Functional foods: principles and technology* (pp. 315-364).
- Featherstone S. (2015). Jams, jellies, and related products. *A Complete Course in Canning and Related Processes. Volume 3: Processing Procedures for Canned Food Products* (pp. 313-349). Cambridge, UK. : Woodhead Publishing.
- Flory, P. J. (1953). *New approaches to investigation of fruit gels in gums and stabilizers for the food industry*. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- Fügel, R., Carle, R., y Schieber, A. (2005). Quality and authenticity control of fruit purées, fruit preparations and jams- A review. *Trends in Food Science & Technology*, 16(10), 433-441. doi: 10.1016/j.tifs.2005.07.001
- Gabriele, D., De Cindio, B., y D'Antona, P. (2001). A weak gel model for foods. *Rheologica Acta*, 40(2), 120-127.
- Gajar, A. M., & Badrie, N. (2001). Processing and quality evaluation of a low-calorie christophene jam (Sechiumedule(Jacq.)) swartz. *J Food Sci*, 67, 341-346.

- Genovese D. B., Ye A., y Singh H. (2010). High methoxyl pectin/apple particles composite gels: effect of particle size and particle concentration on mechanical properties and gel structure. *Journal of texture studies*, 41(2), 171-179.
- Grigelmo-Miguel, N., y Martin-Belloso, O. (2000). The quality of peach jams stabilized with peach dietary fiber. *European Food Research and Technology*, 211(5), 336-341.
- Guerrero, S. N., y Alzamora, S. M. (1998). Effects of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purees: II. Peach, papaya and mango purées. *Journal of Food Engineering*, 37(1), 77-101.
- Holzwarth, M., Korhummel, S., Siekmann, T., Carle, R., y Kammerer, D. R. (2013). Influence of different pectins, process and storage conditions on anthocyanin and colour retention in strawberry jams and spreads. *LWT - Food Science and Technology*, 52(2), 131-138.
- Hussein, A. M. S., Kamil, M. M., Hegazy N. A., Mahmoud, K. F., y Ibrahim, M. A. (2015 ). Utilization of some fruits and vegetables by-products to produce high dietary fiber jam *Food Science and Quality Management*, 37, 39-45.
- Ikeda, S., y Nishinari, K. (2001). Weak gel-type rheological properties of aqueous dispersions of nonaggregated K-carrageenan helices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(9), 4436-4441.
- INTA. (2007). Alimentos funcionales. In INTA (Ed.), (8 va ed., pp. 1-2). Chile.  
Disponible en:  
[https://inta.cl/wp-content/uploads/2018/05/Alim\\_funcionales.pdf](https://inta.cl/wp-content/uploads/2018/05/Alim_funcionales.pdf)
- Javanmard, M., y Endan, J. (2010). A Survey on rheological properties of fruits jams. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 31-37.
- Lago-Vanzela, E. S., dos Santos, G. V., de Lima, F. A., Gomes, E., y da Silva, R. (2011). Physical-chemical, caloric and sensory characterization of light

- jambolan (*Syzygium cumini* Lamarck) jelly. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(3), 666-673.
- Le Goff, K. J., Gaillard, C., Helbert, W., Garnier, C., y Aubry, T. (2015). Rheological study of reinforcement of agarose hydrogels by cellulose nanowhiskers. *Carbohydr Polym*, 116, 117-123.
- Manzoni C., y Bernasconi P. (2017). Mermeladas, en el 76% de los hogares, *Diario La Nación*. Disponible en:  
<https://www.lanacion.com.ar/2063548-mermeladas-en-el-76-de-los-hogares>
- Mattila-Sandholm T., y Saarela, M. (2000). Probiotic functional foods. In G. R. Gibson & C. M. Williams (Eds.), *Functional foods: principles and technology* (pp. 287-313). New York, USA: CRC Press.
- Mizrahi, S., y Firstenberg, R. (1975). Effect of orange juice composition on flow behaviour of six-fold concentrate. *J Texture Stud*, 6(4), 523-532.
- Moritaka, H., Naito, S., Nichinari, K., IShihara, M., y Fukuba, H. (1999). Effects of gellan gum, citric acid and sweetener on the texture of lemon jelly. *Journal of texture studies*, 30(1), 29-41.
- Mounsey, J. S., y O'Riordan, E. D. (2001). Characteristics of imitation cheese containing native starches. *Journal of Food Science*, 66(4), 586-591.
- O'Shea, N., Arendt, E. K., y Gallagher, E. (2012). Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 1-10.
- Oakenfull, D. G., y Glicksman M. (1987). Gelling agents. *CRC Chemical Reviews in Food & Nutrition*, 26(1), 1-25.
- Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevois, C., Granzella, L., y Montonati, M. (2007). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Diaeta*, 25(121), 20-33.

- Pickford, E. F., y Jardine, N. J. (2000). Functional confectionery. In G. R. Gibson & C. M. Williams (Eds.), *Functional foods: principles and technology* (pp. 259-286). New York, USA: CRC Press.
- Picout, R. D., y Ross-Murphy, S. B. (2003). Rheology of biopolymers solutions and gels. *The scientific world*, 3, 105-121.
- Pilgrin, G. W., Walter, R. H., y Oakenfull, D. G. (1991). Jams, jellies and preserves. In R. H. Walter (Ed.), *The chemistry and technology of pectin* (pp. 23-50). Geneva, NY.: Academic Press.
- Power, D. J., Rodd, A. B., Paterson, L., y Boger, D. V. (1998). Gel transition studies on nonideal polymer networks using small amplitude oscillatory rheometry. *Journal of Rheology*, 42(5), 1021–1037.
- Raphaelides, S. N., Ambatizidoo, A., y Petridis, D. (1996). Sugar composition effects on textural parameters of peach jam. *J Food Sci*, 61(5), 942-946.
- Renard, D., van de Velde, F., y Visschers, R. W. (2006). The gap between food gel structure, texture and perception. *Food Hydrocolloids*, 20(4), 423-431.
- Saravacos, G. D. (1970). Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *J Food Sci*, 35(2), 122-125.
- Seo, C. W., y Yoo, B. (2013). Steady and dynamic shear rheological properties of gum-based food thickeners used for diet modification of patients with dysphagia: effect of concentration. *Dysphagia*, 28(2), 205-211.
- Smith D. A. (2003). Jams and preserves. In Trugo, L. y Finglas P. M. (Eds.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 3409-3415): Academic Press.
- Thakur, B. R., Singh, R. K., y Handa, A. K. (1997). Chemistry and uses of pectin: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 37(1), 47-73.
- Verschuren P. M. (2002). Functional foods: scientific and global perspectives: International Life Sciences Institute

- Vibhakara, H. S., y Bawa, A. S. (2006). Manufacturing Jams and Jellies. In Hui Y. H. (Ed.), *Handbook of fruits and fruit processing* (pp. 189-204). USA: Blackwell Publishing.
- Villarán, M. C., Cepeda, E., Llorens, F. J., y Ibarz, A. (1997). Estudio de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de mermeladas de albaricoque (*Prunus armeniaca*), arándano (*Vaccinium myrtillus*) y escaramujo (*Rosa canina*). *Food Science and Technology International*, 3(1), 13-19.
- Wang, X., y Chen, J. (2017). Food oral processing: Recent developments and challenges. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 28, 22-30.
- Watase, M., y Nishinari, K. (1993). Effects of pH and DMSO content on the thermal and rheological properties of high methoxyl pectin-water gels. *Carbohydr Polym*, 20(3), 175-181.
- Winter, H. H. y Mours, M. (1997). Rheology og polymers near liquid-solid transitions. *Advances in Polymer Science*, 134:165-234.
- Yildiz. O., y Alpaslan, M. (2012). Properties of rose hip marmalades. *Food Technol. Biotechnol*, 50(1), 98-106.

# **CAPÍTULO 4**

*Conclusiones generales y  
trabajos futuros*

#### 4.1 CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis tuvo como objetivo principal la elaboración de una jalea de fruta enriquecida con fibra dietaria de diversos orígenes que cumpla con los requerimientos propuestos por el CAA para ser declarada como “fuente de fibra” y además, dado el aporte fibra del producto final, pueda ser considerada como alimento funcional.

Para realizar el estudio y poder obtener el producto final deseado se contó con cuatro variedades distintas de fibras, las cuales fueron caracterizadas en primera instancia. A partir del análisis de estas fibras se llegó a la conclusión de que las diferencias encontradas entre ellas se deben a su microestructura y composición química, y que su comportamiento dentro de una matriz alimentaria va a depender de dichas características.

Esta caracterización tuvo gran significación desde el punto de vista de la funcionalidad tecnológica de la fibra, ya que como señala la bibliografía la misma puede prevenir la sinéresis, ayudar a la conservación y aumentar la vida de anaquel de un producto debido a su capacidad de retener agua, formar geles, mejorar la textura y las propiedades sensoriales, entre otras.

El estudio de los geles de pectina de alto metoxilo adicionados con fibra dietaria, consistió en la determinación de propiedades reológicas, mecánicas, sinéresis, color y microestructura de los mismos, las cuales fueron evaluadas teniendo en cuenta una variación en el contenido de pectina y el agregado de fibra dietaria de a una variedad y en combinaciones de dos variedades en proporciones iguales.

Las observaciones realizadas sobre los geles que contenían un solo tipo de fibra permitieron las siguientes conclusiones, relacionadas con las propiedades organolépticas: los geles con fibra de plántago tenían un aspecto gomoso, los geles con fibra de manzana resultaron muy oscuros, mientras que los geles con trigo o bambú provocaban una sensación harinosa al paladar. Teniendo en cuenta el objetivo de la

presente tesis que es obtener una jalea de fruta enriquecida con fibra dietaria, se concluyó que estos aspectos negativos de los geles con una sola variedad de fibra no serían deseables en un dulce de fruta y por lo tanto debían mejorarse.

Al combinar las fibras de a dos en proporciones iguales y agregarlas a los geles se mejoraron dichos aspectos. En particular, los resultados más favorables fueron obtenidos cuando se mezcló la fibra de plántago con otra fibra, ya sea manzana, trigo o bambú, ya que esta mezcla revirtió las propiedades mecánicas del gel que contenía plántago únicamente (se logró un gel menos “gomoso”), redujo el color oscuro de los geles con fibra de manzana y redujo la palatabilidad harinosa de los geles con fibra de trigo y bambú, manteniendo en todos los casos la sinéresis en 0 g / 100 g.

El estudio de los geles enriquecidos con fibra dietaria permitió establecer algunas cuestiones relacionadas con la posterior formulación de las jaleas enriquecidas con fibra: 1) el contenido de pectina óptimo, 2) las combinaciones de fibras dietarias con el efecto más favorable, y 3) un límite aceptable para la sinéresis de 10 g agua /100 g de producto (dado que no se encontraron datos en la bibliografía).

Finalmente, se elaboraron jaleas de manzana enriquecidas con fibra dietaria. El estudio de las mismas consistió en la determinación de las propiedades reológicas y mecánicas a distintos tiempos de almacenamiento, además de la sinéresis y el color, y finalmente un análisis sensorial para determinar la aceptabilidad de las jaleas con fibra. A tal fin, el pH, el contenido de sólidos solubles y el contenido de pectina del producto final fueron fijados previamente (de la bibliografía y de estudios preliminares), y solo se estudió el efecto del agregado de fibra de una sola variedad y en combinaciones de dos variedades de fibra (las que arrojaron los mejores resultados en el estudio previo de los geles). Las combinaciones se hicieron en dos proporciones diferentes, una con iguales cantidades de cada fibra y otra donde se redujo la proporción de la fibra de plántago.



A partir de los resultados obtenidos para las jaleas con fibra se observó que: el agregado de un solo tipo de fibra provocó resultados similares a los obtenidos en el caso de los geles, principalmente en lo referido a las propiedades organolépticas ya que todas las fibras provocaron una disminución de la luminosidad de las jaleas, se observó una elevada gomosidad de la jalea con plántago, y la palatabilidad negativa de las jaleas con trigo y bambú. Nuevamente estas cuestiones fueron mejoradas combinando las fibras.

Como resultado significativo de la combinación de fibras (en iguales proporciones) se puede afirmar que se consiguió mejorar aquellas propiedades organolépticas que se consideraban negativas en el caso de las jaleas con una sola variedad de fibra, ya que se redujo la gomosidad que presentaba la jalea con plántago únicamente, además de eliminar la sensación harinosa de las jaleas con trigo o bambú únicamente.

La idea de reducir el contenido de fibra de plántago en las combinaciones tuvo como objetivo principal reducir aún más el aspecto gomoso de la jalea, que si bien había mejorado usando combinaciones de fibras en iguales proporciones, aún se percibía en cierta medida. De esta manera se logró reducir la gomosidad de las jaleas con fibra, sin perjudicar la palatabilidad de las jaleas que contenían mayor proporción de fibra de trigo y bambú en la combinación, manteniendo la sinéresis en 0 g / 100g.

A partir de todos estos resultados, se seleccionaron 3 jaleas enriquecidas con combinaciones 3:1 de fibra, para ser comparadas con dos dulces de fruta disponibles en el mercado. El resultado más significativo de comparar las jaleas con fibra y los dulces comerciales fue el obtenido por el análisis sensorial, que demostró que las jaleas con fibra resultaron aceptables para los consumidores, e incluso una de las muestras (la jalea enriquecida con la combinación bambú-plántago 3:1) obtuvo la misma aceptabilidad que uno de los dulces comerciales. Por lo tanto, podemos considerar que se cumplió con el objetivo principal de la presente tesis, que fue obtener una jalea de frutas enriquecida con 3 %p/p de fibra dietaria, aceptable por los consumidores, y que según el CAA puede ser declarada “fuente de fibra” y considerada un alimento funcional.

Además, la posibilidad de usar fibras que no son de origen frutícola permitió incrementar la fracción de fibra insoluble en el producto final, y los resultados conseguidos sientan la base para la elaboración de productos de confitería enriquecidos con fibra dietaria de distintos orígenes, principalmente fibras de origen no frutícola que no se encontrarían en productos a base frutas.

La siguiente tesis dio lugar a las siguientes publicaciones:

- ▶ Publicaciones en revistas internacionales
  - ✓ “Pectin Gels Enriched with Dietary Fibre for the Development of Healthy Confectionery Jams”. Figueroa L., Genovese D. Food Technology and Biotechnology. 2018. ISSN: 1330-9862. DOI: 10.17113/ftb.56.03.18.5641
  
- ▶ Capítulos de libros publicados
  - ✓ Dietary Fiber (Psyllium,  $\beta$ -Glucan). Figueroa L., Dello Staffolo M. In Encyclopedia of Food Chemistry. 2018. ISBN: 9780128140260. DOI: 10.1016/B978-0-12-814026-0.22342-1
  
- ▶ Trabajos Completos y Resúmenes a Congresos
  - ✓ “Combinaciones de fibras dietarias. Efecto sobre geles de pectina de alto metoxilo.” Figueroa L., Genovese D. XVI Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos. “La innovación como camino de crecimiento”. Mar del Plata, Argentina. Septiembre 2017. Resumen y trabajo completo.
  - ✓ “Efecto de la reducción del contenido de pectina en geles adicionados con fibra dietaria.” Figueroa L., Genovese D. IX Congreso de Ingeniería Química. Bahía Blanca, Bs. As. Agosto 2017. ISSN 1850-3519.
  - ✓ “Estudio del efecto del agregado de fibra dietaria sobre las propiedades físicas de geles de pectina.” Figueroa L., Genovese D. Congreso Internacional de

Ciencia y Tecnología de los Alimentos: Año internacional de las legumbres. Córdoba, Argentina. Noviembre 2016. ISBN 978-987-45380-0-0.

- ✓ “Elaboración de dulces frutales con la incorporación de fibra dietaria de diversos orígenes”. Figueroa L., Rubel I., Genovese D. VII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Octubre 2018. Resumen y exposición ORAL.
- ✓ “Modelling the rheology of HM pectin gels filled with different dietary fibers.” Genovese D.; Figueroa L. 3rd International Conference on Rheology and Modeling of Materials. Hungría. Octubre 2017. Libro de Resúmenes. ISBN 978-963-12-9919-9.
- ✓ “Estudio de geles de pectina de alto metoxilo adicionados con fibra dietaria para el desarrollo de dulces saludables.” Figueroa L., Genovese D. 2º Congreso Iberoamericano de Ingeniería de los Alimentos. Punta del este, Uruguay. Noviembre 2016. Libro de Resúmenes. ISBN 978-9974-8562-0-2.

#### 4.2 TRABAJOS FUTUROS

A nivel mundial la fibra dietaria ha adquirido una creciente importancia y se ha observado cierta estabilidad en su crecimiento en el comercio internacional. Este incremento está asociado a los múltiples beneficios que el producto tiene como ingrediente de los alimentos funcionales. A partir de esto, y de los estudios y discusiones presentados en la presente tesis, las perspectivas de trabajos futuros son:

- ♣ Estudiar geles de pectina con inclusión de partículas ideales (ej. esferas rígidas monodispersas), con el fin de aplicar, adaptar y/o desarrollar modelos teóricos para describir el comportamiento reológico de geles compuestos relleno-matriz y estimar el efecto de la forma y la deformabilidad de las partículas de fibra sobre la estructura de estos geles compuestos.
- ♣ Realizar una caracterización química de las fibras antes y después del procesamiento, para evaluar el efecto de dicho procesamiento sobre la composición química de las fibras.

- ♣ Estudiar la actividad prebiótica de las fibras utilizadas.
- ♣ Elaborar una Jalea light (reducida en azúcares) enriquecida con fibra dietaria, para lo cual se debería cambiar la pectina de alto metoxilo por una de bajo metoxilo, la cual requiere de Ca<sup>2+</sup> para gelificar, pero no necesita el agregado de azúcar, lo cual permite su reemplazo por edulcorantes de bajas calorías.
- ♣ El presente estudio puede servir de base para aplicar otro tipo de fibras de origen no frutal en dulces de fruta.
- ♣ También puede servir de base para aplicar fibras similares a las utilizadas en este trabajo en otros productos alimenticios que contengan gelificantes.