



Universidad Nacional de La Plata

**REFRIGERACIÓN, CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO
DE PASTAS ORGÁNICAS**

Daniela Flavia Olivera

**Tesis presentada ante la Facultad de Ingeniería de la Universidad
Nacional de la Plata como requisito parcial para la obtención del
grado académico de**

DOCTOR EN INGENIERÍA

Departamento de referencia: Ingeniería Química

Dirección de tesis: Dra. Viviana O. Salvadori

**Jurado de tesis: Dra. Lia N. Gerchenson
Dr. Alberto E. León**

Fecha de la defensa oral y pública: 25 de Marzo de 2009

Esta Tesis Doctoral es parte de los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, para obtener el título de Doctor en Ingeniería.

El presente trabajo se realizó bajo la dirección de la Dra. Viviana Olga Salvadori en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA, UNLP-CONICET).

El postgrado mencionado fue financiado por una Beca de Perfeccionamiento de la Universidad Nacional de La Plata y una Beca de Postgrado Interna tipo II, otorgada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Parte de los resultados obtenidos en esta tesis fueron publicados en los siguientes trabajos:

- Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta. D.F. Olivera y V.O. Salvadori. *Journal of Food Engineering*, 90, 2, 271-276 (2008).
- Calidad de pastas orgánicas refrigeradas. D. F. Olivera, F. Coll Cárdenas y V.O. Salvadori. *Alimentos, Ciencias e Ingeniería (Actas del CIBIA VI, Ecuador)*, Vol. 16(1): 248-250 (2007).
- Reología y textura de pastas orgánicas refrigeradas. D.F. Olivera y V.O. Salvadori. *Actas del XI CYTAL Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, ISBN 978-987-22165-2-8, Tomo Preservación de alimentos por técnicas tradicionales, 10 pgs. (2007).
- Características reológicas de pastas orgánicas congeladas. D.F. Olivera y V.O. Salvadori. *Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, P20, págs. 89-90 (2006).

AGRADECIMIENTOS

A la Dra Viviana Salvadori por haberme dirigido y ayudado durante el desarrollo y la escritura de este trabajo.

A la Dra. Noemí Zaritzky por haberme permitido desarrollar este trabajo en el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata por haberme otorgado la formación que me permitió la realización de este trabajo y brindado la oportunidad para acceder al grado de Doctor.

A la Universidad Nacional de la Plata y al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas por el otorgamiento de las becas que me permitieron realizar este trabajo.

Al Dr. Mascheroni por su generosidad y ayuda desinteresada.

A Diana por su buena predisposición para la búsqueda bibliográfica.

A mis compañeros del Cidca, que de distintas formas estuvieron siempre presentes contribuyendo en mi trabajo.

A mis compañeros de box, por el aliento y la paciencia.

A los chicos del after: Ema, Sandro, Ceci, Natalia y a veces Daróo,

A mis amigos Lucas, Vale, Claudio, Ale y Lorena, Fernanda y Gladys.

A Alicia y Sonia.

A Roque.

A mis hermanas del corazón María y Vanina, por estar SIEMPRE.

A mi mamá, porque sin todos sus esfuerzos y sacrificios no hubiera llegado hasta esta instancia.

**A MIS AMIGAS
A LA MEMORIA DE MI ABUELA
A MI MAMÁ**

INDICE

Página

INTRODUCCIÓN

Introducción	1
Mercado de platos preparados	2
Situación de Argentina	4
Segmentación de las comidas preparadas	4
Comidas refrigeradas	5
Comidas congeladas	6
Alimentos orgánicos	8
El contexto mundial	9
Impulso a la producción orgánica argentina	11
Productos "Gourmet"	12
Calidad de platos preparados	12

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL	15
Objetivos Específicos	15

CAPÍTULO I. MATERIALES Y METODOS

1.1. Introducción	17
1.2. Preparación de la masa	18
1.3. Preparación de la pasta cocida	19
1.4. Refrigeración y almacenamiento refrigerado	20
1.5. Congelación	22
1.5.1. Congelación	22
1.5.2. Almacenamiento congelado	23
1.6. Determinaciones de parámetros de calidad	23
1.6.1. Humedad	23
1.6.2. Color	24
1.6.3. Textura	26
1.6.3.1. Ensayo de cizalla	27
1.6.3.2. Análisis de perfil de textura	29
1.6.4. Reología	32
1.6.4.1. Ensayos de relajación	33
1.6.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos	39
1.6.5. Análisis Microbiológico	43

1.6.6. Evaluación Sensorial	45
1.6.7. Vida útil sensorial	50
1.7. Cinéticas de deterioro	53
1.7.1. Cálculo de las energías de activación	56
1.7.2. Relación empírica de vida útil con la temperatura	57
1.8. Análisis estadístico	57

CAPITULO II. ALMACENAMIENTO REFRIGERADO

2.1. Humedad	59
2.2. Color superficial	62
2.3. Textura	67
2.3.1. Ensayo de cizalla	67
2.3.2. Análisis de perfil de textura	69
2.4. Reología	78
2.4.1. Ensayos de relajación	78
2.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos	86
2.5. Vida útil microbiológica	92
2.6. Aceptabilidad sensorial	95
2.7. Vida útil sensorial	97
2.8. Cinéticas de deterioro	104
2.8.1. Relación empírica de la vida útil con la temperatura	109
2.9. Conclusiones	112

CAPITULO III. CONGELACIÓN

3.1. Ensayos de congelación	115
3.2. Parámetros de calidad	118
3.2.1. Humedad	118
3.2.2. Color superficial	119
3.2.3. Textura	120
3.2.3.1. Ensayo de cizalla	120
3.2.3.2. Análisis de perfil de textura (TPA)	121
3.2.4. Reología	124
3.2.4.1. Ensayo de relajación	124
3.2.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos	127
3.2.5. Análisis Microbiológicos	130
3.2.6. Evaluación sensorial	131
3.3. Conclusiones	133

CAPITULO IV. ALMACENAMIENTO CONGELADO

4.1. Humedad	134
4.2. Color superficial	137
4.3. Textura	143
4.3.1. Ensayo de cizalla	143
4.3.2. Análisis de perfil de textura (TPA)	145
4.4. Reología	151
4.4.1. Ensayos de relajación	151
4.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos	157
4.5. Vida útil microbiológica	160
4.6. Aceptabilidad sensorial	160
4.7. Vida útil sensorial	164
4.8. Cinéticas de deterioro	166
4.9. Conclusiones	171

CAPITULO V. CONCLUSIONES GENERALES

Conclusiones generales	173
------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	175
---------------------	-----

ANEXO I	189
----------------	-----

ANEXO II	191
-----------------	-----

Introducción

Los patrones de consumo alimentario han cambiado significativamente en Argentina en los últimos años siguiendo las tendencias que, con alguna anterioridad, se han manifestado en EE.UU., Gran Bretaña, Francia y otros países desarrollados. Existe un aumento en el consumo de alimentos de conveniencia, que refleja una propensión hacia la disminución del esfuerzo y el tiempo empleado en la preparación de los alimentos.

La conveniencia está relacionada con múltiples aspectos, no sólo con el tiempo empleado en la cocina, sino también con el tiempo y el esfuerzo usados en la compra, el almacenamiento, la preparación y el consumo de los alimentos.

Los alimentos de conveniencia pueden ser definidos como cualquier plato total o parcialmente preparado, en el que una fracción significativa del tiempo de preparación, habilidades culinarias y energía aplicada ha sido transferida del ama de casa al procesador de alimentos o al distribuidor.

Los **platos preparados**, listos para servir, son un tipo de alimento de conveniencia cuyo consumo ha registrado un elevado crecimiento en las últimas

décadas. En mayor o menor medida, están presentes en muchos hogares de los países más desarrollados.

Según un gran número de autores (Boer y col., 2004, Costa y col., 2007; Prim y col., 2007; Geeroms y col., 2008), uno de los principales factores determinantes para el crecimiento de este mercado es la incorporación de la mujer al trabajo fuera del hogar. Señalan que no es tanto el trabajo en sí mismo, sino más bien el estrés resultante de la percepción de escasez de tiempo, lo que influye en las pautas de consumo alimentario. La incorporación de la mujer al trabajo fuera del hogar además conlleva un aumento de los ingresos en los hogares, lo que les permite acceder con más facilidad a productos con mayor valor agregado. Muchos consumidores son conscientes de que han de pagar más por los platos preparados, pero están dispuestos a pagar por el valor agregado de la conveniencia (Geeroms y col., 2008).

Otro factor importante para el aumento del consumo de platos preparados es el creciente número de hogares unifamiliares y la disminución del número medio de personas por hogar (Creed, 2001). La abundancia de envases destinados a una sola ración es un reflejo no sólo de la cantidad de hogares unifamiliares, sino también de la individualización de la elección de los alimentos.

En resumen, podemos mencionar que en el mundo moderno se presentan una serie de factores que estimulan la demanda de comidas preparadas y ellos son:

- a) Mayor número de mujeres trabajando, pérdida de conocimientos para cocinar, y falta de tiempo.
- b) Los cambios en la demografía y el tamaño de las unidades familiares.
- c) Ruptura de la comida familiar, con estilos de vida más individuales.
- d) En determinados hogares, el aumento de ingreso *per cápita* como consecuencia de la incorporación de varios integrantes del núcleo familiar al mercado laboral.

Mercado de platos preparados

Como se ha mencionado, el mercado de platos preparados ha crecido considerablemente en los últimos años. En el conjunto de los cinco principales países europeos (Gran Bretaña, Francia, Alemania, Italia y España), alcanzaba, en 2002, los 6.680 millones de euros, en valor total de ventas (MAPA, 2005).

En la figura 1 se muestra, a modo de ejemplo, la evolución del consumo de platos preparados en miles de toneladas y *per cápita* en España. Se puede ver que en año 2003, el consumo de platos preparados alcanzó los 10.1 kg por habitante, lo que representa un aumento del 288.1% respecto al año 1987. Una tendencia similar se observa en los principales países europeos mencionados anteriormente.

Además de la Unión Europea, Estados Unidos es uno de los países que presenta mayor demanda de este tipo de productos. En su mayoría son comercializados congelados, con valores que pueden llegar a los 30 kg por habitante por año. Confirmando esta tendencia, EEUU importa anualmente valores superiores a los 2.000 millones de dólares de productos congelados (Kleiman, 2008).

De acuerdo a estadísticas recientes, el mercado de platos preparados congelados ha crecido sostenidamente entre 1998 y 2003: 5% anual en Europa Occidental y en EE.UU., 8% anual en Europa Oriental y un 10.5% en Latinoamérica. En cuanto a los precios de estos productos, podemos mencionar que tienen un valor promedio mundial de U\$S 7108 por tonelada, pero muestran una fuerte variación de acuerdo a la región: desde U\$S 3736 en Latinoamérica a U\$S 8980 en Asia y el Pacífico Este (Creed, 2005).

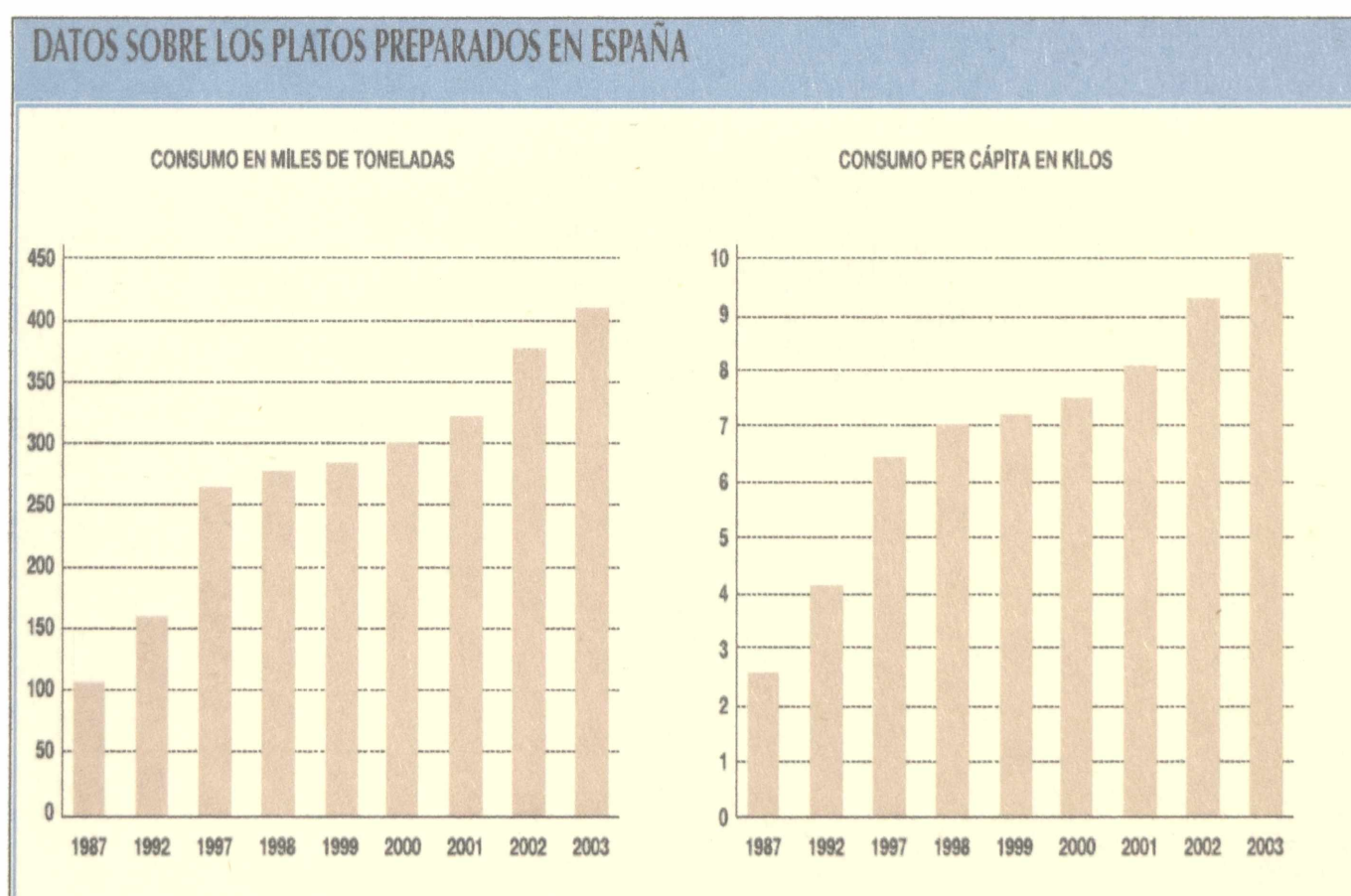


Figura 1. Evolución del consumo de platos preparados en miles de toneladas y per cápita en España (Fuente: MAPA, 2005).

Situación de Argentina

En nuestro país el consumo de comidas preparadas *per cápita* apenas supera el kilogramo (SAGPyA, 2008). Con respecto a las exportaciones, se comercializan al exterior alrededor de 80 millones de dólares en productos congelados a más de 30 destinos, siendo los principales Brasil, EE. UU. y Chile (Kleiman, 2008). Cabe mencionar que dentro de estos se ubicarían las comidas preparadas, pero no se cuenta con datos discriminados sobre las mismas.

Recientemente se ha creado la Comisión de Comidas Manufacturadas Industrialmente dependiente de la Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentos. Su primera tarea es definir este tipo de productos dentro del Código Alimentario Argentino, avanzar en las definiciones en el nomenclador arancelario y establecer así mayores oportunidades para las Pymes que deseen encarar estos procesos productivos.

Por lo mencionado anteriormente podemos decir que existe un alto potencial de desarrollo ya sea para la venta en el mercado interno como para la exportación de platos preparados. Esta industria, además, es una alta demandante de mano de obra calificada y de materias primas de calidad. Kleiman (2008) califica al sector industrial de platos preparados en la Argentina como una "nueva" industria alimentaria.

Como ejemplo de empresas que se dedican a la elaboración y comercialización de platos preparados con alto valor agregado en nuestro país podemos mencionar a Tangourmet, Pampa Bistró, Pampa Gourmet, Cormillot y Don Fausto.

Segmentación de las comidas preparadas

Una primera clasificación de las comidas preparadas debe distinguir entre: comidas frescas refrigeradas y comidas congeladas, estos dos grupos representan los principales segmentos del mercado. También es factible dividir el mercado en función de las recetas e ingredientes de las comidas preparadas, aquí encontramos diversos segmentos entre los que podemos mencionar: comidas tradicionales, étnicas, vegetarianas, orgánicas, platos bajos en calorías y comida para celíacos.

Comidas refrigeradas

Esta opción de método de preservación tiene mayor aceptación por parte de los consumidores ya que en general se perciben a los alimentos refrigerados como menos procesados y, en consecuencia, más saludables que los congelados (Knott, 2006).

La variedad de alimentos que pueden conservarse refrigerados es enorme y el tiempo dependerá del tipo de producto y las condiciones de almacenamiento. En el caso particular de las comidas preparadas, en condiciones habituales de refrigeración (temperaturas entre 0 °C y 8 °C) la vida útil del producto es sólo de unos pocos días y se debe tener en cuenta que el producto será totalmente sensible a las fluctuaciones de temperatura durante toda la cadena de frío: la distribución, la exposición en los locales de venta y el transporte hacia el hogar del consumidor. Existe la posibilidad de extender la vida útil utilizando vacío o atmosfera modificada.

Debido a esta imagen asociada a una mayor calidad y fresca se ha logrado un crecimiento y diversificación de los platos preparados en este segmento. Al analizar esta segmentación, se encuentra que dentro de las comidas más consumidas están los platos a base de pastas, tal como se infiere de las figuras 2 y 3.

PRINCIPALES SEGMENTOS DE PLATOS PREPARADOS REFRIGERADOS TONELADAS			
SEGMENTOS	2003*	2004**	Δ %
PIZZAS	46.605	50.324	8,0
GAZPACHO Y CREMAS	13.446	20.107	49,5
TORTILLA	2.737	3.590	31,2
PLATOS DE PASTA	1.477	2.828	91,5
ENSALADAS	1.597	1.908	19,5
POLLO ASADO	621	1.331	114,3
CALLOS	660	821	24,4
MIGAS	672	666	-0,9
EMPANADA	452	536	18,6
PAELLA Y COMBINADOS ARROCES	106	116	9,4

Figura 2. Consumo de platos preparados refrigerados en España según tipo de comida (Fuente: MAPA, 2005).

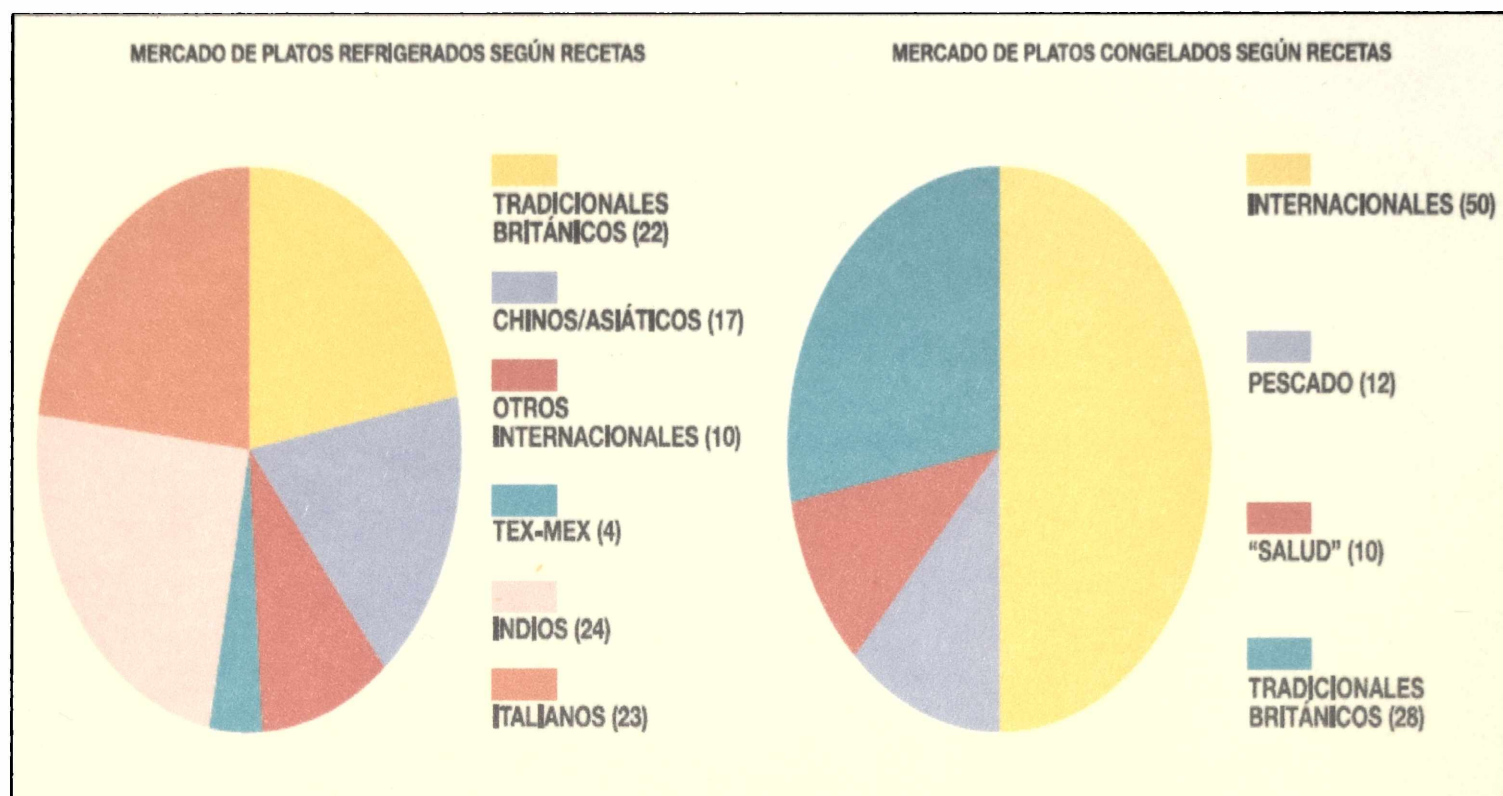


Figura 3. Mercado de platos preparados refrigerados y congelados según recetas para Gran Bretaña. (Fuente: Mintel, 2002)

Comidas congeladas

La congelación es un excelente método de preservación de alimentos que ha tenido una amplia difusión a nivel internacional. Las bajas temperaturas inhiben el desarrollo de microorganismos deteriorativos y patógenos, al tiempo que retardan las reacciones bioquímicas y enzimáticas que se producen en los alimentos no congelados.

La congelación logra estos objetivos a través del descenso de la temperatura del alimento, pero principalmente, por remoción del agua en forma de hielo. La conversión del agua en hielo genera un aumento en la concentración de las sustancias disueltas que reducen la actividad acuosa del producto. Las reacciones fisicoquímicas se retardan a bajas temperaturas pero pueden continuar en las condiciones normales de almacenamiento. La formación de hielo inicia una serie de modificaciones físicas y químicas que pueden disminuir la calidad del producto (Zaritzky, 1997).

Asimismo, las condiciones de almacenamiento y transporte ejercen notable influencia sobre la calidad de los alimentos congelados.

En la figura 4 se presenta la evolución de las ventas de comidas refrigeradas y congeladas entre los años 1999 y 2004 en Reino Unido. En este país en particular se nota un gran avance de las comidas preparadas refrigeradas (que presentan un

aumento sostenido del 13% anual) frente a las congeladas. En parte esto es debido a que las comidas refrigeradas corresponden a marcas propias de los supermercados, más baratas y donde el recambio alto en las góndolas compensa la corta vida útil de estos productos. En cambio las comidas preparadas congeladas en general se venden en pequeños negocios minoristas donde el recambio es mucho menor, aprovechando el beneficio de la vida útil prolongada (Creed, 2005).

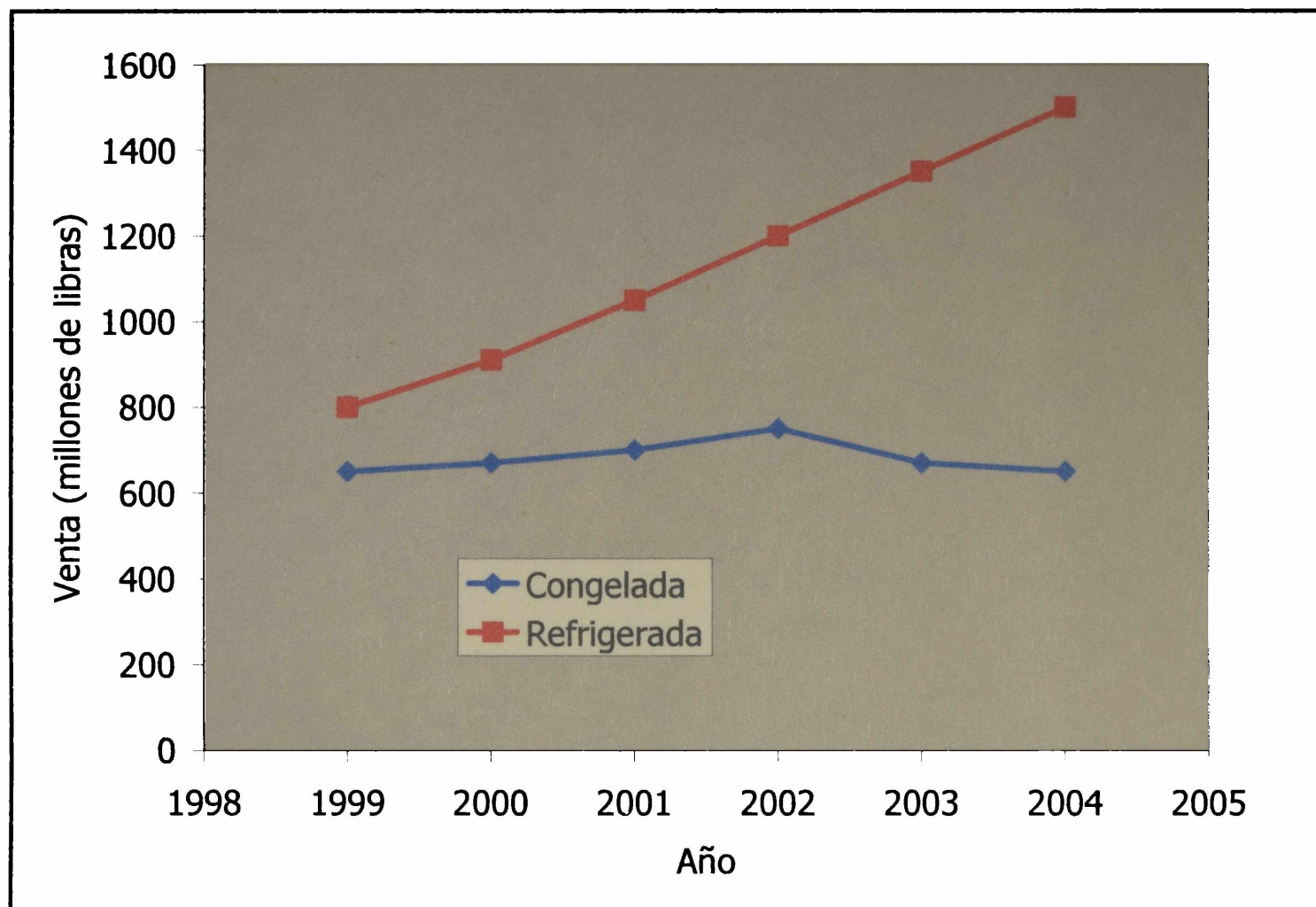


Figura 4. Evolución de las ventas de comidas refrigeradas y congeladas en Reino Unido.

No obstante lo mencionado en el párrafo anterior, a nivel mundial las comidas preparadas congeladas están ganando popularidad, una vez más gracias a los últimos avances tecnológicos que eliminan la frontera que separa los alimentos frescos y los congelados en términos de sabor y calidad. Además, si se pretenden largos tiempos de almacenamiento indefectiblemente la tecnología adecuada es la congelación, avalada por numerosos estudios como un excelente método de preservación (Raid, 1988; Kindt y col., 2006).

La figura 5 muestra los principales segmentos de platos preparados congelados que se comercializan en España, según el tipo de comida y las toneladas producidas.

Se puede apreciar en dicha información que aunque la oferta es variada, las pastas y los productos panificados (pizzas) dominan la preferencia de los consumidores. No se encuentra información estadística equivalente acerca del consumo de este tipo de alimento en nuestro país.

PRINCIPALES SEGMENTOS DE PLATOS PREPARADOS CONGELADOS TONELADAS			
SEGMENTOS	2003*	2004**	Δ %
PIZZAS	13.753	15.487	12,6
CANELONES/LASAÑA	12.260	13.088	6,8
ARROCES	11.804	12.412	5,2
SALTEADOS	8.898	8.739	-1,8
ÉTNICA	3.745	3.831	2,3
BASE VERDURA	2.607	3.230	23,9
BASE PESCADO/MARISCO	1.528	1.773	16,0
OTROS	928	1.172	26,3
MEXICANA	449	538	19,8

Figura 5. Consumo de platos preparados congelados en España según tipo de comida
(Fuente: Mapa, 2005).

De los segmentos mencionados que hacen referencia al tipo de ingredientes, este trabajo de tesis se referirá a alimentos orgánicos. Por este motivo incluimos una breve descripción de los mismos.

Alimentos orgánicos

En los últimos años se ha incrementado el interés mundial por la agricultura que emplea sistemas alternativos relacionados con la protección del medio ambiente, la seguridad alimentaria y el cuidado de la salud, aplicándose a ésta la denominación de producción "ecológica", "orgánica" o "biológica".

La definición de agricultura orgánica que realizó el Codex Alimentarius FAO/OMS en 1999 caracteriza de manera precisa los principios fundamentales que

deben llevarse a cabo en la producción biológica: "es un sistema global de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema, y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo. Hace hincapié en el empleo de prácticas de gestión prefiriéndolas respecto al empleo de insumos externos, teniendo en cuenta que las condiciones regionales requerirán sistemas adaptados localmente. Esto se consigue empleando, siempre que sea posible, métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos, para cumplir cada función específica dentro del sistema"

De acuerdo con la opinión de la FAO, pueden encontrarse diversas metodologías a seguir en la agricultura orgánica. Todas concuerdan en que el objetivo primordial de este tipo de producción es obtener alimentos de calidad superior al promedio estándar, aplicando procedimientos que respetan el medio ambiente, y procuran conservar la fertilidad y los recursos de la tierra, sin emplear productos químicos y con un adecuado manejo de prácticas agronómicas biológicas y mecánicas. Una reseña histórica completa puede encontrarse en un trabajo previo (Olivera, 2005).

El contexto mundial

Más de 31 millones de hectáreas de tierras se hallan hoy bajo producción ecológica en todo el mundo. La mayor parte se encuentra en Australia/Oceanía, seguidas por Europa y América Latina.

Las cifras del año 2005 ubican en el primer puesto del ranking de productores biológicos a Australia, con 12.1 millones de hectáreas trabajadas con este método. Le siguen China (3.5 millones de hectáreas) y la **Argentina** (2.8 millones de hectáreas). Se hallan luego Italia, cuarto país del mundo y primero en la Unión Europea (UE) con 1.05 millones de hectáreas, seguida en el ámbito europeo por Alemania, España y el Reino Unido (0.7 millones de hectáreas). La distribución porcentual de la superficie destinada a la producción orgánica se detalla en la figura 6.

El mercado de alimentos orgánicos certificados es pequeño, pero con una creciente participación que alcanza de 1 al 2 % del total del mercado alimentario.

Los factores de mayor relevancia sobre la decisión de compra son el sabor, el beneficio para la salud, y la desconfianza que provoca el uso agroquímicos en la producción convencional. Por tales razones los consumidores están dispuestos a pagar

por los bienes ecológicos un precio superior al de los productos tradicionales, determinado por la gravitación de los costos de producción, certificación y distribución.

En los primeros tiempos la producción y comercialización de alimentos orgánicos se restringió fundamentalmente a productos con poca o mínima industrialización (frutas, verduras, carnes, huevos, té, azúcar, harina, dulces y frutas en conserva). A nivel internacional se observa actualmente una demanda creciente de alimentos orgánicos con mayor grado de elaboración, tales como snacks, helados, quesos, jugos, alimentos congelados y comidas preparadas (*ready to serve*) (Foster, 2000). En particular el consumidor de alimentos orgánicos se comporta de un modo distinto al consumidor convencional. Este consumidor consciente es muy selectivo a la hora de realizar sus compras. Se interesa por conocer aspectos sobre la naturaleza del producto, métodos de producción y transformación y respaldo de las características específicas (por ejemplo determinados beneficios para la salud) que le ofrece el producto alimenticio (Torjusen y col., 2001). Se ha demostrado, además, que los consumidores de productos orgánicos están dispuestos a pagar precios mayores por dichos alimentos, aún cuando no estén formulados enteramente con ingredientes orgánicos (Batte y col., 2007).

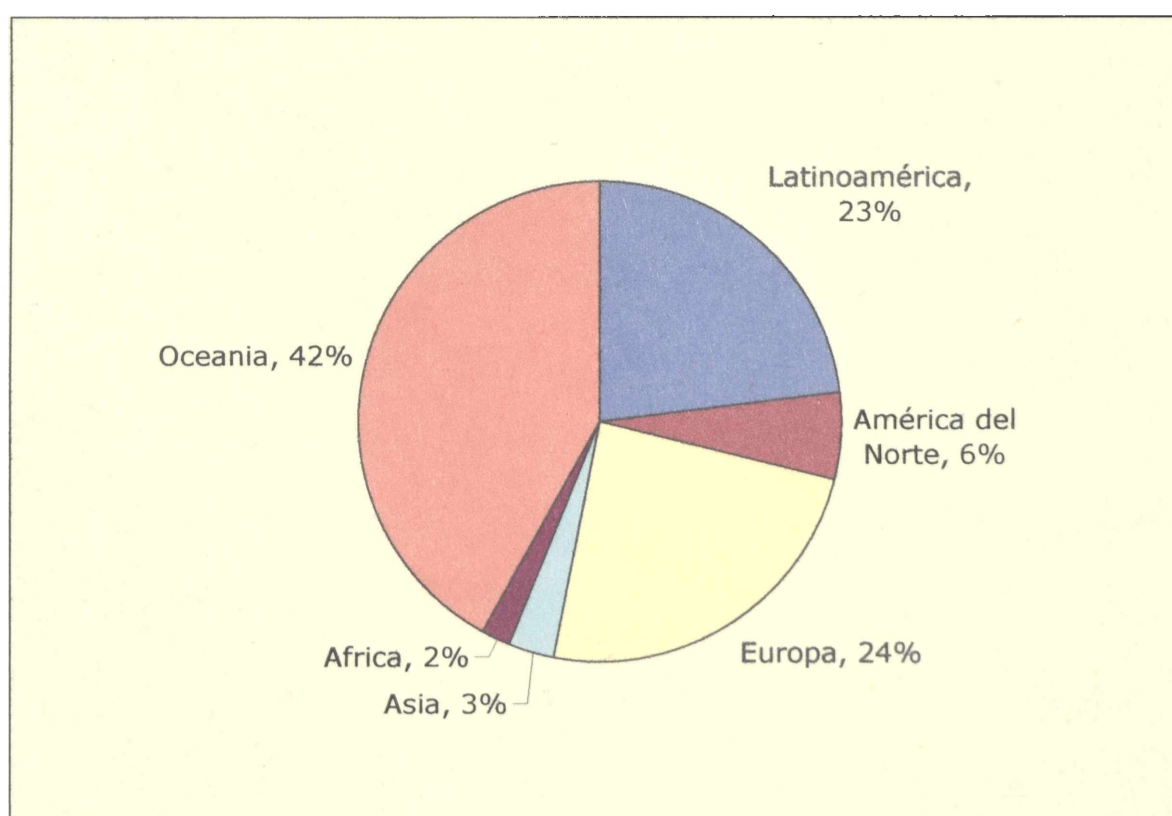


Figura 6. Distribución de la superficie destinada a la producción orgánica en porcentaje según continente (IFOAM, 2005).

Impulso a la producción orgánica argentina

En los últimos años, Argentina ha diversificado notablemente la producción e alimentos orgánicos, llegando a registrar más de 29 mil toneladas de alimentos elaborados en 2007. Los principales productos industriales son azúcar de caña, que representa más del 50% de la producción, vinos, mosto de uva concentrado, jugos de frutas concentrados, expeller de girasol, maíz procesado y harina de soja (SENASA, 2008).

Es de destacar que nuestro país está entre los primeros productores orgánicos del mundo. En 2007 se exportaron más de 118.000 toneladas de productos orgánicos de origen vegetal, principalmente hacia la Unión Europea, que absorbió el 74 % de los envíos. El segundo destino fue Estados Unidos, que importó un 15% del total, principalmente productos industrializados. Las exportaciones de origen animal, (carne ovina, carne vacuna, dulce de leche, lana, miel) superaron las 3.300 toneladas y se destinaron en más de un 90% a la Unión Europea (SENASA, 2008).

En la actualidad se encuentra en marcha el "Proyecto de Desarrollo y Promoción de la Producción Orgánica Argentina". Dicho emprendimiento, es financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y su principal objetivo es lograr que la Argentina obtenga una mayor participación en el comercio mundial de productos orgánicos y, asimismo, promover el incremento de la comercialización de éstos en el mercado interno.

Así, los componentes básicos del emprendimiento comprenden:

- La investigación en el campo agronómico.
- El desarrollo de **nuevos productos** agroindustriales tales como **comidas preparadas** y productos de la colmena con alto valor agregado;
- La promoción comercial, que comprende a los mercados interno y externos, y a la difusión de la cultura orgánica;
- El fortalecimiento institucional gubernamental y no gubernamental.

La iniciativa apunta a beneficiar a los productores orgánicos, a las empresas agroalimentarias ligadas a su producción, a las compañías habilitadas para certificar la calidad de dichos productos y a los profesionales y proveedores de insumos que atienden al sector.

Productos "Gourmet"

Es interesante destacar un nuevo concepto surgido en los últimos tiempos: gourmet o apuesta por la exquisitez, por la calidad, por el placer en la comida, estos son productos de alta calidad. En este sentido podemos mencionar los vinos de varias denominaciones, el aceite de oliva virgen, **las pastas enriquecidas**, frutas finas congeladas, productos preparados de conservas de salmón y de trucha y carne ahumada (Cavallera, 2008).

Por otra parte, en un mercado globalizado como el actual, que tanto valora la calidad de las materias primas empleadas, la autenticidad y originalidad de los productos refuerzan el valor agregado.

Las tendencias que se avizoran para los próximos años en este mercado, favorecen a los productos que no perjudiquen el medio ambiente, que contengan sólo una ración pequeña que no deje "sobras", y que cuenten con mayor y mejor información en las etiquetas. Por lo tanto las comidas preparadas con materias primas orgánicas certificadas serían una muy buena alternativa para presentar como un producto "Gourmet".

Calidad de platos preparados

La calidad de un alimento puede definirse como la combinación de atributos de valor que son significativos para determinar el grado de aceptabilidad del mismo. Estos atributos son factores que están por sobre la calidad básica de inocuidad de un alimento y diferencian los productos de acuerdo a sus características organolépticas, de composición y a la satisfacción del acto de alimentarse ligada a tradiciones socio-culturales, la educación y la conveniencia.

En la última década se han empezado a valorar factores como: el cuidado del medio ambiente a lo largo de toda su cadena productiva (productos orgánicos), el cumplimiento de las leyes sociales de los trabajadores encargados de la producción, y el respeto a las tradiciones en los alimentos elaborados siguiendo algún método artesanal de preparación.

En el ámbito mundial, el grado de exigencia de los consumidores respecto de los productos alimenticios ha ido aumentando y diversificándose, en virtud del incremento de la información disponible y ante la oferta de un sinnúmero de productos. Aunque la demanda de estos productos con atributos de valor

diferenciadores pueda corresponder a un número pequeño de personas en los países en vías de desarrollo, es una tendencia marcada que se observa en forma creciente en los mercados de países más desarrollados como los de la Unión Europea, Japón y Estados Unidos.

En términos generales, si bien muchos de los consumidores aún perciben los platos preparados como deficientes con respecto a los elaborados en el hogar desde el punto de vista sensorial y nutricional, los consideran productos cómodos y fáciles de consumir (Reed y col., 2003).

Por lo tanto, al formular un plato preparado de alta calidad se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La calidad de los ingredientes es la base de la calidad global de un producto final. Ningún proceso de transformación incrementará los atributos de calidad.
- La inclusión de conservantes, colorantes, aromatizantes y aditivos en la formulación debe ser mínima o nula.
- El método de preparación y cocción debe conservar algún nexo con la tradición culinaria.

En la actualidad los principales alicientes de compra son la denominación de origen, asociada a la producción natural, y los beneficios para la salud.

Debemos hacer hincapié que una profunda revisión del tema en la bibliografía especializada, nos indica que aunque existen numerosos estudios acerca de la refrigeración, la congelación y el almacenamiento congelado en la calidad de los alimentos individuales, se cuenta con muy poca información en lo referido a comidas preparadas compuesta por varios ingredientes (sistema multicomponente) y la influencia de las distintas tecnologías de conservación en la calidad global del producto.

La mayoría de los trabajos científicos referidos a comidas preparadas precocidas tienden a focalizarse en aspectos microbiológicos. Al respecto podemos mencionar a Tyrer y col. (2004) quienes estudian modelos de crecimiento de *Pseudomonas fluorescens* y *Candida sake* en un sistema tipo de comida preparada a distintas temperaturas de almacenamiento; Del Torre y col. (2004) investigan la prevalencia de *Clostridium botulinum* en pastas tipo ñoqui refrigeradas lista para consumir; Gombas y col. (2003) informan sobre la supervivencia de *Listeria*

monocytogenes en distintas comidas preparadas almacenadas refrigeradas; y Mc Ateer y col. (1995) miden el efecto de la irradiación sobre la calidad microbiológica durante el almacenamiento refrigerado de comidas preparadas a base de carnes.

Con respecto a la variación de la calidad física, química y/o sensorial durante el almacenamiento refrigerado o congelado de comidas preparadas, en bibliografía encontramos trabajos que cubren sólo un aspecto, por ejemplo Kindt y col. (2006) estudian la incorporación de lípidos a pastas congeladas con distintas salsas; Barret y col. (2005) analizan la distribución de humedad y la textura de panes que forman parte de sándwiches de queso; Kumari y col. (2007) estudian el efecto del almacenamiento en distintas comidas típicas de la India.

En lo que respecta a comidas preparadas formuladas con harina como ingrediente mayoritario podemos citar los trabajos de Limanond y col. (2002), que evalúan la textura de tortillas de maíz en función del tiempo y la temperatura de almacenamiento; Clubbs y col. (2008) analizan los efectos del almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de tortillas de maíz adicionadas con glicerol y sal; distintos estudios que evalúan la calidad durante el almacenamiento refrigerado o congelado de panes precocidos, panes y pizzas (Pacheco y col., 2005; Lodi y Vodovotz, 2008; Guarda y col., 2004); muffins y tortas (Baixauli y col., 2008), panes de hamburguesa y tortillas congelados (Seetharaman y col., 2002) y productos étnicos tales como el chapatti (Singh Gujral y col., 2008).

Con respecto a calidad de comidas preparadas, listas para servir, a base de pastas almacenadas refrigeradas o congeladas sólo hemos encontrado dos trabajos: Kindt y col. (2008) quienes proponen grados de calidad en base a distintos factores que consideran relevantes en pastas congeladas como puede ser el grado de absorción de salsa y la presencia de defectos debido a la congelación; y Redmond y col. (2005) quienes analizan el efecto del tiempo de almacenamiento en la calidad de lasagna congelada.

Por lo mencionado se infiere que aún es necesario estudiar en profundidad la evolución de la calidad durante su almacenamiento (refrigerado y/o congelado) de las comidas preparadas precocidas. El presente trabajo de tesis ahondará en esta temática.

Objetivos

Objetivo general

El propósito de este estudio es analizar la influencia de dos tecnologías de preservación, refrigeración y congelación, en los parámetros de calidad más relevantes de pastas cocidas, formuladas enteramente con ingredientes orgánicos certificados, presentadas como plato preparado listo para servir. El estudio se realiza en dos variantes del producto: pasta sin relleno (tallarines) y pasta con relleno (lasagna).

Objetivos específicos

Los objetivos específicos planteados en esta tesis son los siguientes:

1.-Almacenamiento Refrigerado

- Analizar la influencia de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la calidad del plato preparado. Para ello se determinarán distintos indicadores de calidad (contenido de humedad, color, textura y reología) y se evaluará la aceptabilidad sensorial

- Determinar la vida útil microbiológica y la vida útil sensorial del plato preparado a las distintas temperaturas de almacenamiento estudiadas.
- Aplicar modelos cinéticos de pérdida de calidad durante el almacenamiento refrigerado.

2.- Congelación

- Analizar la influencia del método de congelación en la calidad del plato preparado. Para ello se emplearán dos equipos de congelación (túnel de aire forzado y gabinete criogénico) y se determinarán distintos indicadores de calidad (contenido de humedad, color, textura y reología) y se evaluará la aceptabilidad sensorial.

3.- Almacenamiento congelado

- Analizar la influencia del tiempo de almacenamiento y del método de congelación en la calidad del plato preparado. Para ello se determinarán distintos indicadores de calidad (contenido de humedad, color, textura y reología) y se evaluará la aceptabilidad sensorial
- Determinar la vida útil microbiológica y la vida útil sensorial del plato preparado a las distintas temperaturas de almacenamiento estudiadas.
- Aplicar modelos cinéticos de pérdida de calidad durante el almacenamiento refrigerado.

Capítulo I

Materiales y Métodos

1.1. Introducción

Las pastas formuladas con ingredientes orgánicos certificados y presentadas como plato preparado, listo para consumir, representan una muy buena alternativa como alimento orgánico procesado con alto valor agregado (Olivera, 2005).

Una vez procesadas, dos de las alternativas de conservación de las comidas listas para servir son la refrigeración y la congelación. La primera opción tiene mayor aceptación por parte de los consumidores que perciben a los alimentos refrigerados como menos procesados y, en consecuencia, más saludables que los congelados (Knott, 2006). Sin embargo, la duración del almacenamiento refrigerado (aún con vacío o posibles atmósferas modificadas) está acotada. Si se pretenden largos tiempos de almacenamiento indefectiblemente la tecnología adecuada es la congelación, avalada por numerosos estudios como un excelente método para preservar las

características de calidad de alimentos: sabor, textura y valor nutricional (Raid, 1988; Kindt y col., 2006).

Al estudiar la aceptabilidad global de estos productos, se encuentra que sus características texturales definen en gran medida la respuesta del consumidor. En general, una pasta de buena calidad debe cumplir determinados requisitos de firmeza, elasticidad, ausencia de pegajosidad, uniformidad en la apariencia e integridad estructural (Cole, 1991).

La apariencia, relacionada con el color de la pasta, es otro parámetro de gran influencia en la aceptabilidad sensorial del plato preparado.

La evaluación sensorial resulta una herramienta útil para conocer la opinión de los consumidores, de suma importancia en los mercados actuales.

Por otro lado es fundamental realizar el análisis microbiológico de la pasta almacenada con el fin de establecer en qué momento se producen fenómenos de alteración en el alimentos, y de esa manera delimitar su período de conservación.

En consecuencia, para cumplir los propósitos de este estudio de analizar la influencia de la tecnología de preservación en los parámetros de calidad más relevantes de pasta cocida fue necesario realizar diferentes determinaciones experimentales. En el presente capítulo se detallan los materiales y métodos utilizados con tal fin.

1.2. Preparación de la masa

En la elaboración de la masa de las pastas se emplearon dos únicos ingredientes: harina y huevo. Se utilizaron las proporciones (g /100 g de producto final) que se detallan a continuación:

- 62.5% de harina orgánica certificada fina "Schatzi" (ANMAT 2004)
- 37.5% de huevo orgánico marca "Ecovo".

Para mantener la proporción indicada se pesó el huevo empleado y en función de ello, se calculó el peso de harina a agregar.

La masa se preparó mediante la unión de ambos ingredientes a través del amasado mecánico utilizando una procesadora hogareña Rowenta Universo (700) a una velocidad constante de 960 rpm, durante 5 minutos.

La determinación porcentual de los distintos componentes de esta masa se realizó en un trabajo previo (Olivera, 2005) razón por la cual no se incluye ese ítem en el presente trabajo. En el anexo 1 se presentan los datos mencionados. Si bien no es objetivo del presente trabajo evaluar el efecto del alto contenido de fibra que presenta la harina orgánica (debido a que es el resultado de la molienda fina del grano entero de trigo), es importante destacar que el consumo habitual de alimentos ricos en fibra, entre los que se incluyen los estudiados en este trabajo, tiene múltiples beneficios desde el punto de vista de la salud (Escalada Pla y col., 2007). Existe suficiente evidencia (Oguido y col., 1998) que aquellas personas que consumen altas cantidades de fibra presentan menor propensión a sufrir enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y diversos trastornos gastrointestinales (cáncer de colón, constipación, hemorroides, entre otros).

Para la preparación de la pasta se amasó, estiró y cortó cada muestra empleando una sobadora manual hasta obtener las dimensiones que se detallan en la tabla 1.1 para cada tipo de pasta (tallarines y cintas para lasagna).

Tabla 1.1. Dimensiones de las cintas de pastas

Tipo de Pasta	Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
Tallarines	0.8	10	0.08
Lasagna	4.0	10	0.08

1.3. Preparación de la pasta cocida

Las cintas son cocinadas en agua a ebullición durante el tiempo óptimo de cocción correspondiente. Dichos tiempos fueron determinados previamente (método 16-50, AACC) resultando 600 s para la muestra de pasta tipo tallarines y 870 s para las muestras de pasta lasagna.

La pasta cocida se escurre convenientemente, se enfría en agua hielo durante 1 min para frenar la cocción y posteriormente se seca su superficie con papel absorbente.

Tallarines

Luego de secadas, las muestras de tallarines se colocan en recipientes de aluminio individuales de 200 g de producto cada uno. Dichos recipientes se cubren con papel aluminio y se disponen para su posterior conservación.

Lasagna

De manera análoga, las cintas de lasagna se colocan en recipientes de aluminio individuales, de 200 g de producto total cada uno. En este caso, se "arma" la pasta rellena colocando tres capas de pasta y dos capas de relleno de espinaca y salsa de tomate intercaladas y una cubierta de salsa y queso rallado. Las cantidades promedio de cada ingrediente por porción resultan: 80 g de pasta, 80 g de relleno, 30 g de salsa y 10 g de queso. Un análisis exhaustivo de la composición del relleno se realizó en un trabajo previo (Olivera, 2005). Los recipientes conteniendo las pastas, cubiertos con papel aluminio, se disponen para su posterior conservación.

Los distintos indicadores de calidad estudiados en este trabajo fueron evaluados en ambos productos recién elaborados. Este punto se identifica como tiempo 0 en los ensayos de almacenamiento refrigerado o como muestra fresca en los ensayos de congelación.

1.4. Refrigeración y almacenamiento refrigerado

Para el almacenamiento refrigerado de las bandejas de pasta se dispone de cámaras frigoríficas a 0, 4 y 10 °C.

En primer lugar se evalúa la performance de dichos equipos registrando sus historias térmicas durante un mes utilizando sensores remotos de temperatura iButton (Dallas Semiconductor). Se registran y controlan las temperaturas ubicando los sensores remotos en distintas posiciones de dichas cámaras, tanto sobre los estantes como en el interior de recipientes conteniendo muestras de pasta cocida.

Se determina que los equipos de almacenamiento refrigerado presentan un control de temperatura óptimo para la realización de los ensayos de almacenamiento propuestos en este trabajo, con una variación en la temperatura menor a ± 0.5 °C respecto del valor deseado en cada caso.

A posteriori se realizan los ensayos de almacenamiento refrigerado, por triplicado para cada temperatura de almacenamiento y cada tipo de pasta.

Para la realización de los mismos se disponen las bandejas de pastas, descritas en la sección 1.3, en las distintas cámaras, es decir a las temperaturas de 0, 4 y 10 °C. Los ensayos físicos se realizan hasta llegar a los 7 días de almacenamiento inclusive, en cambio, para los ensayos sensoriales se tiene en cuenta la vida útil microbiológica de cada tipo de pasta y a cada temperatura de almacenamiento.

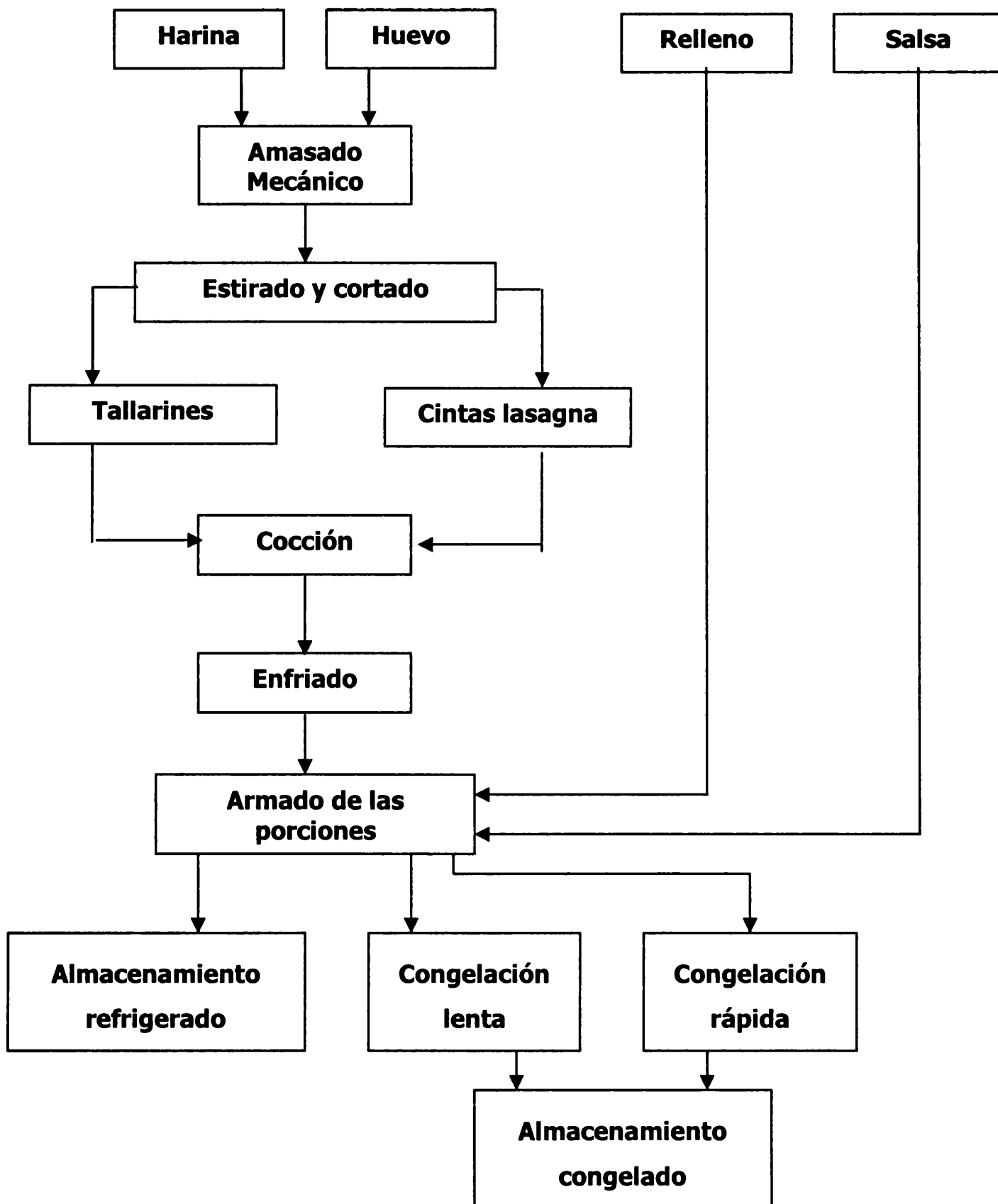


Figura 1.1. Diagrama de flujo de la preparación y almacenamiento de las pastas.

Las temperaturas de almacenamiento refrigerado se controlan de manera similar a como se evalúa la performance de los equipos de refrigeración utilizados. En la figura 1.1 se presenta el diagrama de flujo de la preparación y almacenamiento de las pastas.

1.5. Congelación

1.5.1. Congelación

A fin de evaluar no sólo el efecto de la congelación sino, también el de la velocidad con que este proceso se lleva a cabo sobre la calidad de la pasta cocida, se realizaron experiencias en dos equipos de congelación diferentes:

- i) en un gabinete criogénico PRAXAIR que opera por inyección de nitrógeno líquido, logrando una atmósfera a temperatura de $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- ii) en un congelador de túnel de aire prototipo que trabaja generando una atmósfera a temperatura de $-35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una velocidad de aire de 0.3 m/s.

En cada ensayo de congelación, se utilizan diez bandejas de pasta cocida (con y sin relleno), preparadas como se describió en la sección 1.3, y colocadas dentro de cada equipo. En cada experiencia, la temperatura de cuatro de ellas es monitoreada mediante termocuplas T conectadas al módulo de adquisición de datos, Keithley DASTC, ubicado internamente en una PC. El registro de datos se realiza con intervalos de grabación de 1 s.

La temperatura del aire sobre la superficie del producto es registrada con los sensores de temperatura iButton de DS1921G Thermochron, usando un intervalo de tiempo de adquisición de 1 s.

Los ensayos concluyen cuando la temperatura en el centro térmico de las bandejas de pastas alcanzó $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los ensayos para cada condición de congelación y cada tipo de pasta cocida se llevan a cabo por triplicado.

La velocidad de congelación FR (en °C/min) es calculada mediante la ecuación 1.1, basada en la definición dada por International Institute of Refrigeration (IIR, 1986):

$$FR = \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1} \quad (1.1)$$

donde T_1 es la temperatura inicial de congelación, T_2 es la temperatura final de congelación (-18 °C), y $(t_2 - t_1)$ es el tiempo transcurrido entre el comienzo y el final de la congelación.

Para evaluar el efecto de la congelación, y de las velocidades de congelación, algunas muestras son descongeladas inmediatamente después de su congelación, en una cámara a 4°C (± 0.5 °C) durante 5 horas. La descongelación también es monitoreada mediante termocuplas.

1.5.2. Almacenamiento congelado

Para el almacenamiento congelado se dispuso un freezer comercial Philips Whirlpool Dual. Se realizó el registro de su funcionamiento a -18°C durante un mes previo a la realización de los ensayos con el objeto de constatar las condiciones de funcionamiento.

Las muestras congeladas (bandejas) mediante las técnicas mencionadas previamente, en gabinete criogénico y en túnel de aire forzado, se colocan en el freezer a -18°C, para ser evaluadas al cabo de 1, 2, 4, 6 8 y 12 meses de almacenamiento congelado.

La temperatura de almacenamiento congelado se registra mediante el empleo de los sensores iButton colocados en distintas posiciones de las bandejas del freezer y dos botones dentro de las bandejas con muestras de pasta.

1.6. Determinaciones de parámetros de calidad

1.6.1. Humedad

Generalmente el contenido de humedad es un factor importante en la textura de los alimentos. Con respecto a las pastas cocidas, debido al gradiente de

concentración entre el medio y la superficie, es esperable que ocurra un cambio en el contenido de humedad durante su almacenamiento (Mc Carthy y col., 2002)

La humedad de las muestras de pasta se determina midiendo la pérdida de peso que sufre la muestra por evaporación de agua siguiendo el método oficial AOAC 925.09 (AOAC, 1995). Para el ensayo se colocan aproximadamente 5 g de pasta en una cápsula previamente pesada, en una estufa de vacío a 70 °C el tiempo necesario hasta alcanzar peso constante. Una vez retirada la cápsula de la estufa se pesa y se determina la cantidad de agua evaporada calculando la pérdida de peso.

El contenido de humedad porcentual se calcula según la siguiente ecuación:

$$H(\%) = \frac{(P_i - P_f) 100}{P_i} \quad (1.2)$$

donde: P_i es el peso inicial de la muestra, P_f es el peso final de la muestra y H (%) es el contenido porcentual de humedad (b.h.)

Estas determinaciones se realizan por sextuplicado para cada una de las muestras.

1.6.2. Color

La apariencia es uno de los factores de aceptabilidad más importante en cuanto a calidad de pasta. Según Feillet y col. (2000) ésta se determina fundamentalmente por tres parámetros: color, aspecto y textura superficial.

El color es un fenómeno psicológico resultante de la interacción de la fuente de luz, el punto de vista del objeto, los ojos y el cerebro (Feillet y col., 2000).

La evaluación del color puede ser subjetiva u objetiva. En el primer caso el ojo humano es el instrumento de medida, por lo tanto la medición es más rápida y sencilla que las mediciones objetivas. Las desventajas residen en que los resultados pueden variar considerablemente debido a diferencias en la percepción y a errores humanos, además la cantidad y calidad de luz disponible puede influenciar la evaluación (Francis, 1995; Mitcham y col., 1996).

En las determinaciones objetivas se emplea un instrumento para proveer un valor específico de color, basado en la cantidad de luz reflejada fuera de la superficie del producto o de la luz transmitida a través del mismo. Exhiben menor variabilidad que las apreciaciones subjetivas, pueden medir con exactitud pequeñas diferencias de

color, ser automatizadas en una línea de empaque o procesamiento e incluso existen instrumentos portátiles para realizarlas. Como contrapartida, el equipamiento especial requerido tiene un costo significativo (Mitcham y col., 1996).

Las medidas objetivas del color asignan una magnitud mensurable a este atributo mediante números que permiten su especificación en un espacio de representación.

La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) introdujo en 1931 el sistema XYZ para la representación del color (X, Y y Z son los valores triestímulos). El color estándar CIE está basado en los colores primarios imaginarios XYZ, que no existen físicamente. Éstos son completamente teóricos e independientes de dispositivos dependientes de gamas de color.

Un problema del sistema de color XYZ, es que las diferencias colorimétricas entre los colores individuales no se corresponden con las diferencias de color percibidas. El sistema $L^*a^*b^*$ (CIE 1976) fue desarrollado con dos objetivos: tener un sistema de medida fácil, y que fuese un sistema donde las variaciones de luminosidad y cromaticidad fuesen uniformes. En este sistema cada color es representado por un punto (González y Woods, 2002).

En la colorimetría tradicional, las coordenadas de color del sistema CIELAB se calculan a partir de los valores triestímulos del color (XYZ).

Las magnitudes L^* , a^* , y b^* son adimensionales y se definen en función del tipo de estímulo y del blanco de referencia para tratar de simular a los observadores reales (Joshi y Primelou, 2002). La coordenada L^* recibe el nombre de luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas colorimétricas que forman un plano perpendicular a la luminosidad, siendo, a su vez, perpendiculares entre sí. El corte del eje L^* con el plano que forman a^* y b^* es el punto acromático. En el eje a^* , para valores positivos se va del punto acromático a los rojos, para valores negativos se va hacia los verdes. En el eje b^* , para valores positivos se va del punto acromático al amarillo, para valores negativos se va hacia los azules (figura 1.2).

El espacio de color $L^*a^*b^*$ permite desacoplar la intensidad (mediante L^*) y el color (mediante a^* y b^*) de una imagen. Además, a partir de dichos valores es posible calcular un parámetro derivado, denominado cambio de color total (ΔE^*), el cual es muy utilizado en la ciencia y tecnología de alimentos como descriptor del color (González y Woods, 2002).

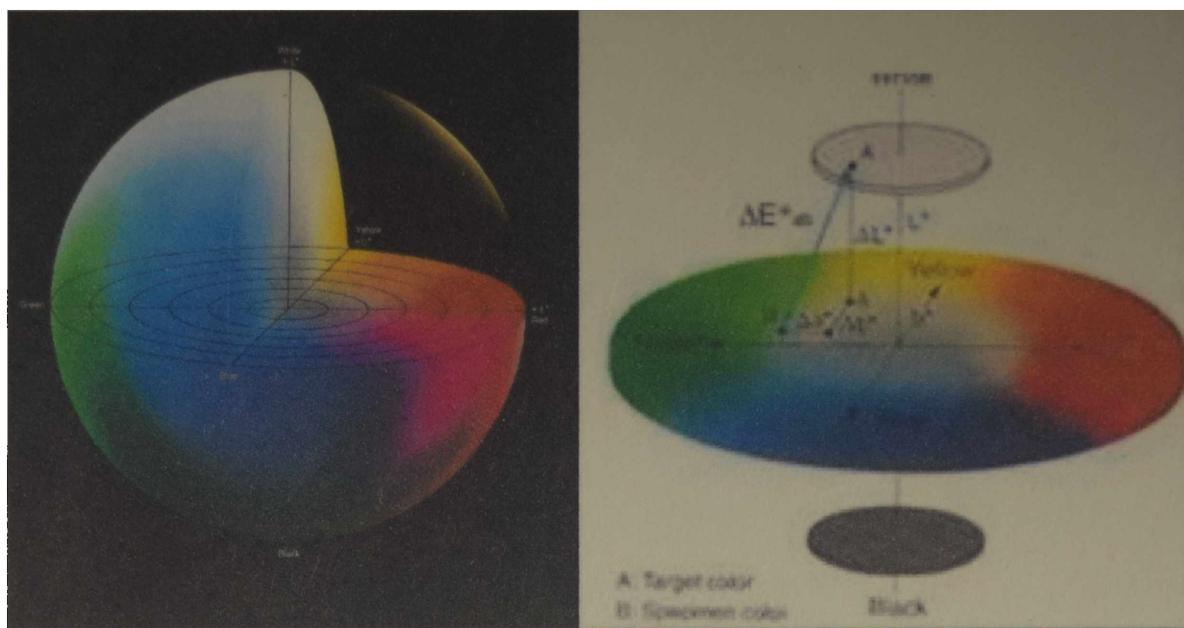


Figura 1.2. Representación del espacio de color $L^*a^*b^*$ en un sólido.

En la mayoría de los trabajos científicos y en la industria la determinación objetiva de medidas de color en alimentos se realiza mediante el empleo de colorímetros.

Cabe destacar que en los últimos años ha cobrado importancia en la determinación de color la visión computacional. Esta técnica, promovida por el procesamiento digital de imágenes, consiste básicamente en un dispositivo que captura la imagen del alimento (cámara digital o de video), una PC que adquiere las imágenes tomadas, y algoritmos que procesan las imágenes y arrojen los resultados buscados (Gunasekaran, 1996; Brosnan y Sun, 2004).

En el presente trabajo la determinación objetiva del color de las pastas se realiza utilizando un colorímetro Minolta CR-300, el cual es calibrado previo a cada ensayo con un plato estándar blanco.

Los parámetros medidos son los definidos por la CIE: luminosidad L^* , enrojecimiento (a^*), amarillamiento (b^*).

La determinación de $L^*a^*b^*$ se realiza sobre seis muestras de pastas (tallarines y cintas de lasagna) para cada condición ensayada.

1.6.3. Textura

La textura es una manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, superficiales y mecánicas de los alimentos detectadas por el sentido del tacto, la vista y el oído.

Estas propiedades son la manifestación o resultado de una combinación de propiedades físicas y químicas, que incluyen la forma, tamaño, número, naturaleza y disposición de los elementos estructurales constituyentes de los alimentos.

La medida de textura depende principalmente de la percepción de la respuesta del alimento cuando actúan sobre él determinadas fuerzas durante la masticación o la manipulación previa a la ingestión (Szczesniak, 2002).

Al igual que el color, la evaluación de la textura se puede realizar por métodos sensoriales e instrumentales, los últimos tienen algunas ventajas sobre los primeros ya que resulta más fácil su realización y estandarización, a pesar del costo del equipamiento involucrado.

Entre los distintos atributos de calidad de las pastas, es ya reconocido que la textura juega un papel muy importante en la aceptabilidad global de estos productos. Una pasta de buena calidad debe cumplir determinados requisitos de firmeza, elasticidad, ausencia de pegajosidad, uniformidad en la apariencia e integridad estructural (Edwards y col., 1993).

En este trabajo se evalúa la textura de las pastas mediante dos métodos: ensayo de cizalla y análisis de perfil de textura (TPA). Si bien el análisis de perfil de textura ha tenido mucha difusión en los últimos años, no obstante la consideración conjunta de la información proporcionada al medir con diferentes técnicas la resistencia mecánica de un alimento puede dar información más amplia que la proporcionada sólo por el TPA (Fizman y col., 1986).

Para ambos ensayos se utiliza un Analizador de Textura TA.XT2i (Stable Micro Systems, UK) controlado por el software Texture Expert Excede v. 1.2., mediante el cual se puede registrar y analizar los datos. Este equipo permite, mediante el uso de distintos accesorios, realizar un gran número de ensayos diferentes. En las figura 1.3 y 1.5 se muestran fotografías del texturómetro empleado.

1.6.3.1. Ensayo de cizalla

En este ensayo se intenta simular la acción de los dientes incisivos al morder la pasta. Para ello se coloca la muestra en el plato del equipo, y luego se provoca el descenso de la sonda que realiza el corte de la muestra a una velocidad, distancia y espacio prefijados para el análisis, por último asciende la sonda con lo que concluye el ensayo (figura 1.3).

En la figura 1.4 se muestra un gráfico típico de este ensayo para las pastas analizadas. En él se representa la fuerza de corte en función del tiempo. A partir de estos gráficos se puede obtener la fuerza máxima, que es una medida de la firmeza, y el área bajo la curva, que da una idea de la energía o el trabajo puesto en juego para cortar la pasta (Bourne, 1978; Szczesniak, 1987).

Datos del ensayo

Muestras: Se utilizaron las cintas de pastas que se detallan en la tabla 1.1. Los resultados que se presentan son el promedio de diez determinaciones.

Procedimiento: Las condiciones del ensayo, independientemente del procesamiento que se realizara a las muestras, fueron las siguientes:

Sonda: Volodkevich Bite Jaws HDP/ VB (figura 1.3).

Velocidad de pre-ensayo: 2 mm/s.

Velocidad de ensayo: 0.5 mm/s.

Velocidad de post-ensayo: 2 mm/s.

Compresión de la muestra: 100 %.



Figura 1.3. Foto del texturómetro con la sonda Volodkevich Bite Jaws HDP/ VB (diente).

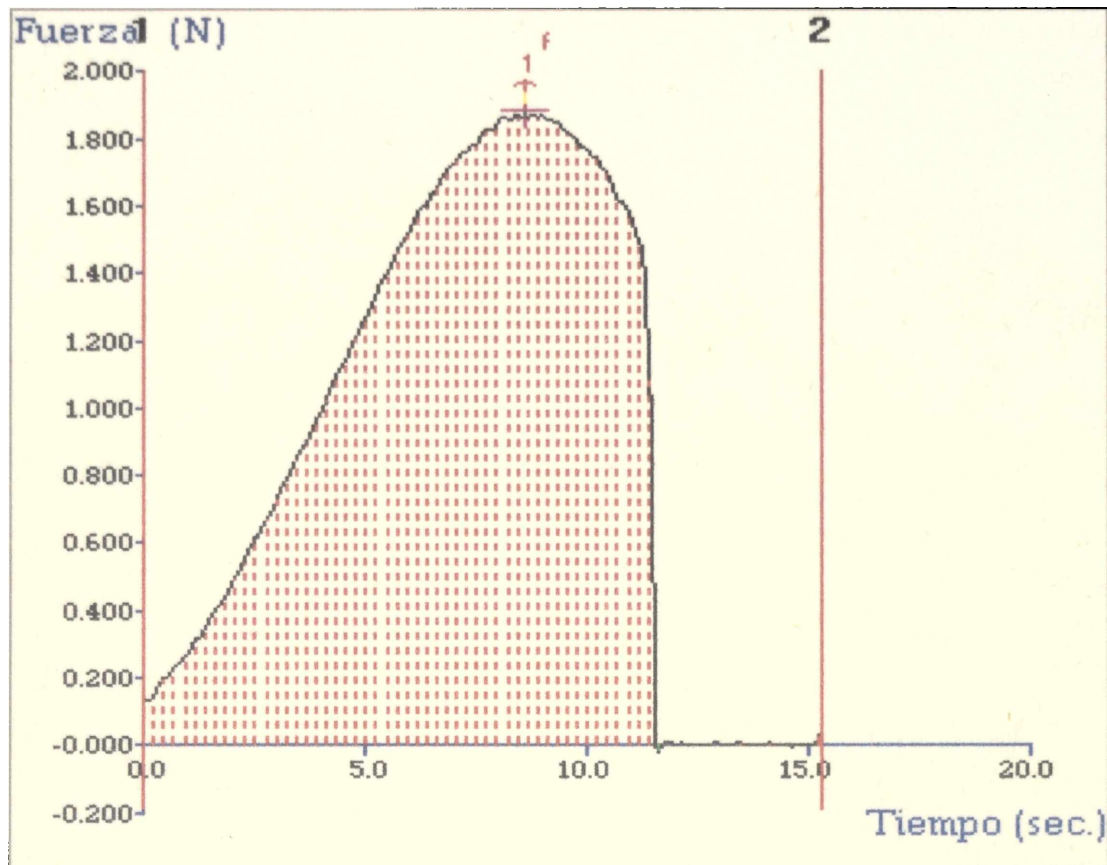


Figura 1.4. Gráfico típico obtenido a partir del ensayo de cizalla.

1.6.3.2. Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Este método, propuesto por Szczesniak (1963), consiste básicamente en estudiar la respuesta de un alimento a un doble ciclo de compresión. Este ha sido hasta el momento uno de los ensayos más utilizados en alimentos, independientemente del producto estudiado.

A modo de ejemplo de la variedad de alimentos en los que se ha aplicado este ensayo podemos citar a Paraskevopoulou y Kiosseoglou (1997) quienes lo emplean al caracterizar la textura de geles y tortas; Anzaldúa-Morales y col. (1999) lo aplican en nueces; Tabilo y col. (1999) lo utilizan con carne vacuna; Andrés y col. (2006) evalúan la textura de salchichas de pollo; Collar y col. (2007) estudian masas panarias enriquecidas. Entre los trabajos más relacionados con el tipo de alimento de esta tesis podemos mencionar a Sozer y Kaya (2003) que caracterizan el efecto de la cocción en la textura de espaguetis fortificados y Martínez y col. (2007) que analizan la textura de espaguetis cocidos de cinco marcas comerciales.

Para realizar el ensayo se coloca la muestra en el plato del equipo, se provoca el descenso de la sonda que realiza la compresión de la muestra a una velocidad,

distancia y espacio prefijados para el análisis, luego el disco asciende y repite la compresión con lo que concluye el ensayo.

Datos del ensayo

Muestras: Se utilizan las cintas de pastas que se detallan en la tabla 1.1, modificando la longitud a 6 cm de manera de cubrir toda la superficie con la sonda. El ensayo se realiza sobre una cinta (tallarines o lasagna). Los resultados que se presentan son el promedio de diez muestras.

Procedimiento: Las condiciones del ensayo fueron las siguientes:

Sonda: P/75 (disco cilíndrico con una superficie plana de contacto de 7.5 cm, figura 1.5).

Velocidad de pre-ensayo: 2 mm/s.

Velocidad de ensayo: 0.5 mm/s.

Velocidad de post-ensayo: 2 mm/s.

Compresión de la muestra: 20 %.

La figura 1.6 muestra una curva típica obtenida en un ensayo de perfil de textura. A partir de las áreas y picos de las curvas indicadas en la figura 1.6 se determinan los diferentes parámetros (Olivera, 2005; Olivera y Salvadori, 2006):

Dureza (F1): fuerza máxima entre los anclajes 1 y 2

Adhesividad (A3): área negativa bajo la curva entre los anclajes 2 y 4

Cohesividad (A2/A1): relación entre las áreas que delimitan los anclajes 4 y 5 (A2) y 1 y 2 (A1).

Consistencia (A1+ A2): suma de las áreas que delimitan los anclajes 1 y 2 (A1) y 4 y 5 (A2).

Elasticidad (c): relación entre distancia desde anclaje 4 hasta el valor de fuerza máxima entre anclajes 4 y 5, y distancia entre anclaje 1 y 6.

Resistencia (A4/A5): relación entre las áreas que delimitan los anclajes 2 y 6 (A4) y 1 y 6 (A5).

Masticabilidad: Es un parámetro derivado de otros, se calcula como: Dureza x Cohesividad x Elasticidad (N).

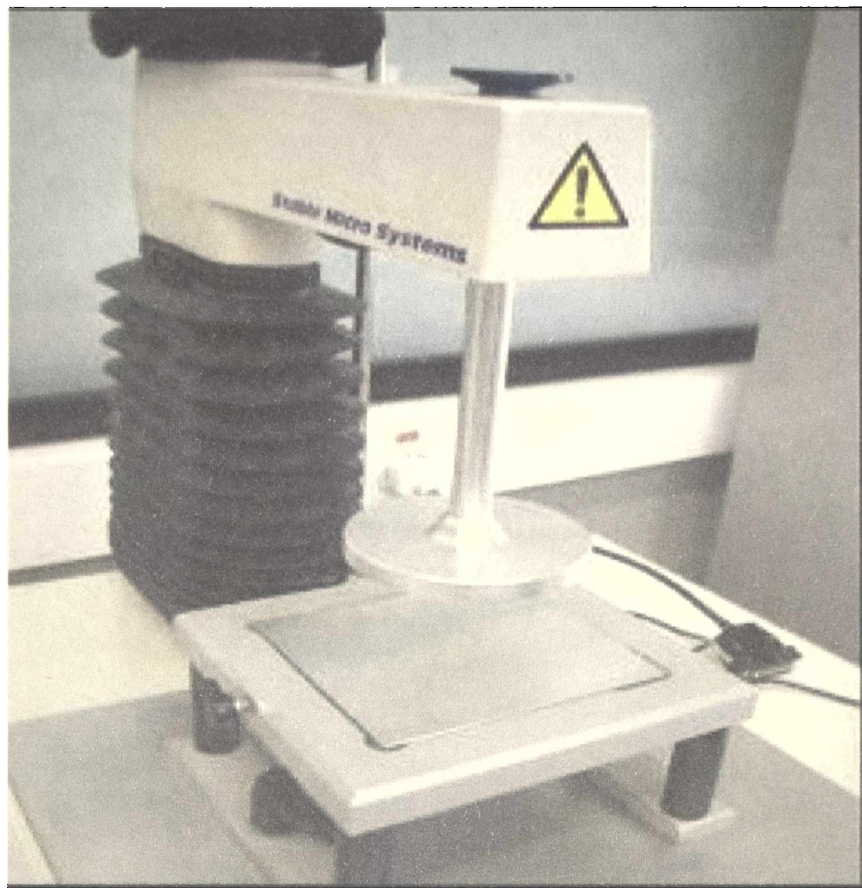


Figura 1.5. Fotografía del texturómetro con la sonda P75, empleada para el ensayo TPA.

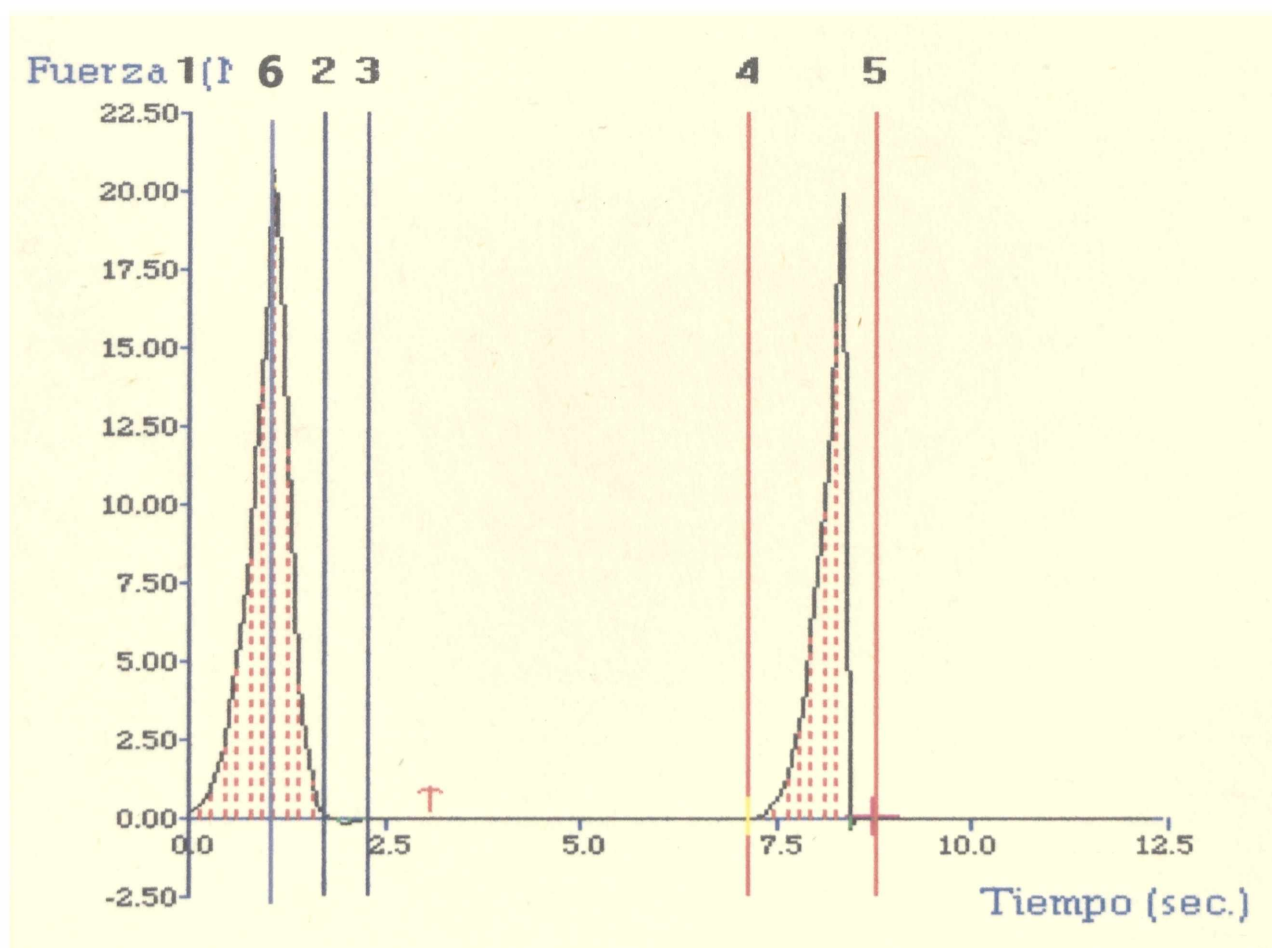


Figura 1.6. Típico perfil de análisis de textura (TPA) para los casos estudiados.

1.6.4. Reología

La reología es la rama de la física encargada de estudiar el flujo y la deformación de la materia cuando se somete a la acción de una fuerza externa, y su campo comprende las propiedades mecánicas de sólidos, semisólidos y líquidos. Es un instrumento importante para entender la respuesta del alimento cuando se le aplican fuerzas externas, ofrece información válida sobre la estructura del alimento y la interacción entre los diversos componentes (Steffe, 1996). La caracterización reológica no sólo brinda información relevante en cuanto a la textura y la estabilidad del producto alimenticio, sino también puede ser útil en el diseño de procesos (Navarro y col., 1995).

En general, los materiales pueden clasificarse en tres grandes grupos según su respuesta a la acción de una fuerza externa. Estos son:

1) Sólidos ideales: Se deforman elásticamente. La energía requerida para la deformación se recupera cuando el esfuerzo es removido en forma inmediata.

2) Fluidos ideales: Se deforman irreversiblemente, fluyen ante la aplicación de esfuerzos tangenciales. La energía requerida es disipada dentro del fluido como calor y no se recupera cuando el esfuerzo se remueve. La deformación final se mantiene.

3) Materiales viscoelásticos: Exhiben ambos comportamientos. Todo fluye si se espera el tiempo suficiente. La distribución de las fuerzas no es uniforme y los enlaces se distorsionan, produciéndose una deformación progresiva y no totalmente recuperable, con gran incidencia de la componente viscosa. El comportamiento del material cambia con el tiempo y con la magnitud del esfuerzo aplicado.

Por lo tanto en los productos viscoelásticos los componentes elástico y viscoso se manifiestan simultáneamente bajo las condiciones operacionales. Es decir la respuesta a la acción mecánica se puede descomponer teóricamente en la debida al componente elástico y a la originada por el componente viscoso.

La gran diversidad de los productos viscoelásticos determina la existencia de técnicas de ensayo muy diversas. Aunque en estos productos ambos componentes suelen expresarse conjuntamente, es posible separarlos mediante técnicas cuidadosamente diseñadas.

Ante la diversidad de comportamiento de los materiales reales y su complejidad, se recurre a los modelos mecánicos para explicar su respuesta a la aplicación de una acción externa. Cada modelo explica un determinado comportamiento, permite definirlo con ecuaciones matemáticas y representarlo gráficamente en función de las tres variables implicadas: tensión, deformación y tiempo.

Sobre la base de estos modelos se pueden interpretar y clasificar los datos experimentales obtenidos en el estudio del comportamiento reológico de cualquier sólido viscoelástico.

En el presente trabajo para estudiar las características viscoelásticas de las pastas se realizan ensayos de relajación y ensayos dinámicos.

La información proporcionada por estas pruebas combinadas, usando pequeñas y grandes deformaciones, han demostrado ser útiles en la determinación de características reológicas en diversas pastas: Edwards y col. (1993) estudian el efecto del tiempo de cocción en la textura final de espaguetis, Ross (2006) repasa los diversos estudios sobre los cambios en la textura de tallarines asiáticos debida a cambios en la composición de almidón y de proteína. También se utilizan estas técnicas para ver el efecto de la congelación en masas panarias (Angioloni y col., 2008).

1.6.4.1. Ensayo de relajación

Cuando un material viscoelástico se somete a una deformación y ésta se mantiene constante, la tensión soportada disminuye en función del tiempo. Este fenómeno se denomina relajación, y constituye la base de uno de los ensayos más utilizados en la caracterización del comportamiento reológico de los sólidos (Steffe, 1996; Tang y col., 1998; Llano y col., 2003; Del Nobile y col., 2007; Jaya y Durance, 2008).

Básicamente este ensayo consiste en medir la respuesta de cada muestra cuando es sometida a una deformación constante durante un tiempo predeterminado.

Para ello se coloca la muestra en el plato del equipo, y luego se provoca el descenso del disco que realiza la compresión de la masa durante el tiempo establecido.

Datos del ensayo

Muestras: Se utilizaron las cintas de pastas que se detallan en la tabla 1.1, modificando la longitud a 6 cm de manera de cubrir toda la superficie con la sonda. El ensayo se realiza sobre una cinta (tallarines o lasagna). Los resultados que se presentan son el promedio de tres mediciones.

Procedimiento: Las condiciones del ensayo, idénticas para todas las condiciones de procesamiento de las muestras, son las siguientes:

- Sonda: P/75 (disco cilíndrico con una superficie plana de contacto de 7.5 cm).
- Velocidad de pre-ensayo: 2 mm/s.
- Velocidad de ensayo: 0.5 mm/s.
- Velocidad de post-ensayo: 2 mm/s.
- Compresión de la muestra: 20 %.
- Duración del ensayo: 300 s.

A partir de las curvas de relajación obtenidas se analiza el comportamiento reológico de las pastas.

En la figura 1.7 se representa la evolución de la tensión en función del tiempo de aplicación de la deformación constante.

De la observación directa de las curvas se pueden extraer conclusiones cualitativas de las respuestas relativas de los distintos materiales en estudio: se pueden comparar velocidades y grados de relajación, así como visualizar el tipo de respuesta general.

El comportamiento reológico de los materiales viscoelásticos durante la relajación puede modelarse mediante analogías mecánicas compuestas de resortes y amortiguadores (Steffe, 1996). A tal fin el resorte es considerado un elemento elástico ideal, obedece la ley de Hooke, y el amortiguador es representado por un sistema cilindro-pistón en el cual se manifiesta la parte viscosa del alimento, considerando un líquido ideal, de comportamiento newtoniano. Estos elementos pueden ser combinados de diferentes formas (Fizman y col., 1983a, b).

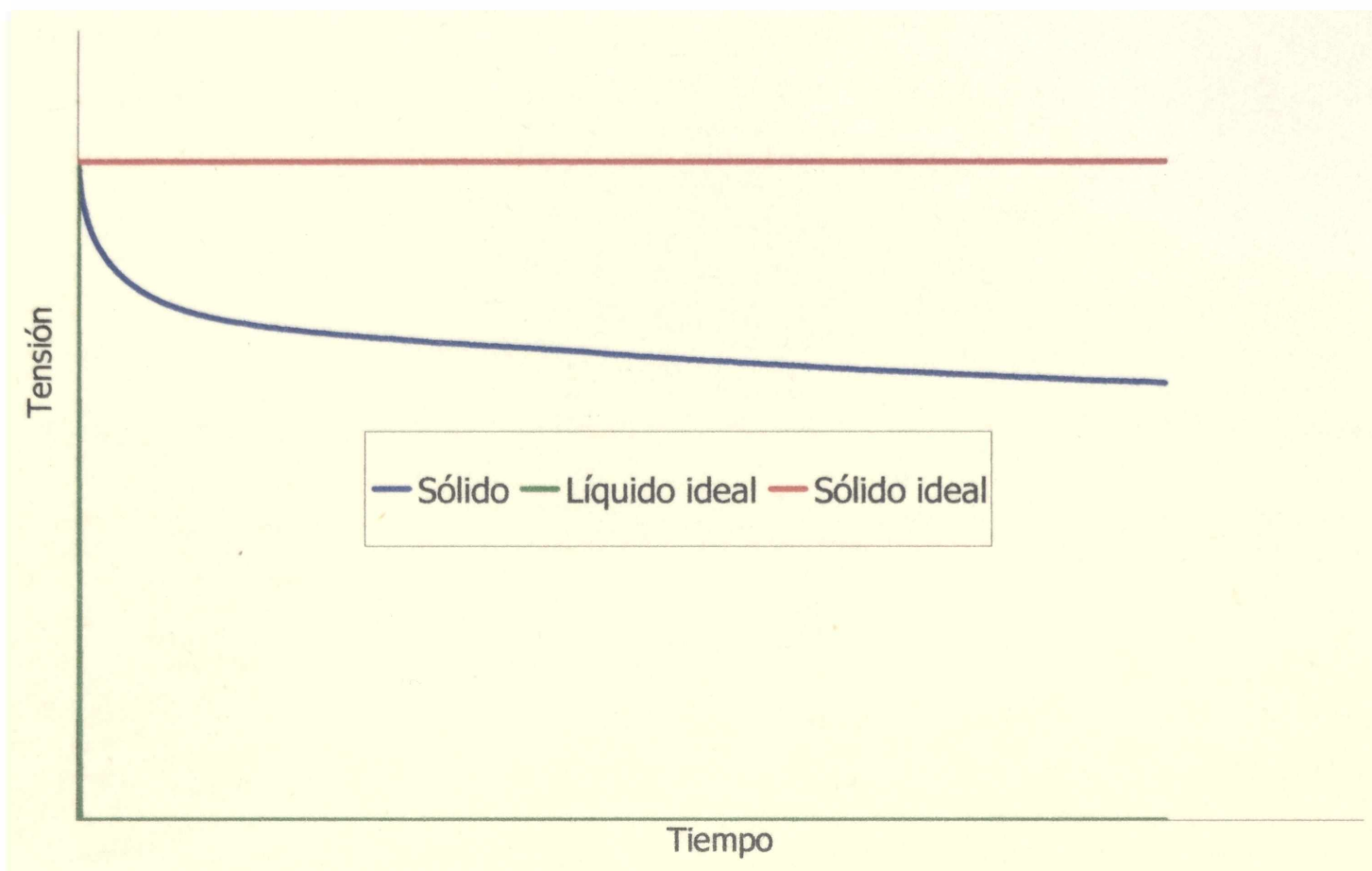


Figura 1.7. Representación de la evolución de la tensión en función del tiempo de aplicada la deformación constante.

Un cuerpo viscoelástico debe contener necesariamente un elemento viscoso y un elemento elástico.

Si F es la fuerza aplicada a un elemento elástico y u es el desplazamiento resulta:

$$F = Eu \quad (1.3)$$

donde E es la constante elástica del resorte.

Derivando el desplazamiento respecto del tiempo se obtiene:

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{E} \frac{dF}{dt} \quad (1.4)$$

Para el elemento viscoso:

$$F = \eta \frac{du}{dt} \quad (1.5)$$

donde η es la viscosidad del fluido, que refleja la fricción interna.

Modelo de Maxwell: representa el comportamiento de un material viscoelástico cuya primera fase de respuesta frente a la aplicación de una fuerza externa es la de un sólido elástico. Mecánicamente, este modelo se compone de un resorte y un pistón

dispuestos en serie, el cual se representa en forma esquemática en la figura 1.8. Los dos elementos están sufriendo el mismo esfuerzo, la deformación total es igual a la suma de la deformación de ambos elementos (Bertola, 1992).

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{E} \frac{dF}{dt} + \frac{1}{\eta} F \quad (1.6)$$

Si el ensayo se realiza a deformación constante será $\frac{du}{dt} = 0$ e integrando la ecuación anterior con $F = F_0$ para $t = 0$ resulta una ecuación exponencial de la forma:

$$F = F_0 \exp(-t / \tau) \quad (1.7)$$

donde τ es denominado tiempo de relajación y representa la rapidez con que el cuerpo se relaja. Si se dividen los dos miembros de la ecuación anterior por el área de compresión a resulta:

$$\sigma = \frac{F}{a} = \sigma_0 \exp(-t / \tau) \quad (1.8)$$

donde σ es la tensión aplicada. Dado que $\sigma = E \varepsilon$, donde ε representa la deformación relativa, resulta:

$$E = E_0 \exp(-t / \tau) \quad (1.9)$$

donde E es el módulo de elasticidad.

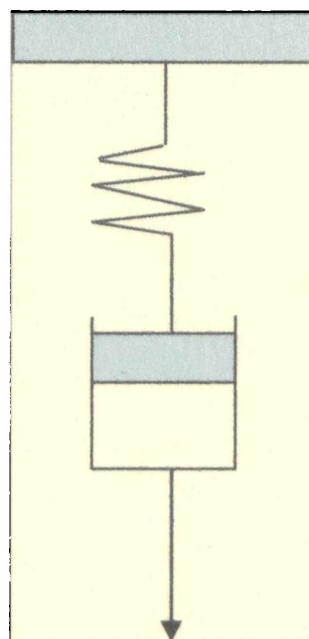


Figura 1.8. Esquema del modelo mecánico básico de Maxwell.

Modelo de Maxwell Generalizado: generalmente los materiales viscoelásticos, y en particular los materiales biológicos, no se relajan siguiendo una velocidad uniforme sino que lo hacen en distintas etapas con tiempos de relajación diferentes. En particular las masas no exhiben el comportamiento típico de una única caída exponencial de la fuerza, indicador de un único mecanismo de relajación (Dobroszczyk y Morgenstern, 2003). La presencia de varias etapas con tiempos de relajación diferentes puede ser analizada por el modelo de Maxwell generalizado. El mismo está representado por un número infinito de elementos de Maxwell colocados en paralelo, también puede aparecer un elemento elástico puro en paralelo a los otros elementos (Bertola, 1992).

Si se somete al modelo a una deformación ε el esfuerzo total es la suma de los esfuerzos soportados por cada elemento de Maxwell, que está representado por la siguiente ecuación:

$$F(t) = F_{\infty} + \sum_{n=1}^n F_i \exp(-t / \tau_i) \quad (1.10)$$

Teniendo en cuenta que la tensión es $\sigma = F/a = E\varepsilon$, se puede expresar el decaimiento de la tensión como:

$$\sigma(t) = \sigma_{\infty} + \sum_{n=1}^n \sigma_i \exp(-t / \tau_i) = \varepsilon \left[E_{\infty} + \sum_{n=1}^n E_i \exp(-t / \tau_i) \right] \quad (1.11)$$

donde E_{∞} es el módulo de elasticidad de equilibrio y corresponde en este modelo a un elemento elástico puro.

A partir de este modelo se puede estudiar el comportamiento reológico de los materiales ensayados y calcular los parámetros que lo caracterizan a partir de la siguiente ecuación:

$$F^*(t) = F(t) / F_0 = A_{\infty} + \sum_{n=1}^n A_i \exp(-t / \tau_i) \quad (1.12)$$

donde $F(t)$ es la fuerza instantánea a lo largo del ensayo de relajación. F_0 es el valor inicial (antes del decaimiento de la tensión), A_i son coeficientes que dependen de las propiedades viscoelásticas del material y τ_i los tiempos de relajación. A partir de los coeficientes (A_i) podemos calcular los módulos elásticos (E_i).

$$E_1 = \frac{A_1 F_0}{a \varepsilon} \quad (1.13)$$

Para calcular los parámetros viscoelásticos los datos obtenidos del ensayo de relajación de cada muestra (curvas Fuerza vs. tiempo) se correlacionan mediante el software SYSTAT 10, de acuerdo al modelo propuesto en la ecuación (1.12).

Según Costell y col. (1997) la interpretación del sentido físico de varios módulos de elasticidad y otros tantos tiempos de relajación no es fácil ni directa. Además, las constantes de dicho modelo teórico son dependientes del período de tiempo que dura la experiencia, por lo que sus resultados sólo tienen valor comparativo en ensayos que se hayan realizado en idénticas condiciones experimentales.

Modelo de Peleg: otros autores han desarrollado ecuaciones empíricas con el objeto de evitar la dependencia del valor de los parámetros del tiempo de duración del ensayo y de la magnitud de la fuerza inicial aplicada (Peleg, 1980; Nussinovich y col., 1989). Una de las más utilizadas es la ecuación propuesta por Peleg (1980) que representa el decaimiento de la fuerza inicial aplicada (F_0) con el tiempo:

$$\frac{F_0 t}{(F_0 - F(t))} = k_1 + k_2 t \quad (1.14)$$

donde k_1 y k_2 son dos constantes del material cuyo significado físico está relacionado con la velocidad inicial de caída de la tensión interna y con un hipotético nivel asintótico de la proporción de la fuerza inicial que permanece sin relajar, respectivamente. Esta ecuación propone una linealización de las curvas experimentales.

En la selección de un procedimiento para el análisis del comportamiento viscoelástico, sin embargo, uno debe no sólo considerar la conveniencia matemática, sino también si el método es lo suficientemente sensible para explicar los cambios estructurales que ocurren durante el curso de la deformación.

En cualquier caso, la elección del método a utilizar para analizar la respuesta de un alimento durante la relajación, es el resultado de un compromiso entre que éste resulte lo más simple posible y permita obtener suficiente información para caracterizar dicha respuesta de una forma consistente.

En este trabajo se analizan las curvas de relajación experimentales obtenidas con los dos métodos descritos anteriormente: Maxwell generalizado y Peleg.

1.6.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos

Como se mencionara previamente la reometría de baja deformación también permite caracterizar materiales viscoelásticos, complementando el ensayo de relajación.

Cuando una muestra es evaluada mediante esta técnica, usualmente es colocada entre dos placas circulares como puede observarse en el esquema de la figura 1.10. En este tipo de ensayo la perturbación se realiza en forma sinusoidal, por lo que tanto el esfuerzo como la deformación pueden ser presentados por funciones trigonométricas.

La deformación puede representarse con la siguiente ecuación:

$$\gamma = \gamma_0 \text{sen}(\omega t) \quad (1.15)$$

donde γ_0 es la máxima deformación aplicada a la muestra, t el tiempo y ω la frecuencia de la oscilación.

Al aplicar una deformación sinusoidal pueden presentarse diferentes respuestas dependiendo del tipo de material.

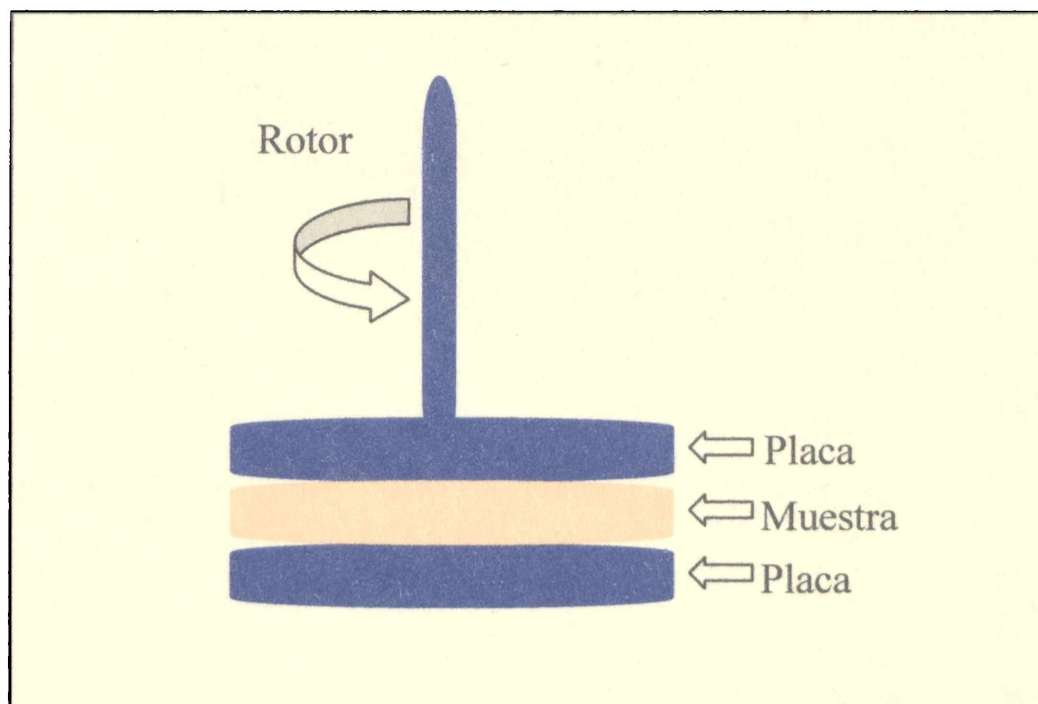


Figura 1.10. Esquema de los platos del reómetro y la muestra.

Para un material perfectamente elástico, la onda de deformación se encontrará en fase con el esfuerzo aplicado. Considerando la respuesta de un sólido ideal, representada por la ecuación:

$$\sigma = G\gamma \quad (1.16)$$

donde σ es el esfuerzo de cizalla aplicado, γ es la deformación relativa, y G es la constante de proporcionalidad o módulo de rigidez.

El esfuerzo correspondiente que se obtiene al reemplazar en dicha ecuación la deformación oscilatoria presentada en la ecuación 1.17 será:

$$\sigma = G \gamma_0 \text{sen}(\omega t) \quad (1.17)$$

En una forma más general, esta ecuación puede escribirse como:

$$\sigma = \sigma_0 \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (1.18)$$

donde σ_0 es el esfuerzo máximo que se alcanza y δ el ángulo de desfase entre la respuesta y la perturbación aplicada. Por lo tanto comparando las ecuaciones anteriores puede decirse que para un sólido ideal el ángulo de desfase (δ) entre el esfuerzo aplicado y la deformación será de 0° .

Si en cambio, el ensayo se realiza sobre un material viscoso ideal, éste se deforma continuamente bajo la acción de un esfuerzo de corte siguiendo la ley de Newton. Si la deformación oscilatoria aplicada se deriva respecto del tiempo se obtiene la velocidad de deformación:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \gamma_0 \cos(\omega t)\omega \quad (1.19)$$

Esta velocidad de deformación se introduce en la ecuación de Newton:

$$\sigma = \eta\gamma_0 \cos(\omega t)\omega \quad (1.20)$$

La cual podemos escribir como:

$$\sigma = \sigma_0 \cos(\omega t) \quad (1.21)$$

La ecuación anterior permite deducir que cuando se aplica una deformación sinusoidal, la respuesta obtenida también es sinusoidal ya que teniendo en cuenta las propiedades del seno y el coseno, la ecuación (1.23) puede reescribirse como:

$$\sigma = \sigma_0 \text{sen}(\omega t + \delta) \quad (1.22)$$

Al comparar la deformación sinusoidal aplicada con el esfuerzo obtenido se puede deducir que para un líquido viscoso ideal, la onda que representa la deformación oscilatoria se encuentra exactamente fuera de fase ($\delta=90^\circ$) con respecto a la correspondiente al esfuerzo (Steffe, 1996).

Como se ha mencionado previamente, los materiales viscoelásticos presentan un comportamiento intermedio entre el correspondiente al viscoso ideal y al elástico ideal, por lo tanto las funciones trigonométricas que representan la deformación y el esfuerzo presentan ángulos de desfase entre 0 y 90° (Steffe, 1996).

Cuando se aplica un esfuerzo o deformación oscilatorios a un material se obtienen el módulo complejo, G^* , y el ángulo de desfase, δ . El módulo complejo queda expresado por:

$$G^* = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} \quad (1.23)$$

A partir de este parámetro y del ángulo de desfase se derivan dos parámetros que caracterizan a los materiales viscoelásticos: el módulo elástico o de almacenamiento (G') y el módulo viscoso o de pérdida (G'').

El módulo elástico (G') se encuentra vinculado a la energía que se almacena elásticamente en el sistema y puede ser recuperada cuando el esfuerzo aplicado es removido. El módulo de pérdida (G'') es una medida de la energía perdida en forma de calor asociada al comportamiento viscoso.

Los módulos elásticos y viscosos o de pérdida se pueden escribir como:

$$G' = \left(\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right) \cos \delta \quad (1.24)$$

$$G'' = \left(\frac{\sigma_0}{\gamma_0} \right) \sin \delta \quad (1.25)$$

Por último, de la relación de G' y G'' surge otro parámetro importante y muy utilizado para caracterizar la naturaleza viscoelástica de un material: la tangente del ángulo de desfase ($\tan \delta$).

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (1.26)$$

La tangente del ángulo de desfase también es función de la frecuencia y está directamente vinculada con la relación entre la energía perdida con respecto a la energía recuperada en cada ciclo. Puede variar entre 0 e infinito y cuanto menor su valor, mayor carácter elástico tiene el material estudiado.

En el presente trabajo de tesis las pruebas reológicas dinámicas se realizan en un reómetro RS600 (Haake, Alemania), provisto con placas paralelas de superficie rugosa y 35 milímetros de diámetro (PP35/S), con una distancia de separación entre ellas de 0.8 milímetros (figura 1.11). Una vez alcanzada la distancia entre platos en el sistema sensor se quita la muestra excedente y se coloca una ligera capa de silicona para prevenir la evaporación durante el desarrollo del ensayo.

En un primer ensayo, se determina el rango de viscoelasticidad lineal para cada una de las muestras de pasta. Dentro de esta región las propiedades reológicas serán independientes del esfuerzo (Gunasekaran y Mehmet, 2000). Para ello se realizó un barrido de esfuerzo de 0.01 a 20Pa a una frecuencia fija de 1Hz. A partir de este ensayo se selecciona un esfuerzo de 0.1 Pa para realizar los espectros mecánicos de las muestras. La temperatura fue mantenida en 20 °C utilizando un baño anexo al equipo (DC50, Haake) y la frecuencia de la oscilación varió entre 0.1 y 100 Hz. Cada prueba fue realizada por triplicado.

El procedimiento experimental permite la obtención del módulo G' o módulo de almacenaje y del módulo G'' o módulo de pérdida en función de la frecuencia.



Figura 1.11. Fotografía del reómetro empleado.

1.6.5. Análisis Microbiológico:

Entre las causas de la alteración durante el almacenamiento de los productos alimenticios, el crecimiento de microorganismos es ciertamente uno de los más importantes, y esta es la razón por la cual es fundamental determinar y establecer estándares de vida útil microbiológica.

El análisis microbiológico de un alimento permite conocer sus fuentes de contaminación, valorar las normas de higiene utilizadas en la elaboración y manipulación de los mismos, detectar la posible presencia de microbiota patógena que suponga un riesgo para la salud del consumidor (siendo éste uno de los objetivos más importantes en microbiología alimentaria) y establecer en qué momento se producen fenómenos de alteración en los distintos alimentos, con el fin de delimitar su período de conservación.

Para este trabajo en particular, y de acuerdo a estándares habituales, se definió la vida útil microbiológica del producto como el tiempo de almacenamiento para el cual tanto los recuentos de microorganismos mesófilos totales, como los recuentos de hongos y levaduras alcanzan el valor de 10^4 UFC/g (ANMAT, 2004).

La temperatura óptima de los microorganismos mesófilos se encuentra entre 30 y 45 °C, por consiguiente se los encuentra en alimentos almacenados a temperatura ambiente o en alimentos refrigerados que han sufrido ruptura de la cadena del frío. Recuentos altos en alimentos estables a menudo indican materias primas contaminadas o tratamientos no satisfactorios desde el punto de vista sanitario, mientras que en los productos perecederos pueden indicar también condiciones inadecuadas almacenamiento (tiempo y/o temperatura). La presencia de un número elevado de bacterias aerobias mesófilas que crecen bien a temperatura corporal o próxima a ella, significa que pueden haberse dado condiciones favorables a la multiplicación de los microorganismos patógenos de origen humano o animal (Adams y Moss, 1997; Doyle y col., 2000; Martins y Leal Germano, 2008).

La microbiología predictiva es una herramienta matemática poderosa para cuantificar y predecir la velocidad de crecimiento de los microorganismos bajo distintas condiciones ambientales, permitiendo así asegurar la calidad del alimento determinando su vida útil (Buchanan, 1993; Zwietering y col., 1990).

Los principales factores que afectan el crecimiento microbiano en los alimentos son la temperatura y el pH, por lo cual en un modelo matemático deberá considerarse su influencia. En relación a la temperatura, ésta varía durante el almacenamiento de un producto alimenticio, y es probablemente el principal factor en la determinación de la cinética del crecimiento de las bacterias, pero también es el parámetro que más ampliamente fluctúa durante el desarrollo o inhibición microbiana (Zwietering y col., 1990).

En el presente trabajo se realizan determinaciones de microorganismos mesófilos totales y de hongos y levaduras a fin de determinar el periodo de vida útil microbiológicos de las pastas almacenadas tanto refrigeradas como congeladas.

Para las determinaciones microbiológicas se trabajó con muestras de 10 g de pasta, las que se diluyeron con 90ml de peptona, homogeneizándose asépticamente en un Stomacher 400. A partir de este homogenato, se realizaron 2 diluciones en 9ml de peptona al 0.1%, sembrándose 0.1ml de cada una de estas en Agar PCA para recuento de microorganismos mesófilos totales (37 °C, 48 hs) y en Agar YGC (30 °C, 5 días) para recuento de hongos y levaduras presentes (Pascual Anderson y Calderón y Pascual, 1999).

Los diferentes recuentos microbianos fueron modelados a partir de la ecuación de Gompertz (ecuación 1.29), que es uno de los modelos más utilizados para describir el desarrollo microbiano, determinando la respuesta de los microorganismos bajo diversas combinaciones de factores (Zwietering y col., 1990).

Esta ecuación permite, además de calcular la vida útil del producto, estimar parámetros tales como el tiempo de latencia (LPD), la velocidad específica de crecimiento (μ) y la máxima concentración de células (MPD) de los microorganismos en esas condiciones.

$$\log N = a + c \exp(- \exp(- b(t - m))) \quad (1.27)$$

donde: Log N es el logaritmo decimal de los recuentos microbianos [Log (UFC/g)] al tiempo t, dado en días; a es el Log de los recuentos asintóticos cuando el tiempo decrece indefinidamente (aproximadamente equivale al Log de los niveles iniciales de bacterias) [Log (UFC/g)]; c es el Log de los recuentos asintóticos cuando el tiempo se incrementa indefinidamente (es el número de ciclos Log de crecimiento) [Log (UFC/g)]; m es el tiempo requerido para alcanzar la máxima velocidad de crecimiento [días] y b es la velocidad de crecimiento relativa al tiempo m [días]⁻¹.

A partir de los valores de recuentos experimentales a los distintos tiempos de almacenamiento se determinan los parámetros de la ecuación 1.29: a, b, c y m . Luego de dicha ecuación se puede calcular la vida útil del alimento como el tiempo al cual el número de microorganismo de deterioro alcanza el valor límite de 10^4 .

1.6.6. Evaluación sensorial

La aceptación intrínseca de un alimento es la consecuencia de la reacción del consumidor ante las propiedades físicas, químicas y texturales del mismo. De hecho, una de las múltiples definiciones de análisis sensorial obedece al examen de las propiedades organolépticas de un producto por los órganos de los sentidos, es decir, el conjunto de técnicas que permiten percibir, identificar y apreciar un cierto número de propiedades características de los alimentos. Existen ciertas cualidades sensoriales que se perciben por medio de un único sentido, como es el caso del color y la vista, pero otras muchas cualidades son detectadas por dos o más sentidos, de forma secuencial o prácticamente simultánea.

Cada vez más los consumidores reclaman alimentos naturales y existe una corriente claramente favorable hacia los alimentos que conservan su propiedad sensorial más pura. De esto surge la importancia de los análisis sensoriales como única vía para conocer cómo perciben y valoran los productos sus principales destinatarios.

Los estudios de naturaleza hedónica son esenciales para saber en qué medida un producto puede resultar agradable al consumidor. Pueden aplicarse pruebas hedónicas para conocer las primeras impresiones de un alimento nuevo o profundizar más y obtener información sobre su grado de aceptación o en qué momento puede producir sensación de cansancio en el consumidor. El término hedónico proviene del griego *hedond*, que significa placer, y hace referencia a la atracción subjetiva del individuo por el producto a evaluar. En consecuencia el objetivo de una prueba hedónica es obtener una respuesta personal, ya sea de aceptación o de preferencia, de un consumidor -potencial o real-, sobre un producto concreto, una idea o proyecto de producto o simplemente una característica específica del mismo.

Con el objetivo de evaluar la aceptación del alimento estudiado, pasta cocida, en sus distintas variedades, se realizaron ensayos de aceptabilidad sensorial por atributos, utilizando la escala hedónica.

Para los dos tipos de pastas que se estudian en este trabajo, con y sin relleno, el ensayo fue básicamente el mismo. Los panelistas debían evaluar solamente las características de las cintas de pasta que componen el plato. En todos los casos se usó como referencia el producto fresco, recién cocido.

Selección de los consumidores: Una de las premisas fundamentales para el triunfo de un alimento en el mercado pasa por la evaluación particular y adecuada del consumidor o grupo de consumidores al que va destinado el mismo.

Para las pruebas afectivas es necesario contar con un mínimo de 30 evaluadores no entrenados y éstos deben ser consumidores potenciales o habituales del producto (es interesante que su criterio responda a un cierto conocimiento del alimento a probar) y compradores de esa gama de alimentos.

Nombre:	Edad:	
<ul style="list-style-type: none"> • Es consumidor de pastas? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> • Con que frecuencia las consume? 		
<input type="checkbox"/> Ocasional (menos de 1 vez por semana)	<input type="checkbox"/> Moderada (1 vez por semana)	<input type="checkbox"/> Gran Frecuencia (mas de 1 vez por semana)

Nombre:	Edad:	
<ul style="list-style-type: none"> • Es consumidor de productos integrales? Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> • Con que frecuencia las consume? 		
<input type="checkbox"/> Ocasional (menos de 2 veces por semana)	<input type="checkbox"/> Moderada (de 2 a 4 veces por semana)	<input type="checkbox"/> Gran Frecuencia (Todos los días)

Figura 1.12. Cuestionarios de selección de panelistas.

A efectos de seleccionar los consumidores que integrarían el panel, se realizó un cuestionario de reclutamiento (figura 1.12).

A partir de los resultados de este cuestionario se seleccionaron 30 personas adultas, de ambos sexos, consumidoras habituales de pastas y de alimentos integrales.

Lugar de realización del test: El ensayo se realizó en una zona aislada dentro de las instalaciones del CIDCA (el comedor diario), con buena iluminación (luz blanca normal y luz natural) y ventilación (figura 1.13).

Características generales del cuestionario y de las muestras: A cada consumidor se le entrega una planilla donde debe evaluar los atributos de la pasta cocida apariencia, consistencia, sabor y aceptabilidad global mediante una escala semiestructurada de 9 puntos anclada en los puntos me disgusta mucho, me es indiferente y me gusta mucho.



Figura 1.13. Vista del lugar de realización del panel sensorial

Las bandejas conteniendo el plato preparado de pastas, independientemente del tipo de almacenamiento o tipo de pasta (con o sin relleno), se calientan en un horno eléctrico marca Ariston a 180 °C, durante 10 minutos.

Luego se sirven a los evaluadores en porciones individuales de 30 g aproximadamente, codificadas con números de tres cifras.

La figura 1.14 muestra una fotografía de la bandeja de pasta tal cual se presentan a los consumidores.

En la figura 1.15 se presenta un ejemplo de una planilla típica utilizada para evaluar la aceptabilidad sensorial por atributos de las pastas con y sin relleno en las distintas condiciones ensayadas en este trabajo de tesis.

Cabe aclarar que independientemente del tipo de plato preparado, con y sin relleno, a los evaluadores se les solicita solo evaluar las cintas de pasta.



Figura 1.14. Bandejas de tallarines y lasagna presentadas a los evaluadores.

Evaluación sensorial: Tallarines Orgánicos

NOMBRE:..... FECHA: / /

EVALUADOR N°:.....

Usted recibirá varias muestras de **tallarines orgánicos**, ordenadas al azar, codificadas con números de tres dígitos. Por favor, evalúe para según su opinión para cada muestra: su **apariencia, consistencia, sabor y aceptabilidad global**, usando la escala que se detalla a continuación:

MUESTRA N° 287

Apariencia

<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"/>
Me disgusta mucho				Me es indiferente				Me gusta mucho

Consistencia

<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"/>
Me disgusta mucho				Me es indiferente				Me gusta mucho

Sabor

<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"/>
Me disgusta mucho				Me es indiferente				Me gusta mucho

Aceptabilidad Global

<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"/>
Me disgusta mucho				Me es indiferente				Me gusta mucho

Figura 1.15. Modelo de planilla de evaluación sensorial de las pastas orgánicas

1.6.7. Vida útil sensorial

La vida útil de un producto depende de las condiciones ambientales del almacenamiento. Uno de los principales factores ambientales que da lugar a la disminución de calidad para la mayoría de los alimentos durante el almacenamiento es la exposición a temperaturas crecientes.

La determinación de la vida útil es de suma importancia para establecer las posibilidades de comercialización de los productos alimenticios. Por lo tanto podemos definir la vida útil como el período máximo de tiempo durante el cual los alimentos retienen sus atributos de calidad predeterminados.

Excepto en las situaciones en las cuales la seguridad microbiológica es la limitante, la definición del período de validez se relaciona con el posicionamiento del producto en el mercado en términos de la percepción de la calidad o de las expectativas de calidad por parte del cliente. Los consumidores de un producto *Premium* tendrán una expectativa más alta de la calidad durante el período de validez (Kilcast y Subramoniam, 2000).

Según Taoukis y Labuza (1989a, 1989b) para predecir el período de validez hace falta una medida de pérdida de calidad, un valor de corte de la misma, el orden de la reacción para predecir el tiempo para llegar al punto de corte y medidas experimentales de esta pérdida a por lo menos dos temperaturas.

Se puede establecer el punto final sensorial como una disminución específica de la aceptabilidad o un cambio perceptible en el producto en uno o más atributos críticos. Hough y Fiszman (2005) mencionan que el criterio de falla sensorial carece de uniformidad, ya que distintos autores han utilizado diferentes criterios. Incluso un mismo autor ha utilizado diferentes criterios de falla según el producto objeto del estudio.

Un estudio de vida útil sensorial consiste en realizar una serie de controles preestablecidos en el tiempo, de acuerdo con una frecuencia establecida, hasta detectar que el alimento alcanza el nivel de deterioro elegido como limitante o bien alcanza ciertos límites prefijados. Por ese motivo es muy importante definir cuál es el tiempo máximo de almacenamiento con el que se va a trabajar.

Por consiguiente los puntos claves al diseñar un ensayo de vida útil (VU) son: el tiempo durante el cual se va a realizar el estudio, la frecuencia de muestreo y los

controles que se van a llevar a cabo sobre el producto. Generalmente se cuenta con poca información previa, por lo que se deben programar controles simultáneos de calidad microbiológica, fisicoquímica y sensorial.

En el presente trabajo se empleó la metodología de **Estadística de Supervivencia** para cuantificar la vida útil sensorial de las pastas estudiadas.

El análisis de supervivencia (Kleinbaum, 1996; Klein y Moeschberger, 1997; Meeker y Escobar, 1998) es una herramienta estadística muy utilizada en estudios clínicos, epidemiológicos, biológicos, sociológicos y en estudios de fiabilidad.

Esta metodología comprende un conjunto de procedimientos estadísticos para analizar aquellos tipos de datos que incluyen el tiempo entre dos sucesos como variable de respuesta. Es decir es un área estadística en la que la variable respuesta es el tiempo que transcurre entre un evento inicial (que determina la inclusión del individuo en el estudio) y un evento final (genéricamente llamado falla) que ocurre cuando el individuo presenta la característica para terminar el estudio (en nuestro caso, rechaza el producto).

Se define la variable aleatoria t como el tiempo de almacenamiento en el cual el consumidor rechaza la muestra. Supondremos establecido un tiempo cero que se corresponderá con el producto fresco. Para este tiempo cero se supone que los consumidores aceptan el producto. De lo contrario, si un consumidor rechaza el producto fresco no se tienen en cuenta sus datos para el estudio.

El tiempo de rechazo determinado por cada individuo, está sujeto a variaciones aleatorias y por lo tanto, formalmente, t es una variable aleatoria no negativa. Dichas variaciones son propiedades intrínsecas de los individuos y se producen como consecuencia de factores no mensurables tales como el estado físico del individuo, los alimentos o bebidas que ha ingerido antes, su estado anímico, etc. Para interpretar una variable aleatoria del tipo tiempo, como la que se acaba de ilustrar se puede usar la llamada función de rechazo $F(t)$, que se define como la probabilidad de que un consumidor rechace un producto almacenado antes del tiempo t .

Por lo tanto, en este tipo de análisis el riesgo no se enfoca en el deterioro del producto, sino en el rechazo del consumidor hacia el producto.

A partir de la función $F(t)$ obtenida en este ensayo es posible determinar el período de vida útil sensorial dependiendo del porcentaje de rechazo que se esté dispuesto a aceptar para el producto evaluado.

Datos del ensayo

Para realizar el ensayo de vida útil se trabajó con un diseño básico. El mismo consiste en almacenar un lote de muestra en las condiciones seleccionadas e ir haciendo un muestreo en los tiempos prefijados. En cada muestreo se realizan todos los análisis correspondientes.

Selección de las condiciones de ensayo

Pastas cocidas envasadas en bandejas de aluminio de 200 g.

Tiempo máximo de almacenamiento:

- Almacenamiento refrigerado: tiempo de vida útil microbiológica para cada temperatura.
- Almacenamiento congelado: 12 meses.

Tiempos de muestreo:

- Almacenamiento refrigerado: cada 2 días hasta el fin de la vida útil microbiológica para cada temperatura de almacenamiento.
- Almacenamiento congelado: 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 meses de almacenamiento congelado a -18 °C.

Descriptor crítico fisicoquímico: descriptores críticos microbiológicos: recuentos de mesófilos totales y hongos y levaduras.

Evaluadores: 15 consumidores habituales de pastas previamente reclutados según el cuestionario de la figura 1.12.

La ventaja de emplear un diseño básico es que se trabaja con un único lote de producción. Las desventajas del diseño básico son que hay que reunir al panel de evaluadores varias veces (en cada tiempo de muestreo), lo que implica mayor trabajo y mayor costo. Los evaluadores van intuyendo el objetivo del estudio y hay un error de expectativa (Kihlberg y col., 2005).

Para el análisis, las bandejas de pastas, independientemente del tipo de almacenamiento o tipo de pastas (con o sin relleno), se calentaron en un horno eléctrico Ariston, mencionado previamente, a 180 °C, durante 10 min. Luego las pastas se presentaron a los evaluadores en porciones individuales de 30 g aproximadamente (figura 1.14) y codificadas con números de tres cifras. Cada evaluador respondió según la planilla que se muestra en la figura 1.16.

Evaluación sensorial: Tallarines Orgánicos		
NOMBRE:.....	FECHA:	/ /
MUESTRA N°:.....		
Usted normalmente consumiría este producto?	Sí	No
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 1.16. Planilla de evaluación de vida útil sensorial

En la práctica cuando se trazan gráficos de $F(t)$ a partir de los datos experimentales lo que se obtiene es una función con forma de escalón en lugar de una curva suave. Con objeto de estimar la función rechazo los datos obtenidos del ensayo para cada muestra (porcentaje de rechazo vs. tiempo) se ajustan mediante el software OriginPro, de acuerdo a distintos modelos: lognormal, weibbul, logistic, y se selecciona el que mejor correlaciona a los datos experimentales.

1.7. Cinéticas de deterioro

El modelar los cambios químicos, bioquímicos, microbiológicos y físicos que presentan los alimentos durante su almacenamiento, implica que estos cambios pueden ser capturados dentro de modelos matemáticos que contienen parámetros cinéticos característicos como lo son la energía de activación y las constantes de velocidad (van Boekel, 2008).

Este modelado en ciencia de alimentos puede servir para una mejor comprensión a nivel molecular de lo que observamos en los alimentos, para una predicción cuantitativa de su estado futuro, y para el control de los cambios que ocurren durante su procesamiento o almacenamiento.

La mencionada comprensión de los mecanismos de las reacciones de deterioro junto con la cuantificación de las constantes de la velocidad facilitarán la selección de las mejores condiciones de un proceso o del almacenamiento, para que las características deseadas estén presentes en el producto durante toda su vida útil.

Debido a la estructura compleja del alimento, los parámetros derivados obtenidos a partir de estos modelos son empíricos, o en el mejor de los casos semi-empíricos. Estos modelos pueden utilizarse con el propósito de predecir y/o controlar, sin embargo, como ocurre con todos los modelos empíricos, hay que ser muy cauteloso en su aplicación fuera de la región en la cual se realizaron las medidas experimentales.

En general, la cinética de pérdida de calidad de un alimento se representa de la siguiente forma:

$$-\frac{dA}{dt} = kA^n \quad (1.28)$$

donde:

A = indicador de calidad medido (color, textura, atributo sensorial, etc.)

t = tiempo,

k = constante dependiente de la temperatura,

n = orden de reacción.

Según Singh (2000) para estudiar el deterioro de los alimentos durante el almacenamiento es importante medir la velocidad de cambio de los atributos de calidad. Estas velocidades pueden ser modeladas usando cinéticas simples de orden cero o de orden uno.

Resolviendo la ecuación (1.30) con $n=0$ y $n=1$ resultan las siguientes expresiones respectivamente:

$$\text{Orden cero: } A = A_0 - kt \quad (1.29)$$

$$\text{Orden uno: } \ln(A) = \ln(A_0) - kt \quad (1.30)$$

donde:

A = factor de calidad a tiempo t,

A_0 = factor de calidad a tiempo cero,

k = constante de velocidad de reacción,

t = tiempo de almacenamiento.

El factor de calidad A es un descriptor crítico, es decir aquella característica que limita la vida útil del producto, ya sea por su disminución (contenido en vitaminas, funcionalidad de un aditivo, carácter crujiente, olor típico, etc.) o por su aumento (pardeamiento, carga microbiana, olor o sabor extraño, sabor rancio, etc.), durante la vida comercial del alimento.

De acuerdo a la evolución de A en función del tiempo, si se obtiene una línea recta, el orden de reacción es cero. En cambio, si al representar el logaritmo del grado de calidad en función del tiempo se obtiene una línea recta, la reacción es de primer orden.

Labuza (1982) menciona algunos casos en donde se puede aplicar los órdenes de reacción cero o uno. Ellos son:

Reacciones de orden cero:

- Degradación enzimática en frutas frescas y vegetales, alimentos congelados y pastas refrigeradas.
- Pardeamiento no enzimático en cereales y en productos lácteos deshidratados.
- Oxidación de lípidos en alimentos congelados y deshidratados.

Reacciones de primer orden:

- Rancidez en aceites o en alimentos deshidratados.
- Crecimiento de microorganismos y sus defectos (aparición de mucílagos o sabores).
- Pérdida de vitaminas en alimentos enlatados y deshidratados.
- Pérdida en calidad de proteínas en alimentos deshidratados.

Con respecto a la determinación del orden de reacción se debe de tener en cuenta que cuando hay menos del 50% de conversión de la reacción, es decir la reacción de deterioro no ha concluido, es difícil distinguir entre orden cero y primer orden. Este concepto se ilustra en la figura 1.17.

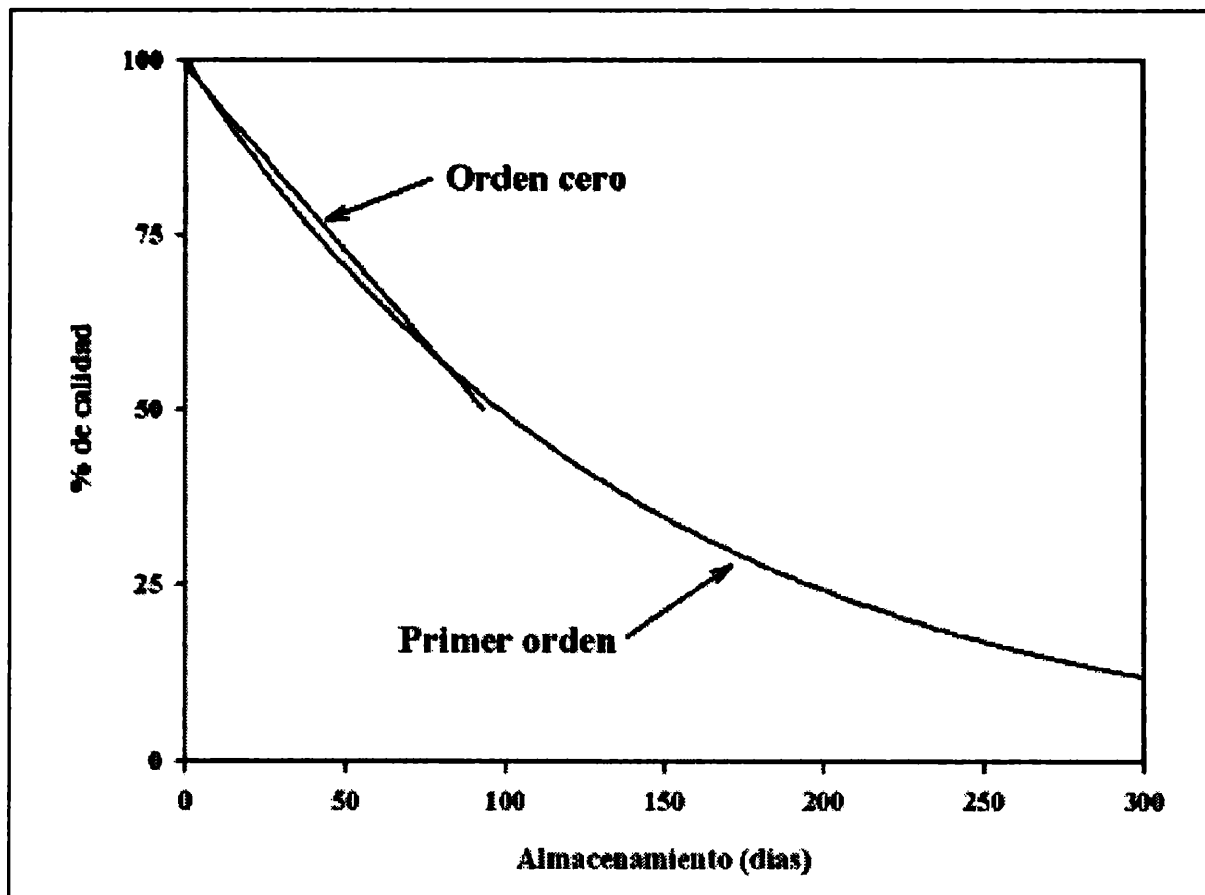


Figura 1.17. Gráfico de determinación de órdenes de reacción.

1.7.1. Cálculo de las energías de activación

Uno de los parámetros de estas ecuaciones es la constante de velocidad de reacción (k) que se ve afectada por la temperatura. En la gran mayoría de las reacciones de pérdida de calidad sensorial, el valor de k varía en función de la temperatura según la ecuación de Arrhenius (Singh, 2000; Hough y col., 2006):

$$k = k_{ref} \exp\left(-\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right) \quad (1.31)$$

donde:

k = constante de velocidad de reacción a la temperatura T ,

k_{ref} = constante de velocidad de reacción a la temperatura de referencia,

E_a = energía de activación en J/mol,

R = constante general de los gases (8.31 J/mol K),

T = temperatura en K,

T_{ref} = temperatura de referencia en K.

La temperatura de referencia, T_{ref} , se elige en función del intervalo de temperaturas en el que se está trabajando.

La ecuación (1.31) se puede linealizar aplicando logaritmos:

$$\ln(k) = \ln(k_{ref}) - \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \quad (1.32)$$

Por lo tanto, si se representa el $\ln(k)$ en función de la inversa de la temperatura absoluta, se obtiene una recta con pendiente $-E_a/R$. De esta manera sencilla podemos estimar la energía de activación E_a .

En el presente trabajo se calculan las cinéticas de pérdida de calidad de las pastas durante el almacenamiento refrigerado y congelado, seleccionando y comparando distintos indicadores de calidad: contenido de humedad, color, textura, parámetros reológicos, aceptabilidad sensorial. Se determinan además las constantes de velocidad de reacción y las energías de activación (este último sólo para los ensayos de refrigeración).

1.7.2. Relación empírica de vida útil con la temperatura

Muchas veces en la literatura o en la práctica industrial no se cuenta con datos de constantes de velocidad de reacción, sino que se cuenta con datos de la vida útil del alimento a distintas temperaturas. Labuza (1982) introduce una relación empírica entre vida útil y temperatura:

$$\log(VU) = a + b T \quad (1.33)$$

A partir de los datos de vida útil experimental (microbiológica o sensorial) se pueden calcular los parámetros a y b de la ecuación (1.33) y así estimar la vida útil del alimento a otra temperatura de almacenamiento.

1.8. Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA). En el caso de presentar diferencias, la comparación de las medias se realizó mediante el test de Fisher a un nivel de significación de 0.05.

Tanto el ANOVA como el test de Fisher se realizaron utilizando un programa de análisis estadístico, SYSTAT 10 (Wilkinson y Coward, 2000).

Capítulo II

Almacenamiento refrigerado

En este capítulo se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de almacenamiento refrigerado. Se analiza el efecto de la temperatura y del tiempo de almacenamiento en los distintos parámetros de calidad estudiados en este trabajo de tesis. Además, se determina la vida útil microbiológica y sensorial y se aplican modelos cinéticos de pérdida de calidad.

2.1. Humedad

El contenido de humedad en función del tiempo y la temperatura de almacenamiento refrigerado para las pastas tipo tallarines y para las cintas de lasagna se presentan en las figuras 2.1 y 2.2 respectivamente.

Tallarines

En el caso de las pastas sin relleno, el contenido de humedad del producto fresco (tiempo de almacenamiento 0) resultó de $64.8 \pm 0.6\%$. Este valor es del orden de los informados por numerosos autores que trabajaron con pastas cocidas (Kindt y col., 2008; Brennan y Tudorica, 2007). No se observaron diferencias significativas en este parámetro entre el producto fresco y el almacenado, independientemente del tiempo y la temperatura de almacenamiento. Estos resultados coinciden con los hallados por Seetharaman y col. (2002), quienes estudiaron el almacenamiento de pan de hamburguesa y tortillas de harina de trigo a 22 °C durante 8 días. Asimismo Venkateswara Rao y col. (1986), Hereda y col. (1990) e Indrani y col. (2000) informaron no observar diferencias significativas en el contenido de humedad entre productos panificados frescos y almacenados.

Lasagna

Las características de este plato preparado están influenciadas no sólo por cambios en los componentes individuales sino también por su interacción. La movilidad del agua entre diversos componentes, la interacción de éstos dentro del producto asociado además con factores externos tales como la temperatura puede influir en la calidad del producto (Redmond y col., 2005).

Al evaluar el contenido de humedad de las cintas de pastas que conforman el plato preparado lasagna se observó que dicho parámetro presentó un aumento significativo al inicio del almacenamiento (día 1) y luego se mantuvo prácticamente constante. Esta variación puede atribuirse a la difusión del agua desde el relleno (el cual tiene un contenido de humedad del 92%) hacia la pasta (McCarthy y col., 2002).

González y col. (2000) estudiaron la redistribución de la humedad en las cintas de pasta de lasagna luego de cocida y concluyeron que la migración de humedad era uno de los mecanismos principales por los cuales las pastas "al dente" pierden sus características mecánicas.

Barret y col. (2005) estudiaron la migración de humedad y los cambios instrumentales y sensoriales de textura en sándwich de queso almacenados durante 4 semanas a temperatura ambiente. Concluyeron que los cambios en las propiedades físicas durante el almacenamiento fueron causados por el envejecimiento de los

componentes y por la redistribución del agua entre ellos (queso, miga y corteza de pan).

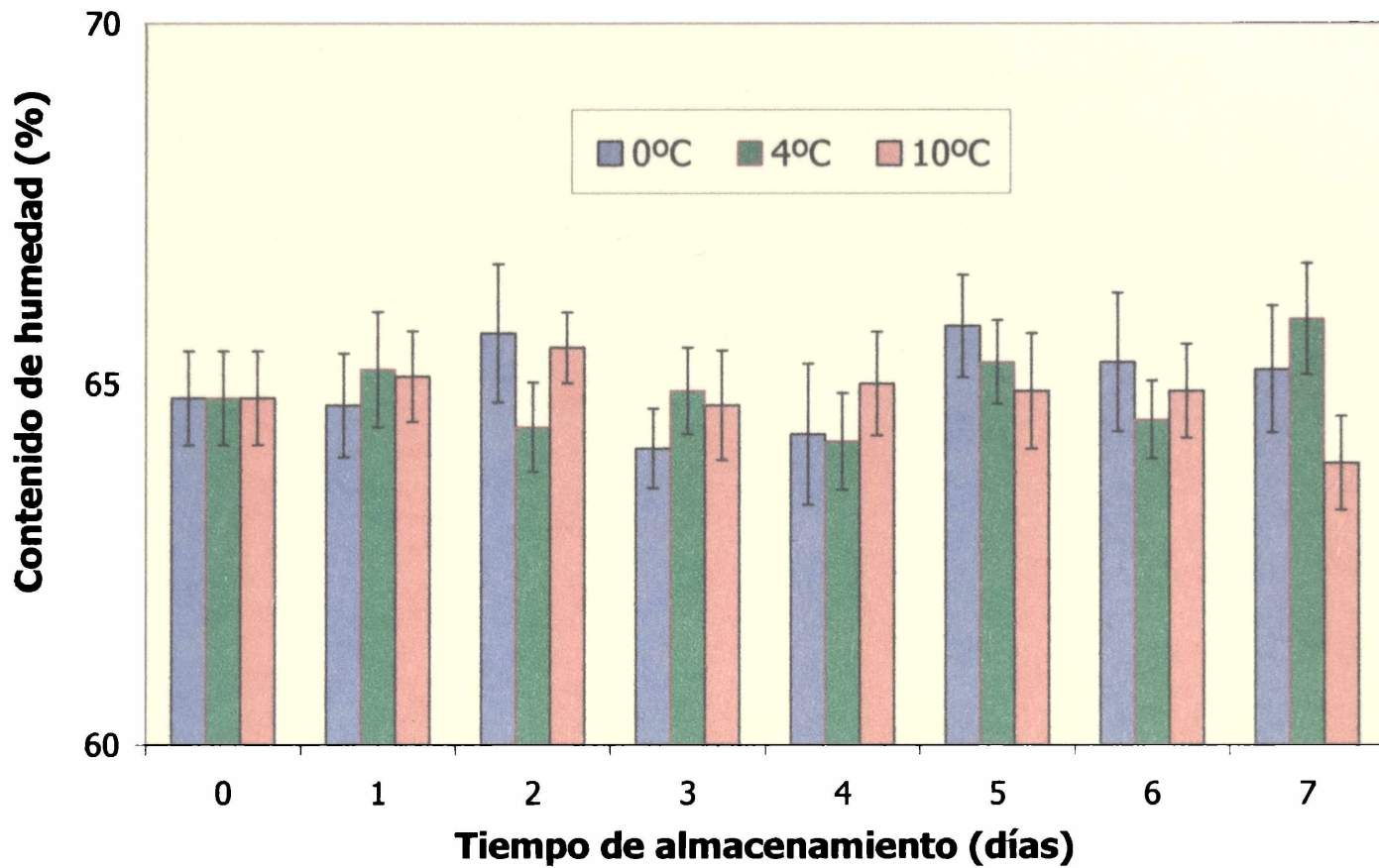


Figura 2.1. Evolución del contenido de humedad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

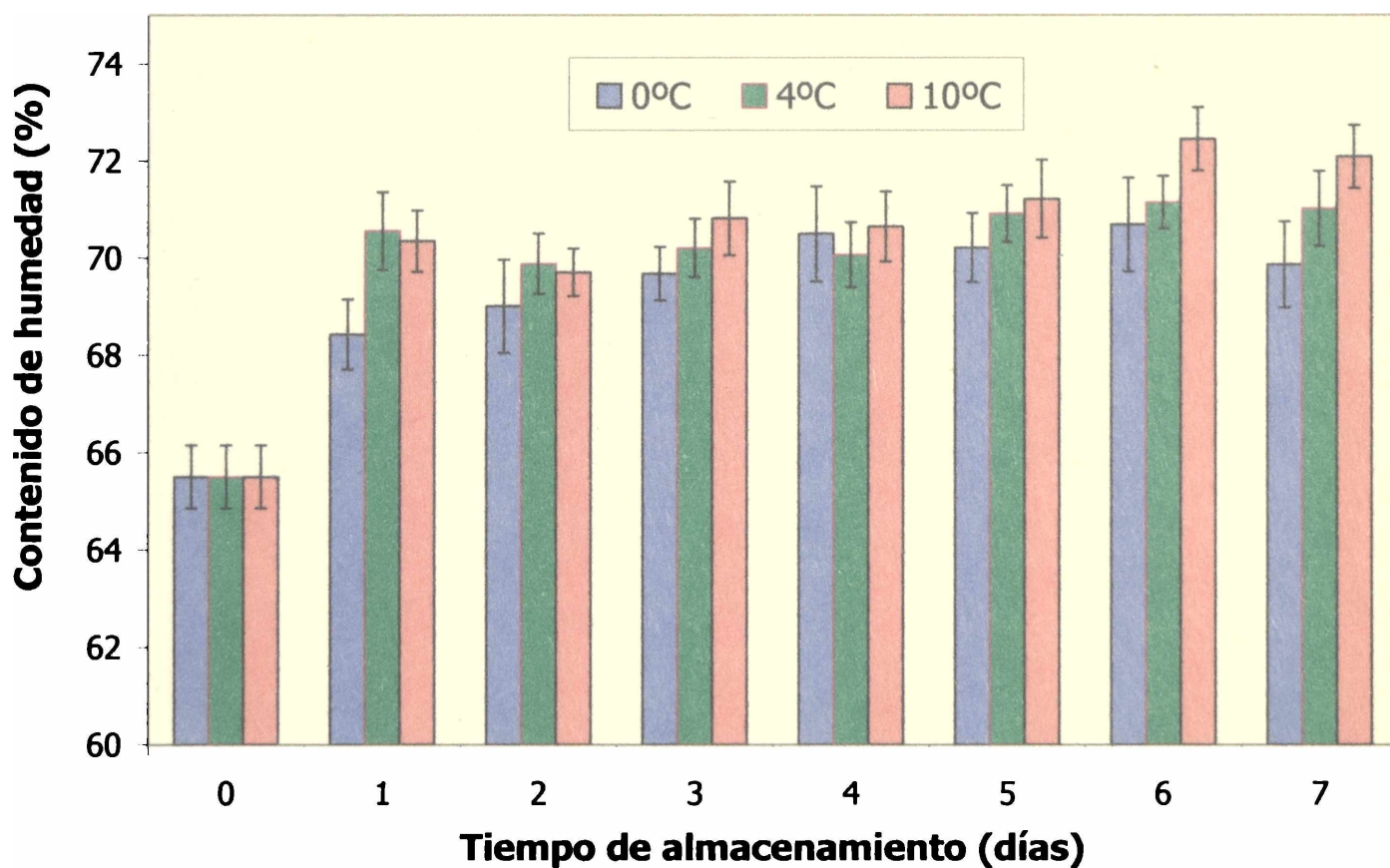


Figura 2.2. Evolución del contenido de humedad de las cintas de lasagna durante el almacenamiento refrigerado.

El efecto de la temperatura es otro parámetro a tener en cuenta. De los resultados de la figura 2.2 se puede inferir un aumento de la difusión del agua dentro de la pasta con el aumento de la temperatura de refrigeración.

2.2. Color superficial

La luminosidad de las pastas (L^*) es un indicador de la atenuación de la luz reflejada por las muestras de pasta. Bajos valores de este parámetro son características de pastas oscuras. Se puede encontrar en bibliografía, por esta razón una variante de este parámetro, el amarronamiento el cual se define como $100-L^*$ (Felliet y col., 2000).

En las figuras 2.3 y 2.4 se presentan las variaciones de este parámetro durante el almacenamiento refrigerado de las pastas tipo tallarines y las pastas rellenas respectivamente.

En el caso de las primeras se puede inferir un leve aumento de la luminosidad, menor al 3%, al final del almacenamiento. Resultados similares encontraron Pangloli y col. (2000) en fideos adicionados con harina de soja y batata almacenados a 4 °C. En cambio Khouryieh y col. (2006) no encontraron diferencias significativas para los valores de L^* de pasta fresca formulada con huevo entero durante su almacenamiento. El valor de este parámetro reportado para los autores mencionados fue de 71.3, este valor, aunque mayor, es comparable al de nuestro trabajo debido a que el color marrón del espagueti aumenta agudamente con el contenido de ceniza según Felliet y col. (2000). En ese sentido, Kordonowy y Youngs (1985) informaron que la adición de salvado de trigo a la sémola da lugar a pastas más oscuras que las formuladas sólo con sémola e informaron valores de L^* del mismo orden al obtenido en la presente tesis.

En contraposición, para las cintas de pasta almacenada con relleno de espinaca y salsa, los valores de L^* disminuyeron significativamente, según indican los valores de la figura 2.4.

Este oscurecimiento de las cintas que conforman el plato preparado lasagna durante su almacenamiento refrigerado, podría atribuirse a la absorción de jugos del

relleno y salsa, la que se comprueba con el aumento de humedad de las cintas, de 63 a 71%. Redmond y col. (2005) reportaron valores de (L/b) en lasagna fresca comparables a los obtenidos para el alimento refrigerado.

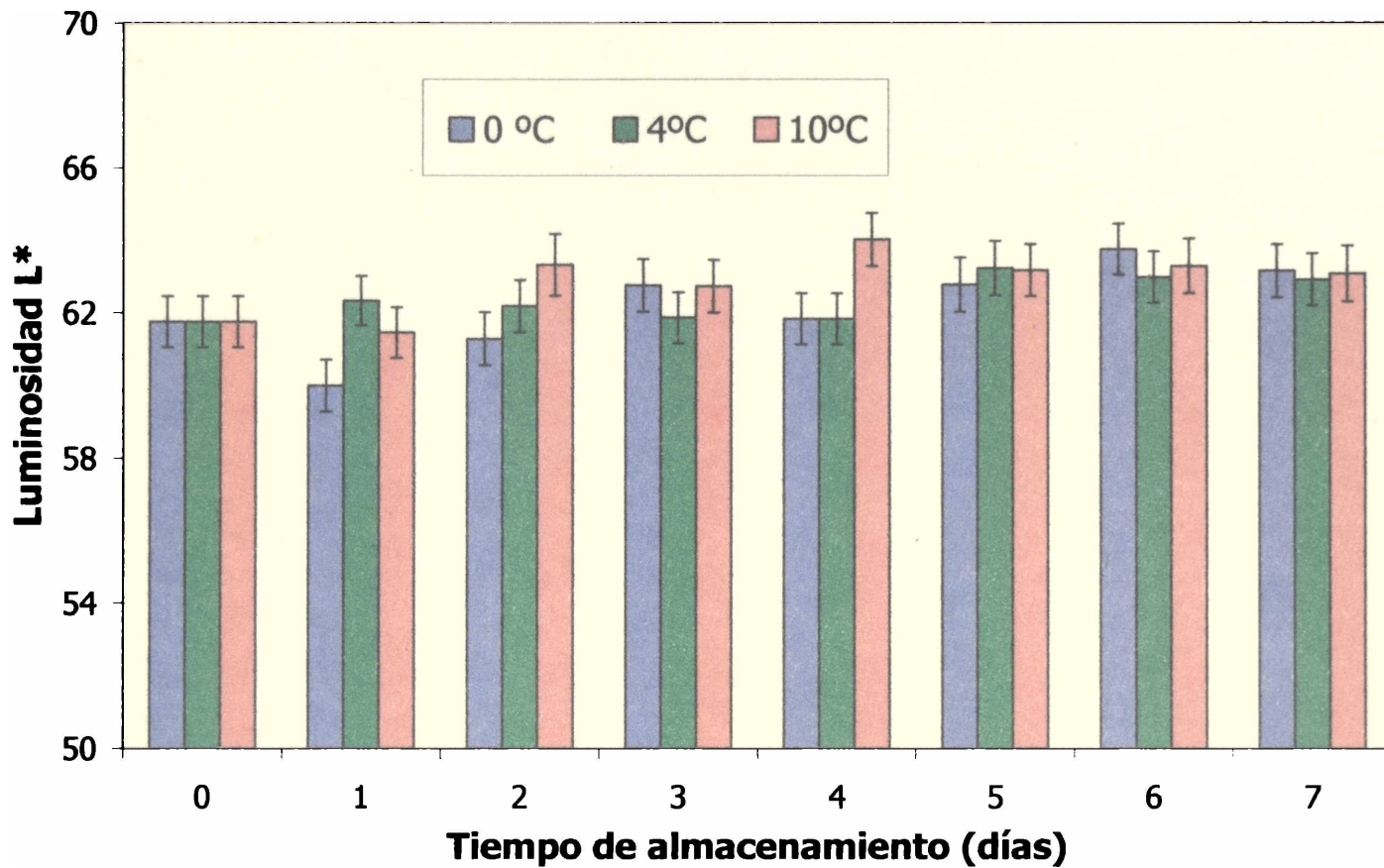


Figura 2.3. Variación del parámetro de color L* de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

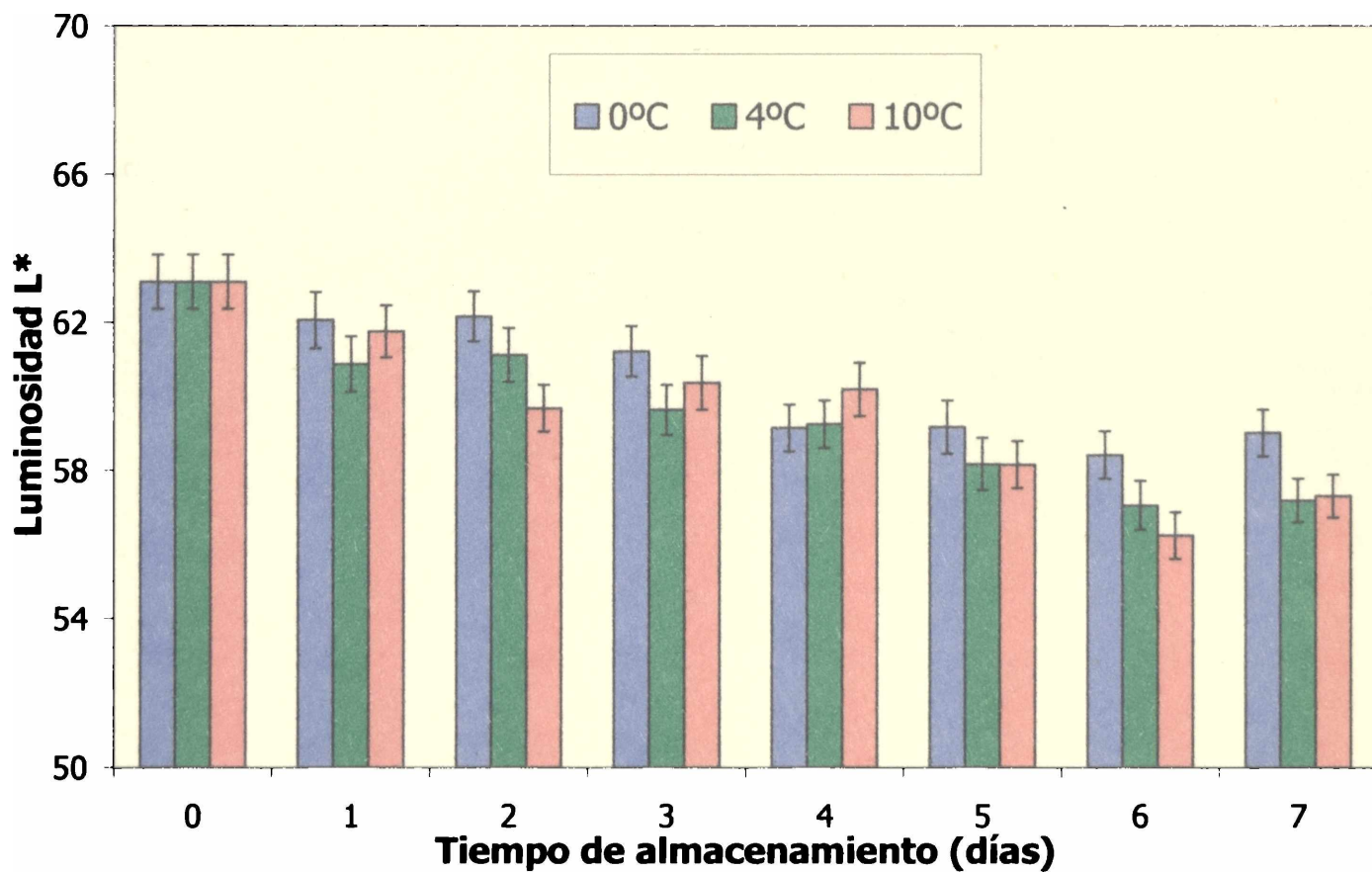


Figura 2.4. Variación del parámetro de color L* de las cintas de lasagna durante el almacenamiento refrigerado.

Los parámetros a y b son una medida del enrojecimiento y del amarillamiento de las pastas respectivamente. En las tablas 2.1 y 2.2 se presentan los valores de dichos parámetros a las distintas temperaturas de almacenamiento.

Los resultados que se presentan en las figuras 2.3 y 2.4 y en las tablas 2.1 y 2.2 son promedios de 10 determinaciones.

Las medidas instrumentales del enrojecimiento disminuyeron durante el almacenamiento refrigerado para todos los casos ensayados, en cambio se puede notar en los valores presentados en la tabla 2.2 que los valores de b^* no presentaron diferencias significativas para las condiciones ensayadas de almacenamiento, solo se observó una leve disminución para el almacenamiento de tallarines a la menor temperatura. La disminución de a^* y b^* indica pérdida del color rojo y amarillo respectivamente a tonos con mayor porcentaje de componente gris. En un estudio similar Khouryieh y col. (2006) informan la disminución del parámetro b^* durante el almacenamiento de fideos frescos formulados con huevos enteros y sustitutos de huevo.

Tabla 2.1. Evolución del parámetro de color a^* durante el almacenamiento refrigerado

Tiempo de almacenamiento (días)	Tallarines			Lasagna		
	0 °C	4 °C	10 °C	0 °C	4 °C	10 °C
0	4.75 ^a	4.75 ^a	4.75 ^a	4.78 ^a	4.78 ^a	4.78 ^a
1	4.17 ^b	4.79 ^a	4.42 ^a	3.81 ^b	4.77 ^a	3.78 ^b
2	4.19 ^b	4.47 ^a	3.94 ^b	3.73 ^b	4.32 ^a	3.85 ^b
3	3.77 ^b	4.02 ^b	4.25 ^{ab}	3.79 ^b	4.07 ^b	3.31 ^b
4	3.79 ^b	4.21 ^{ab}	4.53 ^a	3.82 ^b	4.37 ^a	3.17 ^b
5	3.85 ^b	4.04 ^b	3.99 ^b	4.28 ^{ab}	3.98 ^b	3.03 ^b
6	3.63 ^b	3.71 ^{b1}	4.21 ^{ab}	4.84 ^a	4.31 ^a	3.44 ^b
7	3.65 ^b	4.16 ^{ab}	4.01 ^b	4.32 ^{ab}	4.00 ^b	3.08 ^b

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 2.2. Evolución del parámetro de color b^* durante el almacenamiento refrigerado

Tiempo de almacenamiento (días)	Tallarines			Lasagna		
	0 °C	4 °C	10 °C	0 °C	4 °C	10 °C
0	20.89 ^a	20.89 ^a	20.89 ^a	22.36 ^a	22.36 ^a	22.36 ^a
1	19.23 ^a	20.15 ^a	19.96 ^a	21.28 ^a	21.82 ^a	22.45 ^a
2	19.08 ^a	20.21 ^a	20.38 ^a	21.73 ^a	22.12 ^a	21.19 ^a
3	17.96 ^b	19.24 ^a	19.82 ^a	21.89 ^a	22.38 ^a	21.12 ^a
4	18.83 ^{ab}	19.21 ^a	19.97 ^a	22.49 ^a	22.35 ^a	21.13 ^a
5	18.71 ^{ab}	19.99 ^a	20.23 ^a	22.32 ^a	22.45 ^a	20.72 ^a
6	18.31 ^{ab}	20.14 ^a	19.56 ^a	22.01 ^a	22.21 ^a	20.86 ^a
7	18.22 ^{ab}	19.26 ^a	19.35 ^a	22.27 ^a	22.03 ^a	18.91 ^b

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

En función de los valores L^* , a^* y b^* obtenidos se pudo cuantificar la variación total del color de las pastas durante el almacenamiento refrigerado a partir del parámetro ΔE , el cual se calculó mediante la ecuación (2.1), considerando como valores de referencia las magnitudes de L^* , a^* y b^* obtenidas para la pasta fresca.

Las figuras 2.5 y 2.6 muestran la variación de color total, ΔE^* , de las pastas en función del tiempo de almacenamiento para las pastas tipo tallarines y para las pastas rellenas respectivamente.

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2} \quad (2.1)$$

donde ΔL , Δa y Δb fueron calculados como la diferencia entre cada valor individual de las muestras y el valor promedio obtenido para el correspondiente parámetro de pasta fresca (referencia) mencionado en el párrafo anterior. Los valores de ΔE^* mostrados (figuras 2.5 y 2.6) corresponden al promedio de todos los ΔE^* individuales.

Según Francis y Clydesdale (1975) de acuerdo al valor de ΔE^* es posible inferir si el ojo humano notará la diferencia de color. Los valores usados para determinar si la diferencia total del color son los siguientes:

- Si $\Delta E^* < 1$ el ojo humano no detecta las diferencias de color.

- Cuando $1 < \Delta E^* < 3$ si bien las diferencias de color pueden llegar a detectarse, carece de valor para el observador.
- Si $\Delta E^* > 3$ las diferencias de color son detectables y diferenciables por el ojo humano.

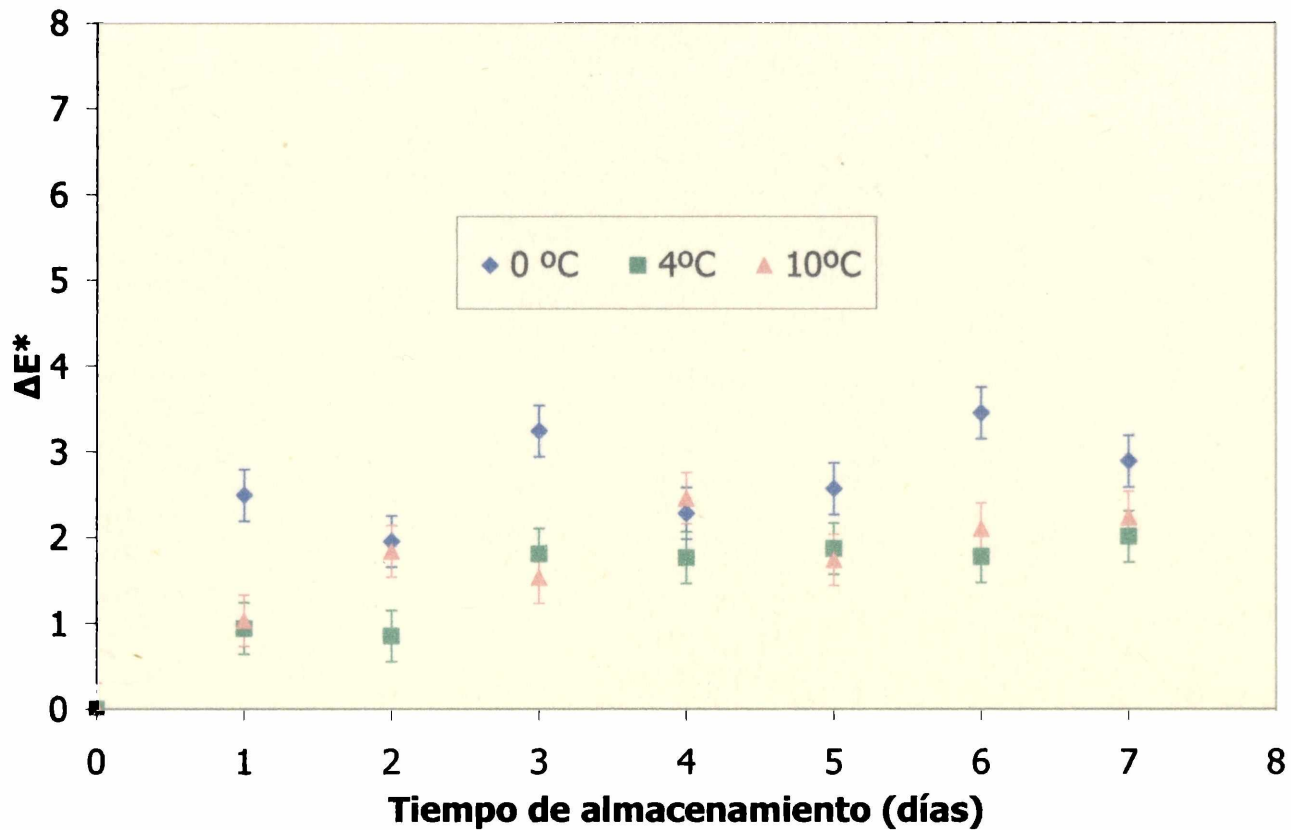


Figura 2.5. Evolución del parámetro ΔE^* de tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

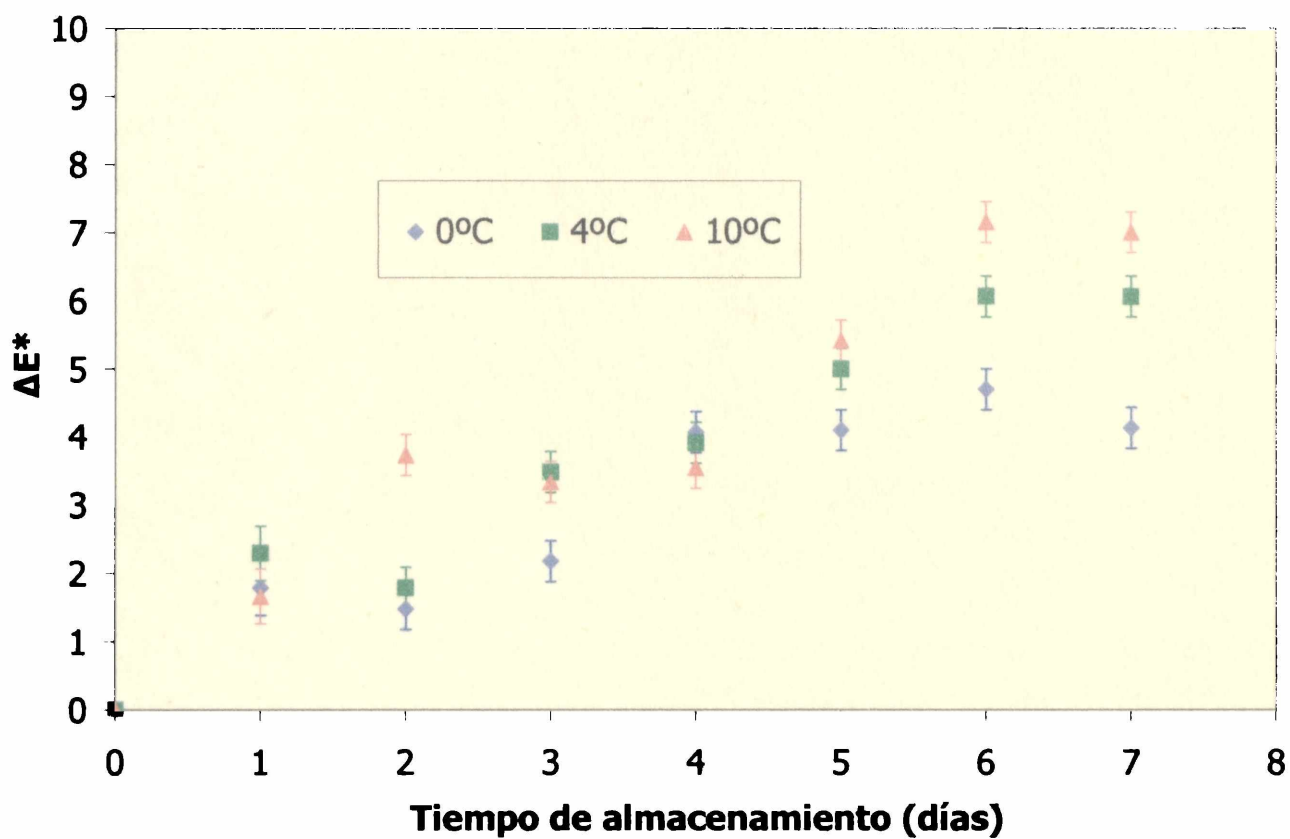


Figura 2.6. Evolución del parámetro ΔE^* de pastas rellenas durante el almacenamiento refrigerado.

En función de la clasificación anterior y a partir de la figura 2.5 es esperable que las diferencias de color total durante el almacenamiento refrigerado de tallarines no sean percibidas por el consumidor. En cambio, el mismo consumidor detectará la variación de color en las cintas que conforman el plato preparado lasagna (figura 2.6), y dicho cambio será mayor cuanto mayor sea la temperatura de almacenamiento.

2.3. Textura

2.3.1. Ensayo de cizalla

En general es más común encontrar en bibliografía trabajos en los que la textura de los productos panificados o las pastas cocidas es evaluada mediante ensayos de resistencia a la penetración o ensayos de compresión (como es el caso del TPA). Si bien la medida de la resistencia al corte no es uno de los ensayos tradicionales para evaluar las características mecánicas de alimentos en el presente trabajo de tesis se ha utilizado complementando el análisis de perfil de textura.

Los ensayos de cizalla no realizan exclusivamente una acción de corte ya que, al comienzo del ensayo el instrumento de corte (en nuestro caso la sonda Volodkevich Bite Jaws) comprime la superficie del alimento hasta que la presión es suficiente para romperla. Por ello es posible que la magnitud de la fuerza de corte, la que se podría correlacionar directamente con la firmeza de las pastas ensayadas, esté muy influenciada por fuerzas de resistencia a la tensión (Damasio y col., 1990).

Tallarines

Los resultados de los ensayos de corte en las pastas tipo tallarines a los distintos tiempos de almacenamiento refrigerado se presentan en la figura 2.7. A partir de dicho gráfico se puede ver un leve aumento en la fuerza máxima necesaria para cortar las pastas con los días de almacenamiento refrigerado a 0 °C. A las temperaturas de almacenamiento de 4 °C y 10 °C las cintas de tallarines no presentaron diferencias significativas con respecto al producto fresco en la fuerza máxima de corte.

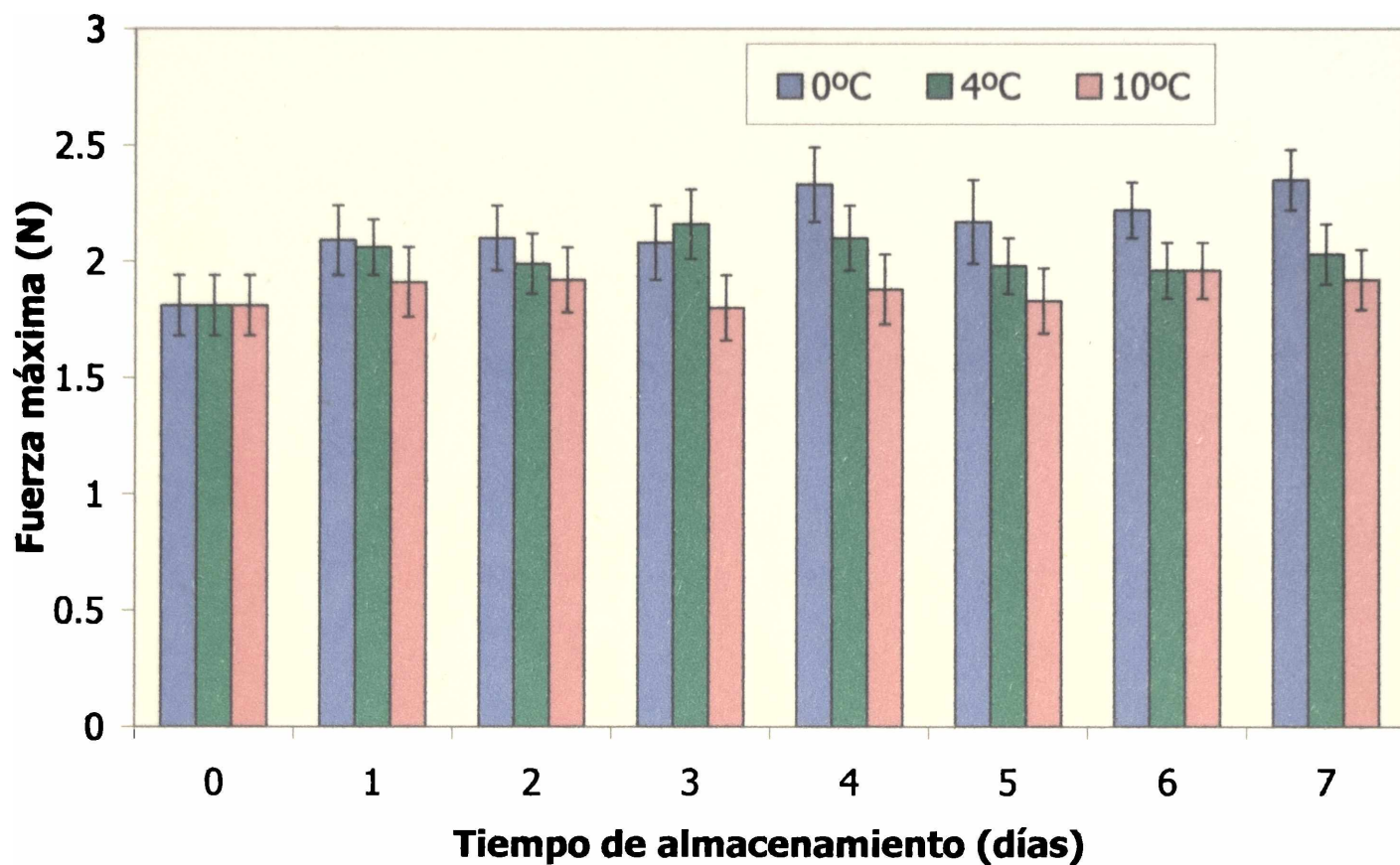


Figura 2.7. Evolución de la fuerza máxima de corte de la pasta tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

Lasagna

En la figura 2.8 se presentan los resultados obtenidos a partir del ensayo de cizalla para las cintas que conforman el plato preparado lasagna. Se observa una importante disminución de la fuerza máxima de corte, la cual podría correlacionarse directamente con la firmeza de la pasta. Al comparar el efecto de las distintas temperaturas de almacenamiento, se puede ver que la disminución es mayor a la temperatura de 10 °C.

Esta pérdida de firmeza durante el almacenamiento de las cintas tiene correlación directa con el aumento del contenido de humedad, la cual como se puede inferir del inciso 2.1, y más específicamente en la figura 2.2, aumenta durante el almacenamiento refrigerado, y además, es mayor al aumentar la temperatura de almacenamiento ($r^2=0.95$).

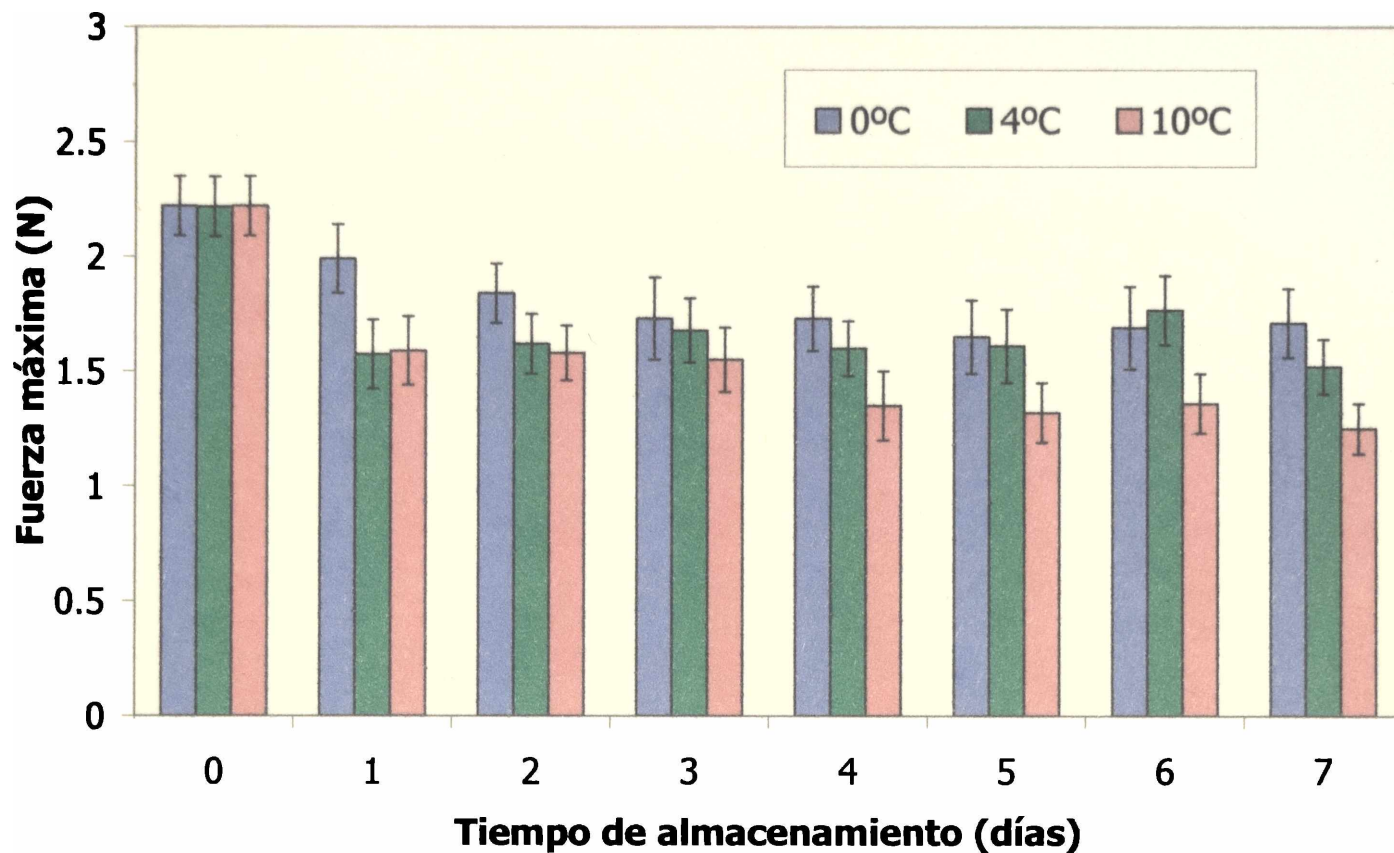


Figura 2.8. Evolución de la fuerza máxima de corte de las cintas de pastas rellenas durante el almacenamiento refrigerado.

2.3.2. Análisis de perfil de textura (TPA)

A partir del análisis de las curvas fuerza vs. tiempo (o fuerza vs distancia) obtenidas, se determinaron los parámetros independientes dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, resistencia y el dependiente masticabilidad (Szczesniak, 1963; Bourne, 1978).

Tallarines

Las figuras 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 muestran la evolución de los parámetros determinados con el ensayo TPA en función de los días de almacenamiento para las pastas tipo tallarines a las distintas temperaturas de almacenamiento refrigerado.

El parámetro dureza, figura 2.9, se incrementa en forma progresiva durante el almacenamiento refrigerado para todas las condiciones de almacenamiento, aunque este cambio se hace más notorio a menores temperaturas (0 °C y 4 °C).

La consistencia, figura 2.10, presenta similar comportamiento al observado en el parámetro dureza, aunque a mayor temperatura (10 °C) no se encuentra diferencias

significativas entre la consistencia de las pastas almacenadas con la correspondiente fresca.

Cuando se analizan los parámetros cohesividad, elasticidad y resistencia obtenidos mediante este ensayo, no se encuentran diferencias significativas entre las pastas a los distintos tiempos de almacenamiento y a las distintas temperaturas con los correspondientes valores del producto fresco. Estos resultados se muestran en las figuras 2.11, 2.12 y 2.15 respectivamente.

Al evaluar la adhesividad de los tallarines, figura 2.13, se encuentra que resulta significativamente menor en el almacenamiento con respecto a la pasta fresca, probablemente por efecto de una deshidratación superficial. No se encontraron diferencias significativas en lo que respecta a las distintas temperaturas de almacenamiento. Aunque no hay cambios en el contenido de humedad (ver inciso 2.1), esta deshidratación puede deberse a una redistribución del agua en la pasta efecto que es observado también por González y col. (2000) en cintas de lasagna.

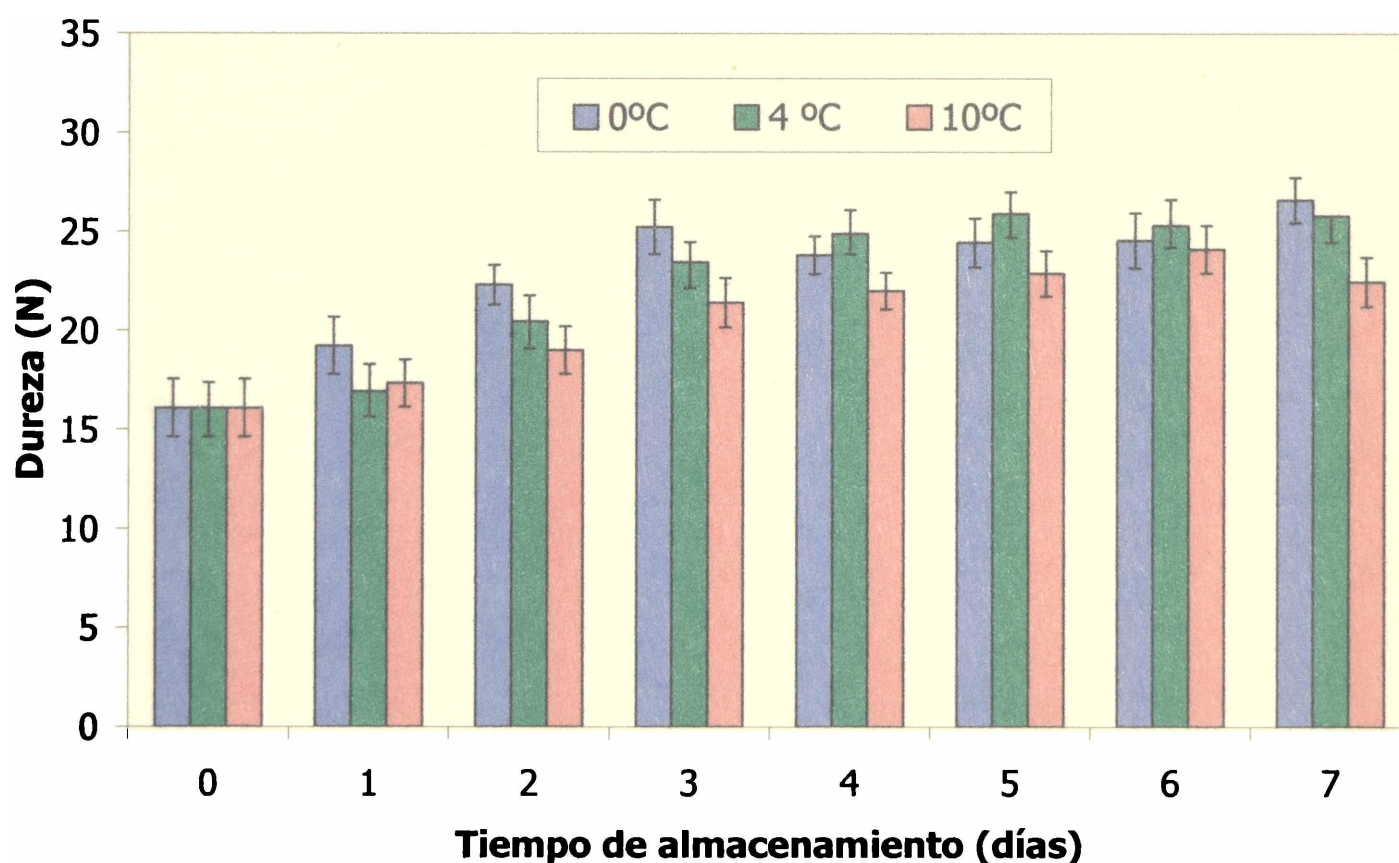


Figura 2.9. Evolución del parámetro dureza de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

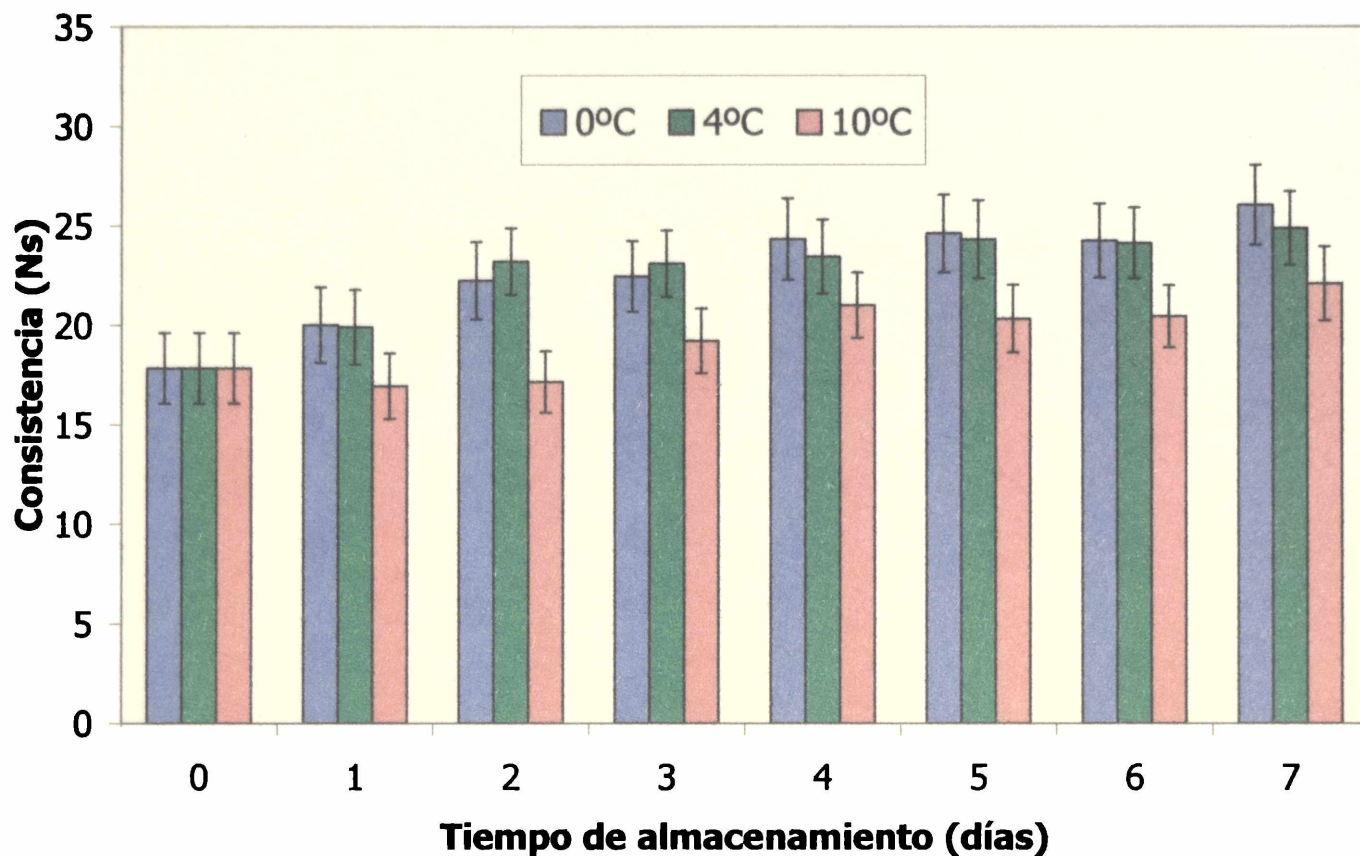


Figura 2.10. Evolución del parámetro consistencia de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

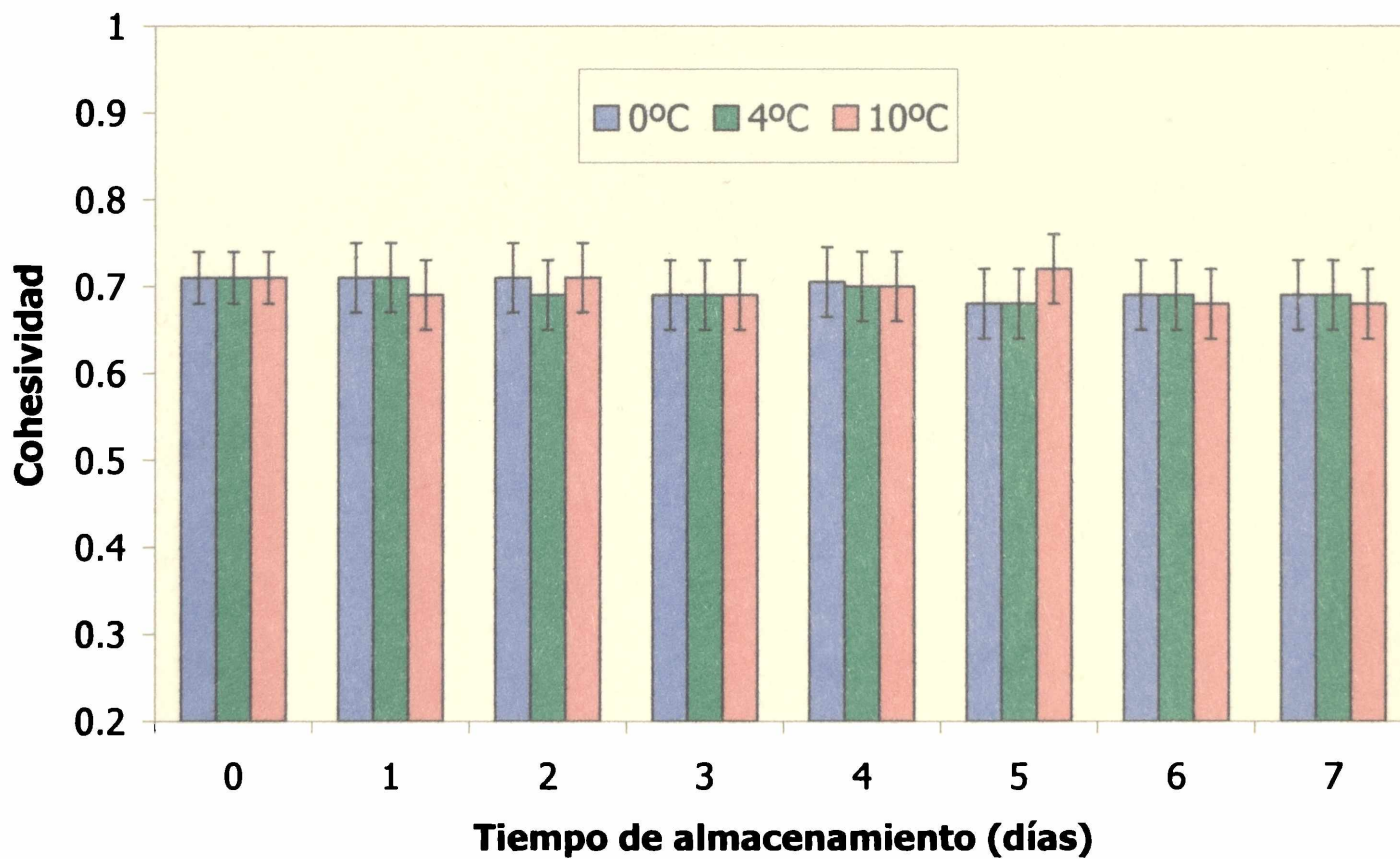


Figura 2.11. Evolución del parámetro cohesividad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

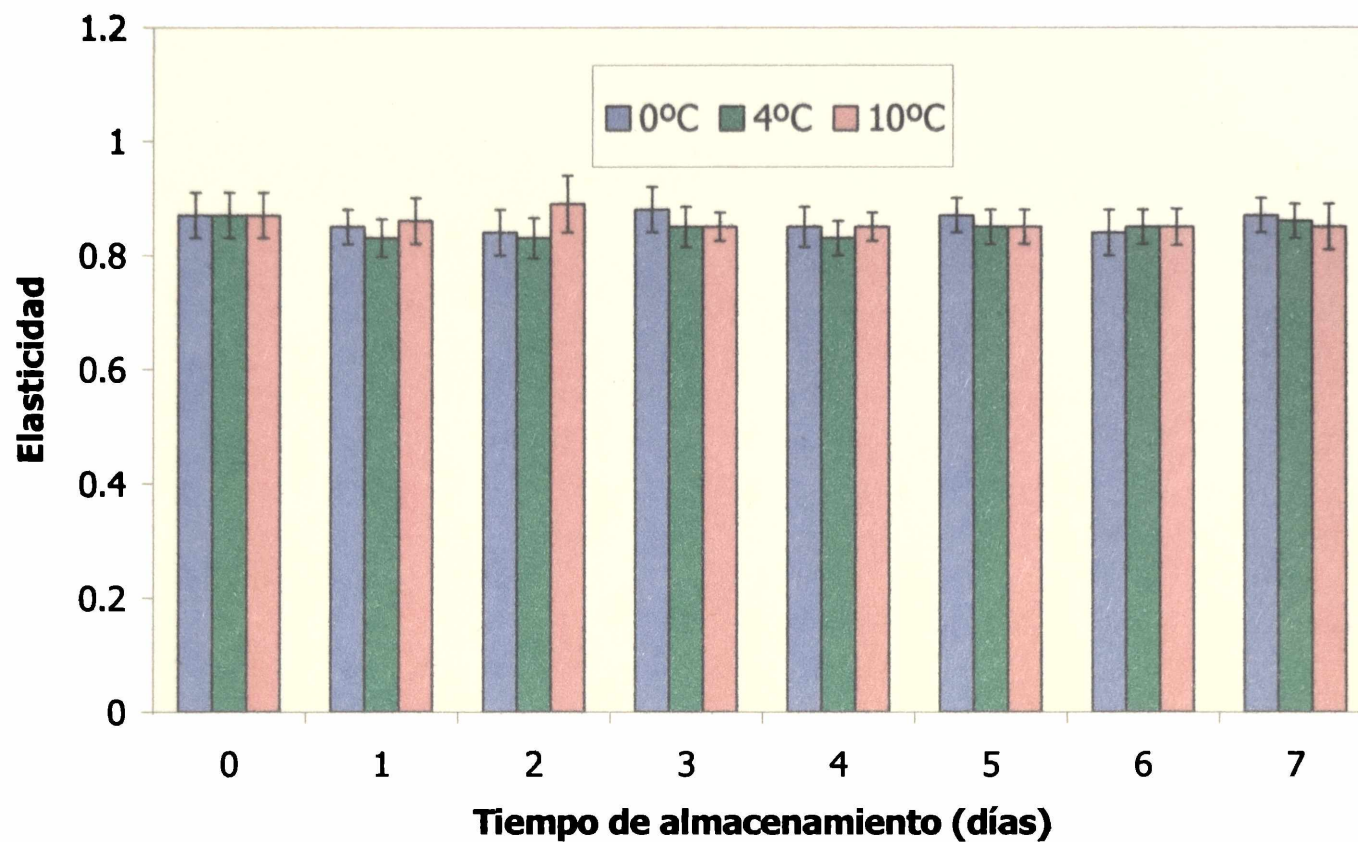


Figura 2.12. Evolución del parámetro elasticidad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

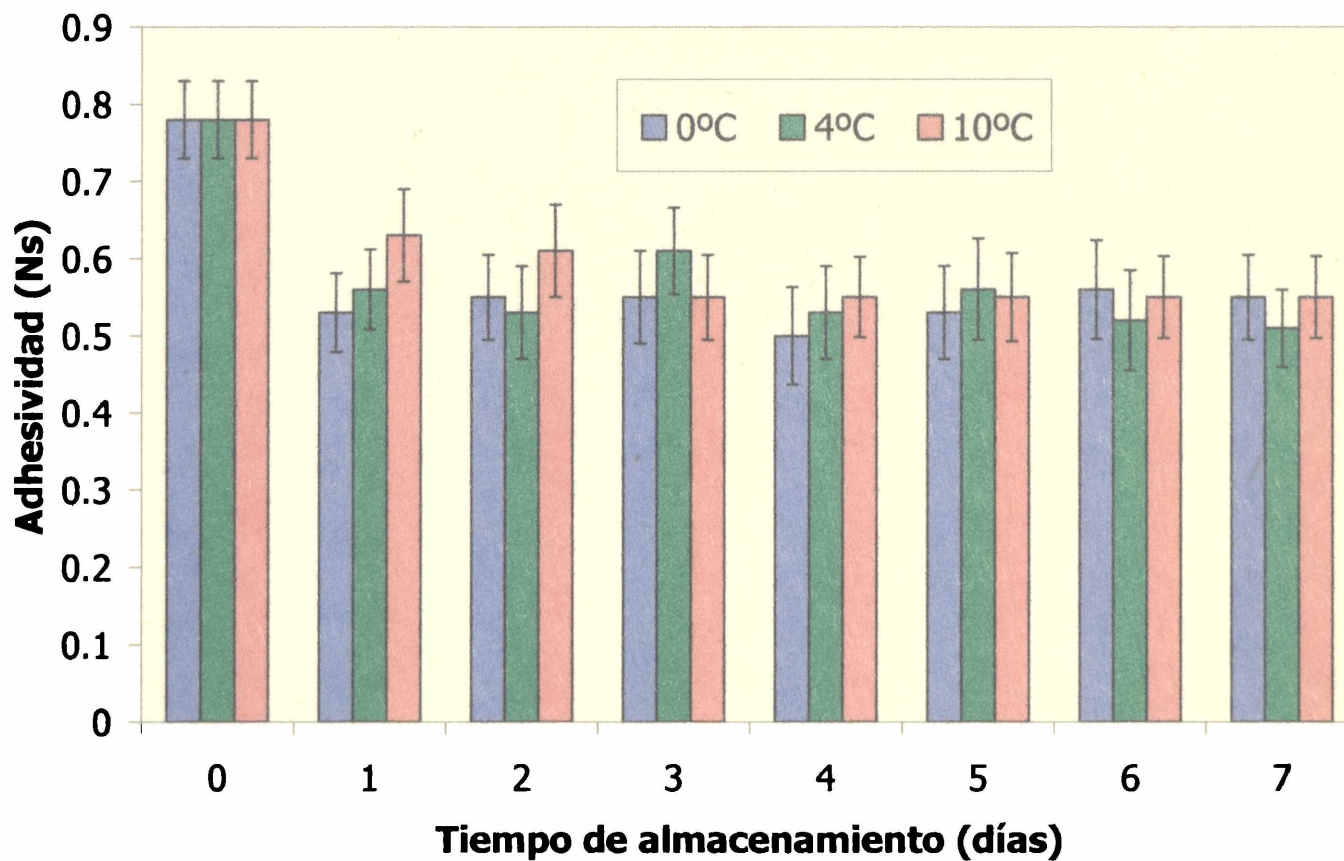


Figura 2.13. Evolución del parámetro adhesividad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

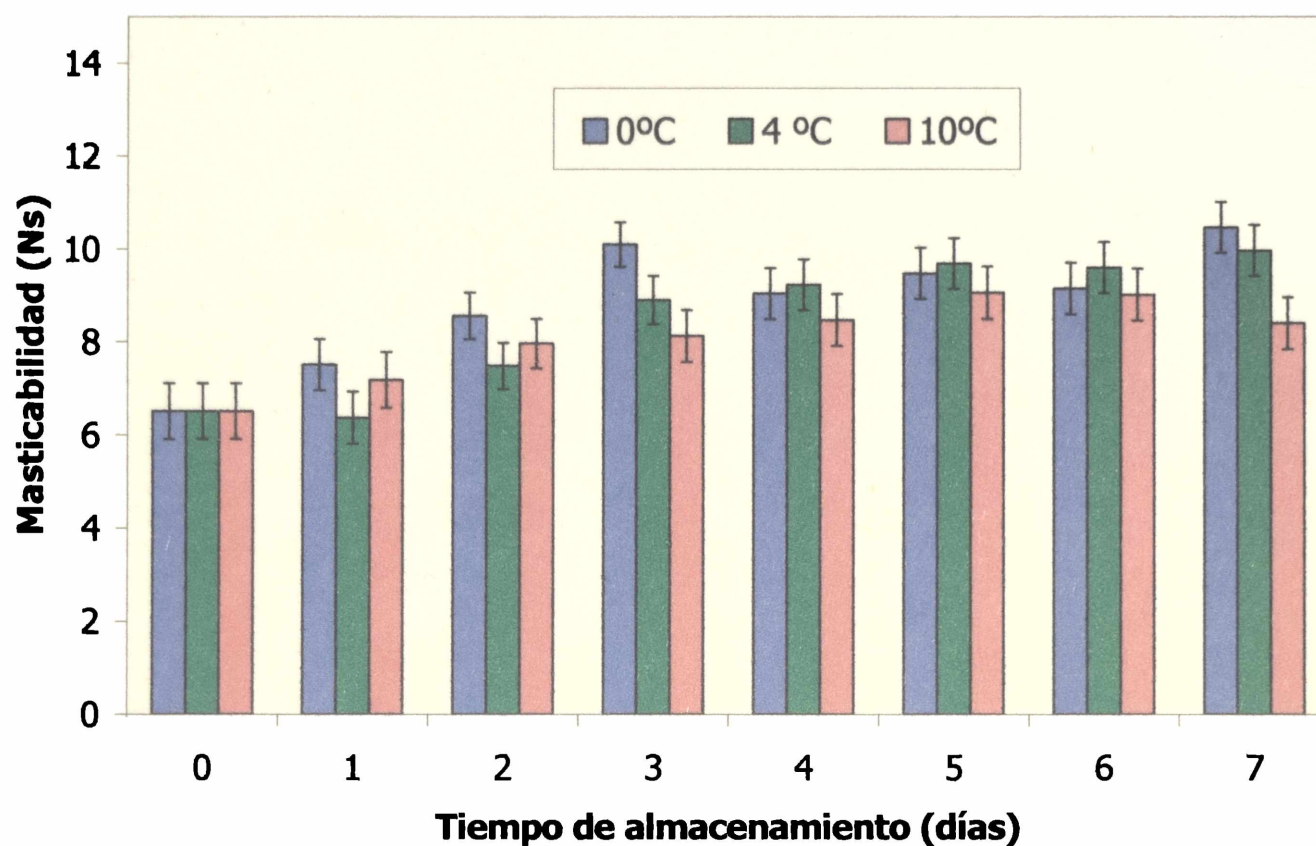


Figura 2.14. Evolución del parámetro masticabilidad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

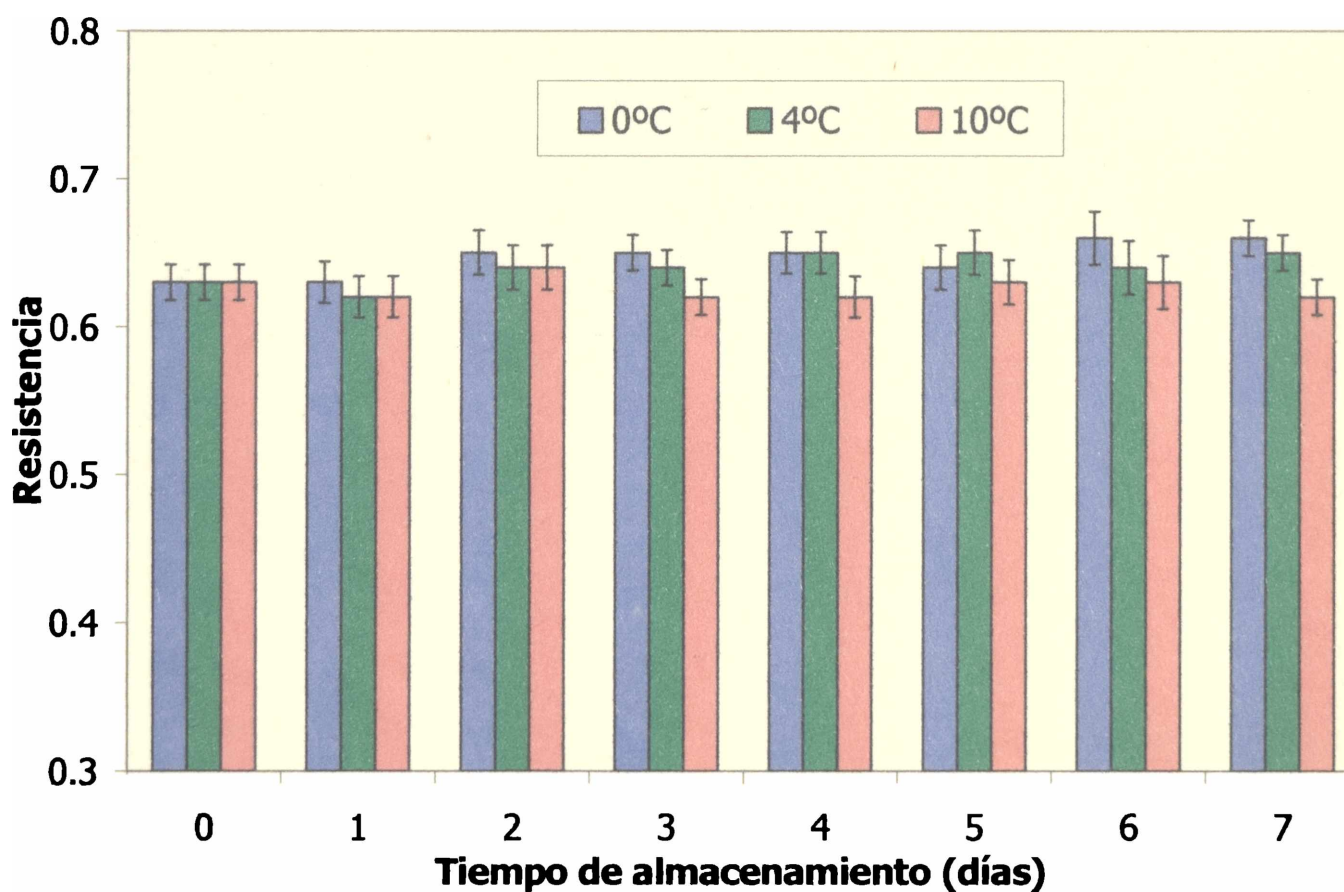


Figura 2.15. Evolución del parámetro resistencia de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

La masticabilidad, como se mencionara anteriormente, es un parámetro dependiente de la dureza, cohesividad y elasticidad, y por lo tanto, sigue la misma tendencia que se informó para la dureza, pero sin diferencias significativas entre temperaturas de almacenamiento, salvo para alguno de los días de almacenamiento (días 3 y 7).

Durante el almacenamiento de pastas que contienen almidón gelatinizado se produce la retrogradación de la amilopectina. En este proceso las moléculas de amilopectina se reasocian dependiendo de la afinidad de los grupos hidroxilo y de las fuerzas atractivas o enlaces entre grupos hidroxilo sobre cadenas adyacentes (Pomeranz, 1985). La retrogradación ocasiona un incremento en la rigidez de la pasta e induce una separación de fases con la consiguiente aparición de exudado, denominado como fenómeno de sinéresis. Estas modificaciones inciden sobre la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos basados en almidón.

La retrogradación es un proceso complejo que depende de varios factores tales como: tipo de almidón, concentración, tiempo de cocción, pH y presencia de solutos como lípidos, polialcoholes, sales y azúcares. Asimismo, las condiciones de almacenamiento (tiempo y temperatura de refrigeración) influyen sobre la velocidad en que este proceso se lleva a cabo (Iturreaga, 2001). Cabe destacar que las pastas tipo tallarines no presentan cambio en su contenido de humedad durante el tiempo de almacenamiento refrigerado, independientemente de la temperatura de almacenamiento, por lo tanto el proceso de sinéresis, que como se mencionaba anteriormente, que acompaña la retrogradación de la amilopectina, no se pone en evidencia en este caso particular. Esto puede deberse a una redistribución del agua dentro del alimento y a la presencia de un alto contenido de fibra, confirmando la postura de otros autores que indican que el proceso de retrogradación es menos evidente en pastas cocidas que en panes (Gray y Bemiller, 2003).

Lasagna

En las figuras 2.16 a 2.21 se presentan los distintos parámetros obtenidos a partir del ensayo TPA, correspondiente a las cintas de pasta que conforman el plato preparado lasagna durante el almacenamiento refrigerado.

La dureza y la consistencia de las cintas de pasta, figuras 2.16 y 2.17 respectivamente, presentaron comportamiento similar durante el almacenamiento,

disminuyendo sus valores a medida que aumentan los días de almacenamiento sólo para la mayor temperatura de almacenamiento. Cuando la pasta rellena fue almacenada a 0 °C y a 4 °C no se encontraron diferencias significativas en estos parámetros con respecto al producto fresco.

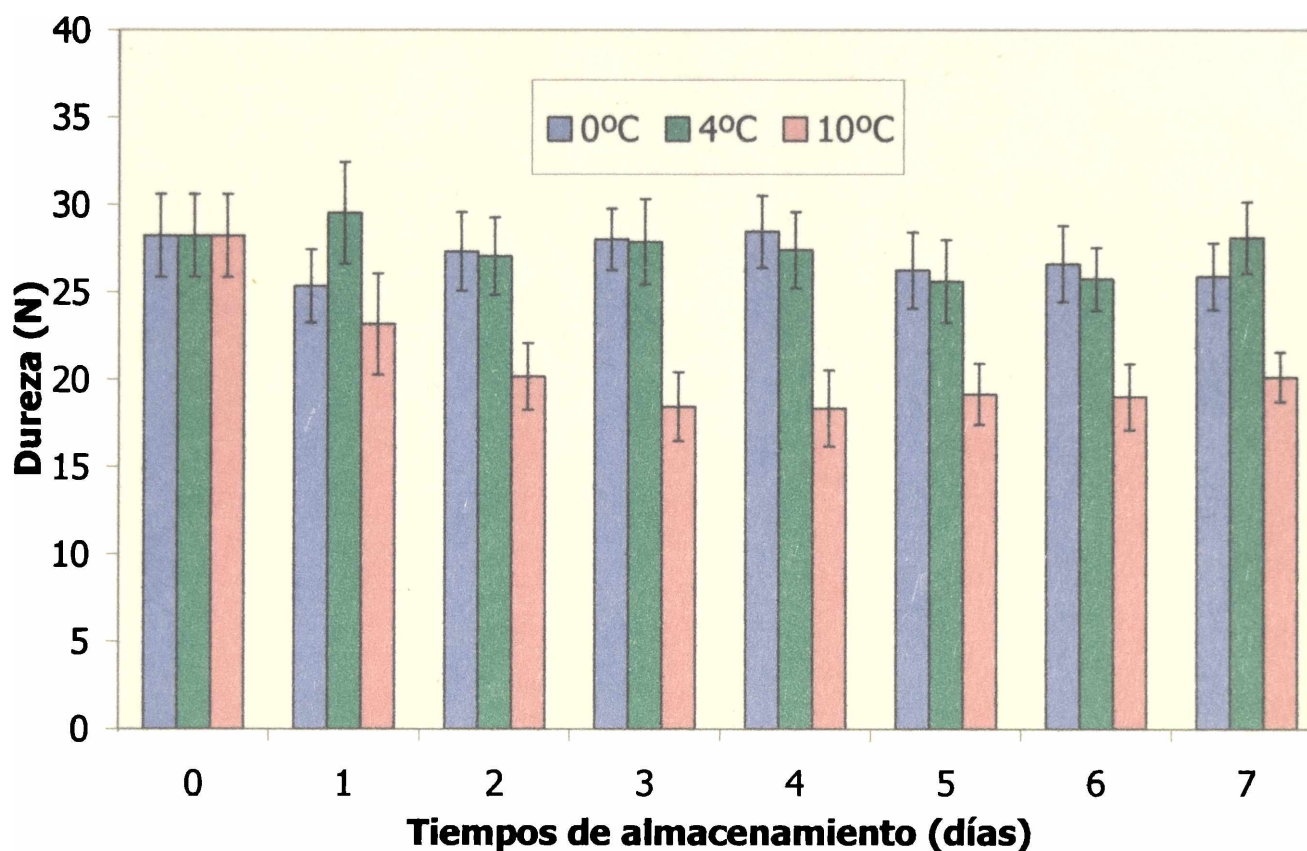


Figura 2.16. Evolución del parámetro dureza de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

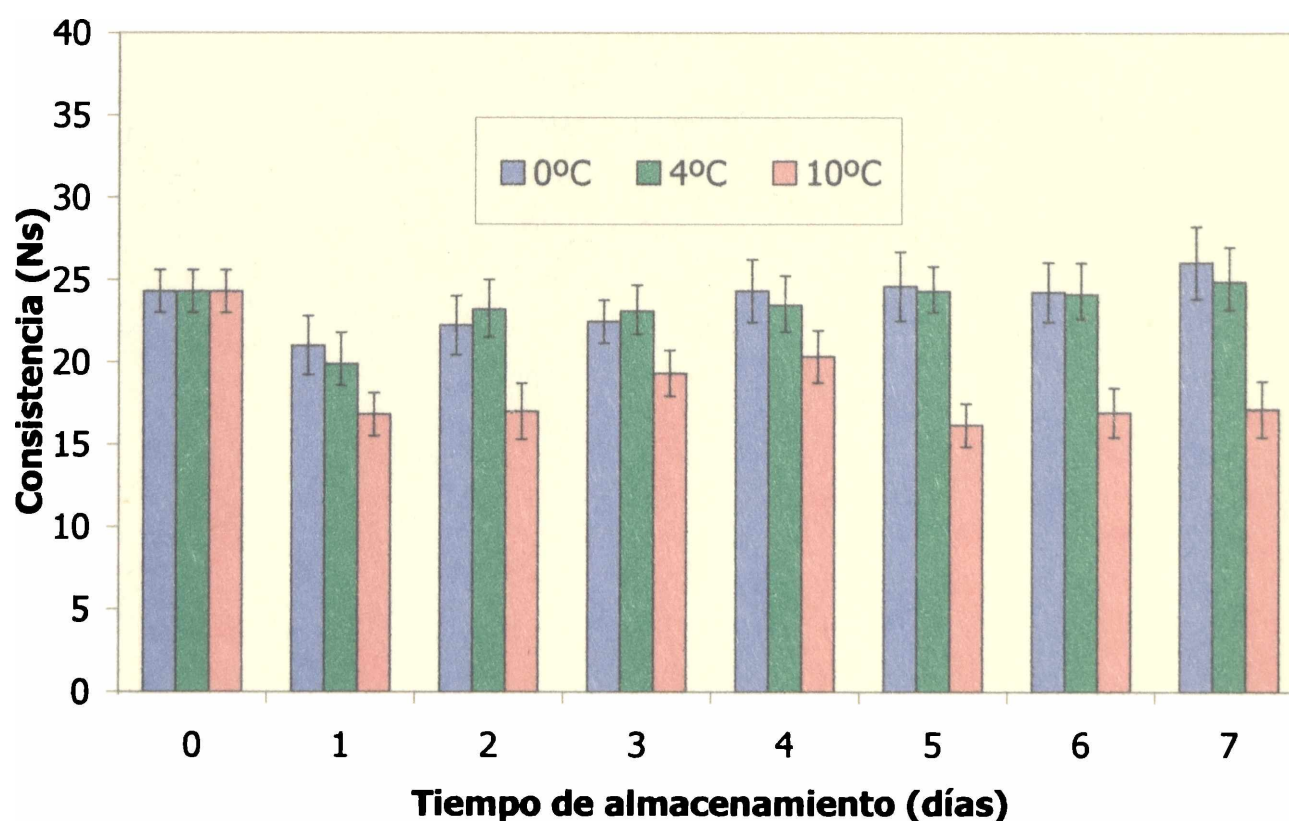


Figura 2.17. Evolución del parámetro consistencia de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

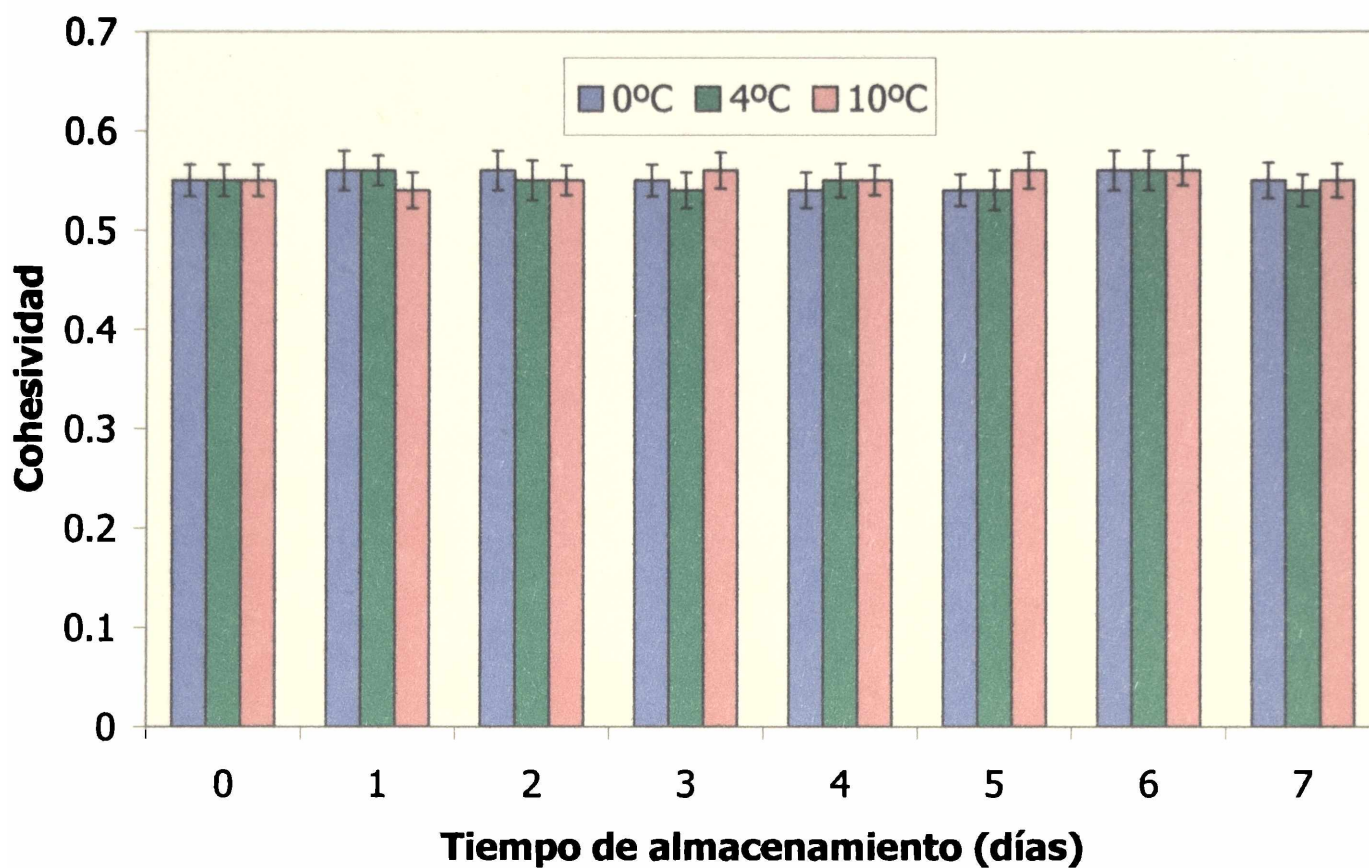


Figura 2.18. Evolución del parámetro cohesividad de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

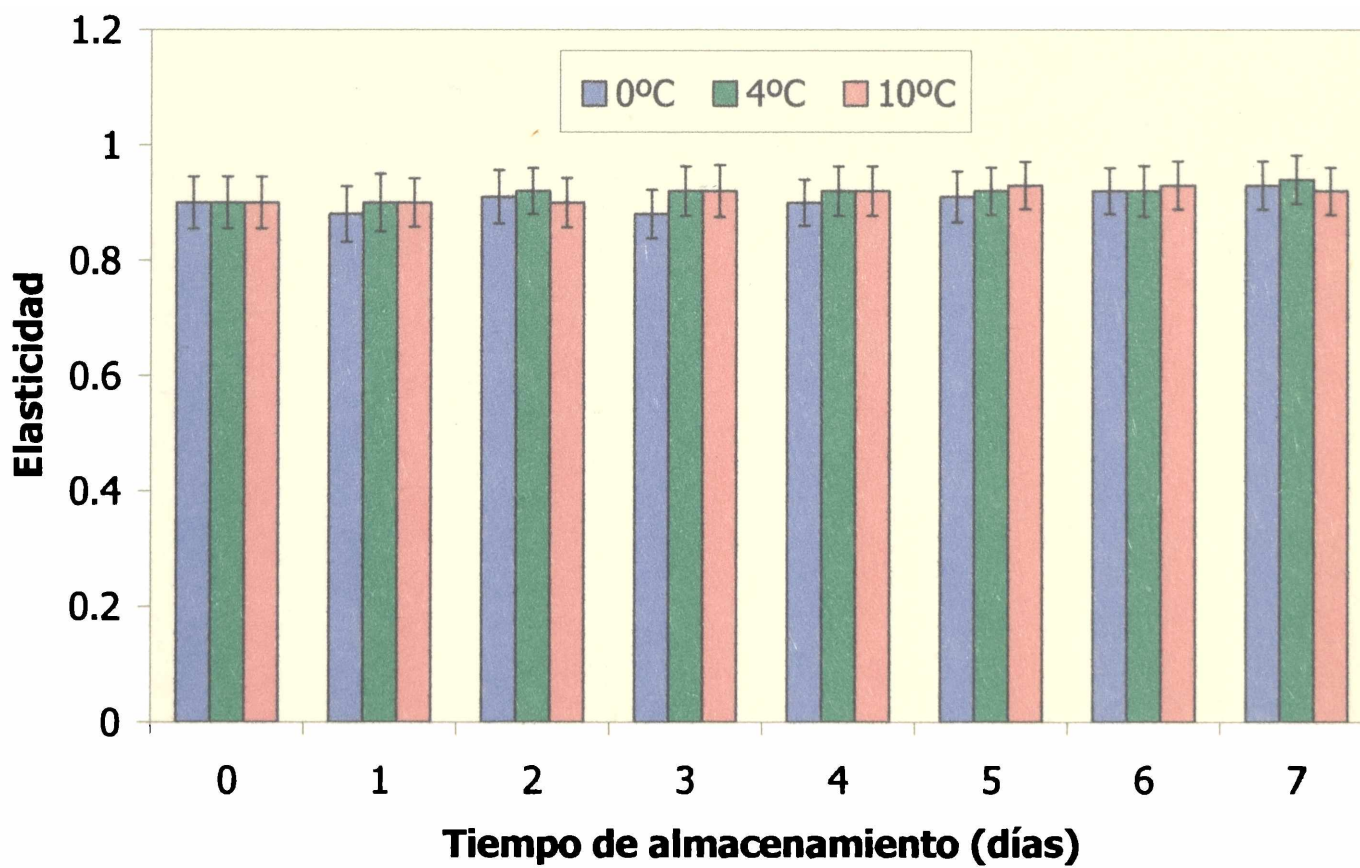


Figura 2.19. Evolución del parámetro elasticidad de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

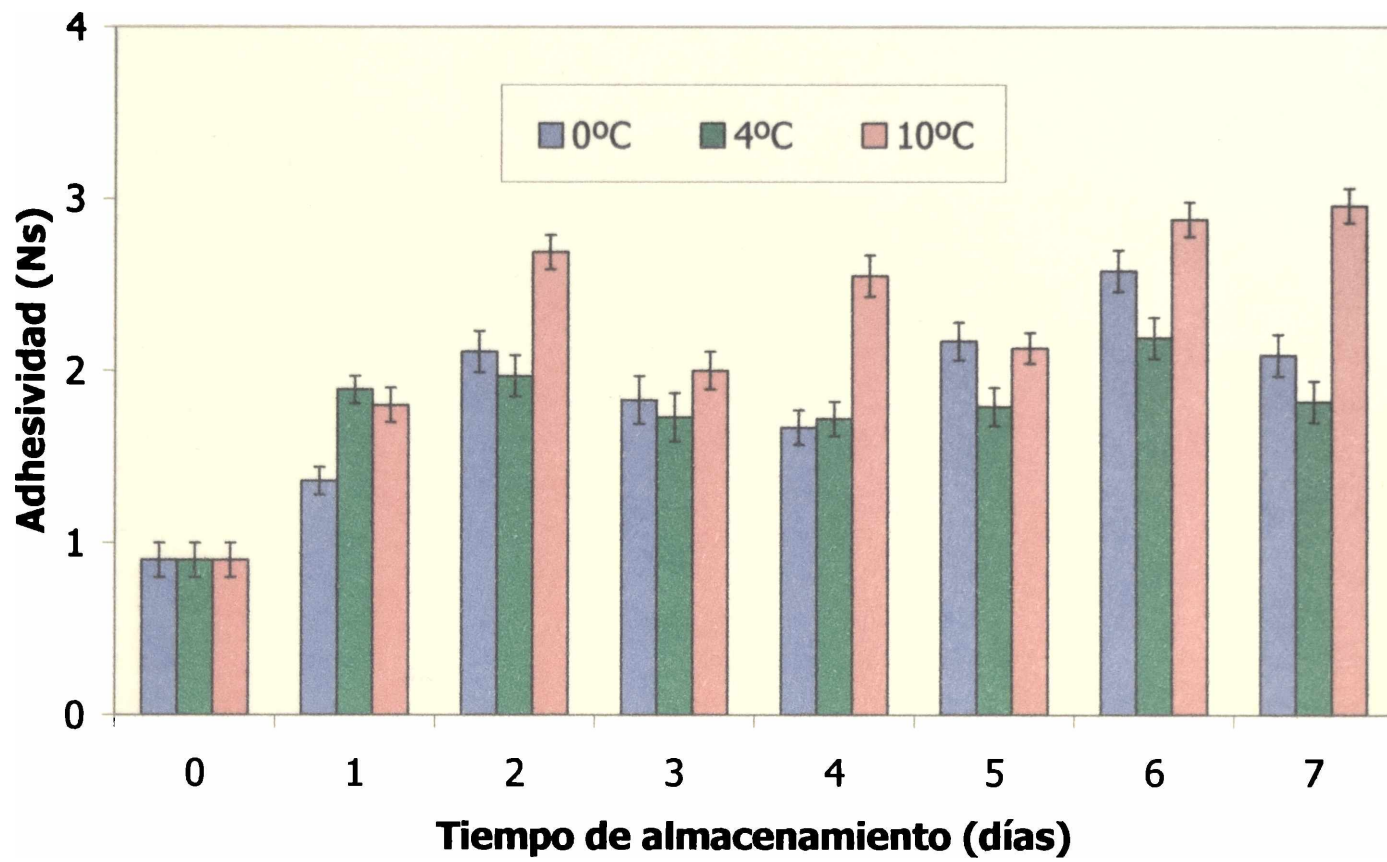


Figura 2.20. Evolución del parámetro adhesividad de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

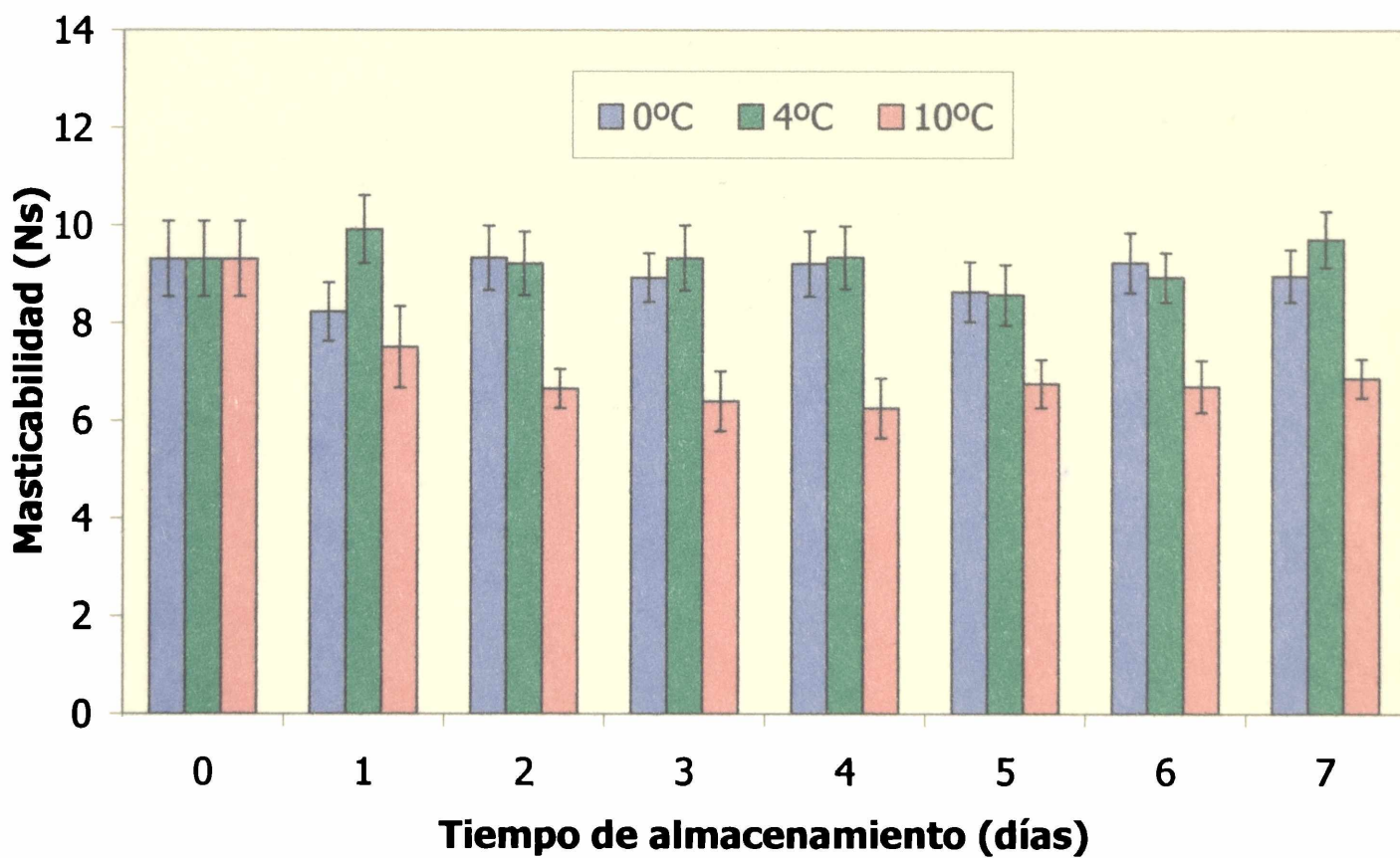


Figura 2.21. Evolución del parámetro masticabilidad de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

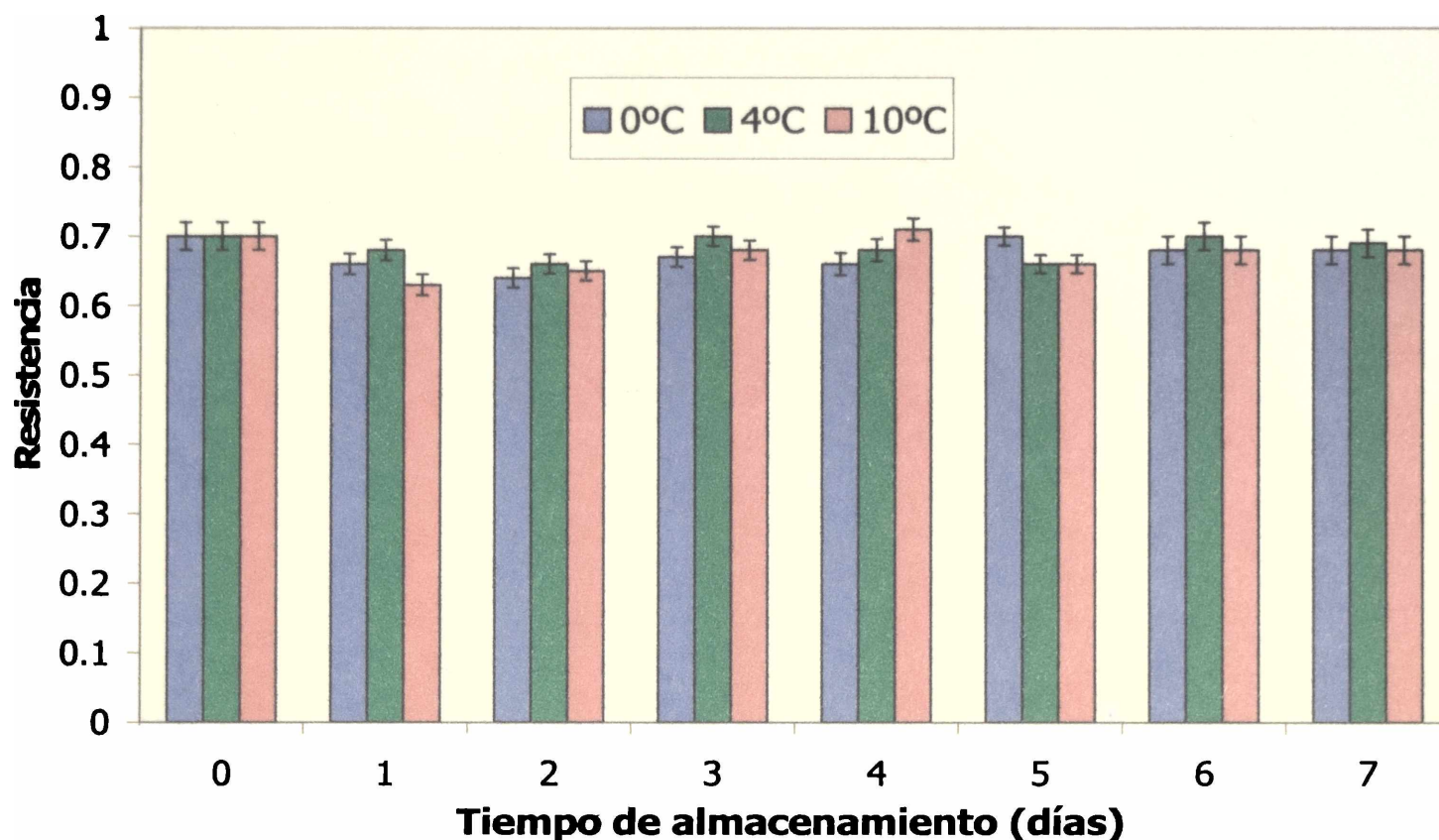


Figura 2.22. Evolución del parámetro resistencia de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento refrigerado.

La cohesividad, la elasticidad y la resistencia, al igual que en el caso de las pastas sin relleno, no presentan diferencias significativas. Esto podría ser un indicio de la poca sensibilidad del ensayo en cuanto a estos parámetros y este tipo de muestra.

La masticabilidad sigue la misma tendencia que la presentada por la dureza y la consistencia.

2.4. Reología

Para cuantificar el comportamiento viscoelástico de la matriz alimentaria estudiada en este trabajo se realizaron ensayos cuasiestáticos (de relajación) y dinámicos.

2.4.1. Ensayos de relajación

Los resultados del ensayo de relajación de las pastas cocidas se ajustaron mediante dos modelos matemáticos: el modelo de Maxwell generalizado y el modelo de Peleg.

Modelo de Maxwell Generalizado: se obtuvo muy buen ajuste ($r^2 > 0.99$) considerando un elemento simple y dos elementos compuestos (ec. 2.2).

$$F(t) = F(t)/F_0 = A_\infty + A_1 \exp(-t/\tau_1) + A_2 \exp(-t/\tau_2) \quad (2.2)$$

La Fig. 2.23 muestra una curva típica F/F_0 vs. tiempo, tanto experimental como la calculada mediante el modelo propuesto.

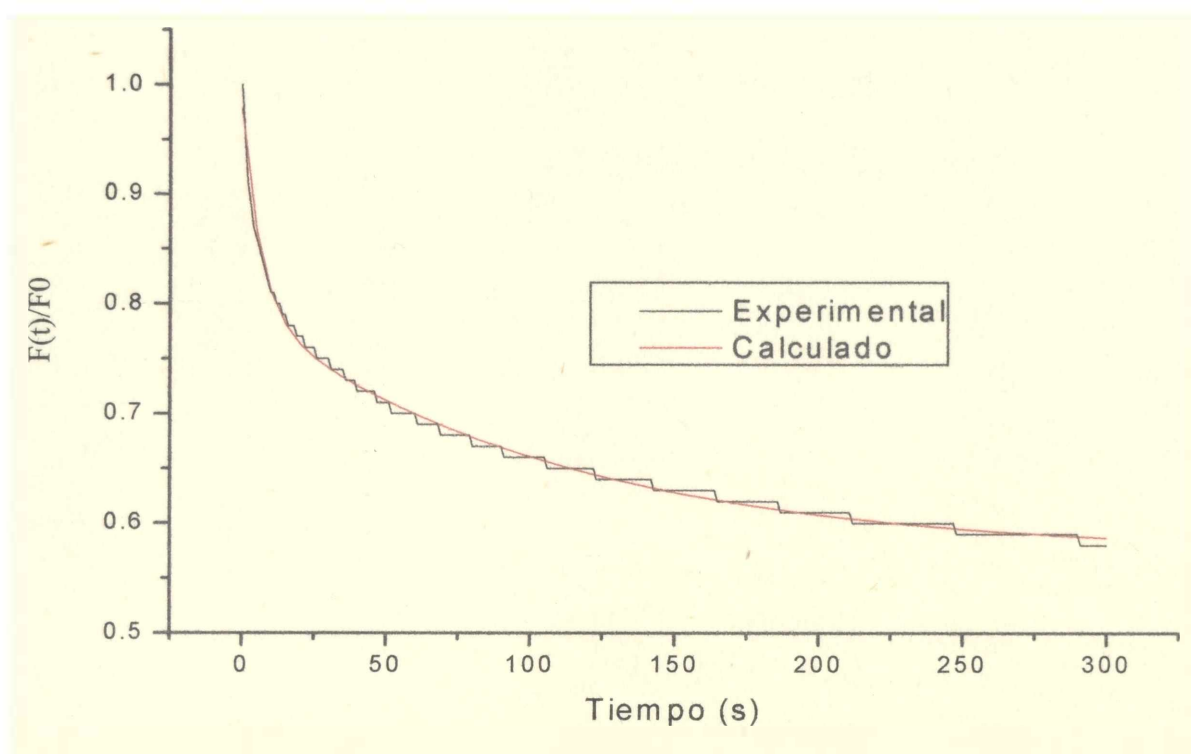


Figura 2.23. Variación típica de F/F_0 (experimental y calculado) en función del tiempo (tiempo de almacenamiento 4 días, temperatura 4 °C)

Tallarines

Las Tablas 2.3, 2.4 y 2.5 presentan los valores de las propiedades viscoelásticas calculadas a partir de los parámetros de dicho modelo para las pastas tipos tallarines almacenadas a 0 °C, 4 °C y 10 °C respectivamente.

Para las pastas almacenadas a 0 °C, se observa un incremento de los tiempos de relajación, τ_1 y τ_2 , durante el almacenamiento, esto indicaría un aumento de la resistencia a la relajación. Con respecto a los valores de los módulos de elasticidad, se encontraron diferencias entre el valor E_1 el cual aumentó durante los primeros 2 días del almacenamiento refrigerado y luego se mantuvo constante. El módulo E_2 , en cambio, sólo presenta diferencias significativas en algunos tiempos intermedios de ensayo (3, 4 y 6 días).

Cuando la pasta fue almacenada a 4 °C, se observó que el módulo de elasticidad, E_1 , presenta un aumento durante el almacenamiento refrigerado, y esto,

también es una evidencia del incremento de la firmeza de la pasta (tabla 2.4). En cuanto a los tiempos de relajación sólo al final del almacenamiento se detectó un aumento significativo de τ_1 .

Por último, como muestra la tabla 2.5, la pasta almacenada a 10 °C no presentó diferencias significativas en sus parámetros viscoelásticos durante el almacenamiento con respecto al fresco.

Tabla 2.3. Propiedades viscoelásticas de las pastas tipo tallarines almacenadas a 0 °C obtenidas a partir del ensayo de relajación.

Tiempo de almacenamiento (días)	F_0 (N)	E_1 (kPa)	E_2 (kPa)	τ_1 (s)	τ_2 (s)	R^2
0	13.23 ^a	18.96 ^a	18.08 ^a	124.81 ^a	8.66 ^a	0.996
1	15.47 ^a	31.32 ^b	18.56 ^a	164.31 ^b	11.21 ^b	0.996
2	18.29 ^b	42.83 ^c	22.62 ^a	182.26 ^c	11.89 ^b	0.998
3	18.34 ^b	41.26 ^c	27.66 ^b	183.71 ^c	14.21 ^c	0.996
4	19.15 ^b	43.24 ^c	26.33 ^b	167.41 ^b	13.87 ^c	0.996
5	16.21 ^{ab}	35.39 ^c	21.74 ^a	179.26 ^c	13.98 ^c	0.995
6	18.16 ^b	43.28 ^c	24.66 ^b	185.13 ^c	13.59 ^c	0.996
7	18.69 ^b	43.76 ^c	21.00 ^a	171.19 ^{bc}	13.73 ^c	0.995

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Hay numerosos trabajos en literatura en donde se emplea esta metodología para evaluar las características viscoelásticas de los alimentos. En productos a base de harinas, Limanond y col. (2002) detectaron mediante este ensayo las diferencias de textura entre muestras de tortilla de maíz para distintos tiempos de almacenamiento y temperaturas en términos de rigidez, encontrando que este producto fresco tiene un valor más bajo de rigidez que la tortilla almacenada y que su dureza disminuye con el aumento de temperatura.

Más específicamente en lo que se refiere a pastas, Sozer y col. (2008) aplicaron este ensayo para determinar las características viscoelásticas de espaguetis formulados con almidones resistentes. Los autores aplicaron el modelo de Maxwell Generalizado. En este estudio analizan el efecto del tiempo de cocción y observaron que al aumentar

dicho parámetro, los tiempos de relajación disminuían indicando de esta forma un comportamiento menos firme de las pastas.

Tabla 2.4. Propiedades viscoelásticas de las pastas almacenadas a 4 °C obtenidas a partir del ensayo de relajación.

Tiempo de almacenamiento (días)	F ₀ (N)	E ₁ (kPa)	E ₂ (kPa)	τ ₁ (s)	τ ₂ (s)	R ²
0	13.23 ^a	18.96 ^a	18.08 ^a	124.81 ^a	8.66 ^a	0.996
1	14.17 ^a	19.95 ^a	19.12 ^a	126.36 ^a	8.07 ^a	0.998
2	14.47 ^a	23.75 ^b	19.29 ^a	123.33 ^a	9.32 ^a	0.997
3	14.88 ^a	23.20 ^b	23.46 ^b	121.78 ^a	10.16 ^a	0.997
4	13.98 ^a	23.41 ^b	18.87 ^a	126.16 ^a	9.43 ^a	0.998
5	15.85 ^b	25.62 ^b	21.45 ^a	113.25 ^b	8.51 ^a	0.998
6	15.21 ^{ab}	23.70 ^b	20.53 ^a	143.33 ^c	9.85 ^a	0.998
7	15.71 ^b	24.23 ^b	21.60 ^a	144.91 ^c	9.47 ^a	0.998

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 2.5. Propiedades viscoelásticas de las pastas almacenadas a 10 °C obtenidas a partir del ensayo de relajación.

Tiempo de almacenamiento (días)	F ₀ (N)	E ₁ (kPa)	E ₂ (kPa)	τ ₁ (s)	τ ₂ (s)	R ²
0	13.23 ^a	18.96 ^a	18.08 ^a	124.81 ^a	8.66 ^a	0.995
1	14.21 ^a	20.25 ^a	19.89 ^a	117.36 ^a	10.03 ^a	0.995
2	13.92 ^a	21.59 ^a	20.30 ^a	113.33 ^a	10.31 ^a	0.994
3	13.33 ^a	21.33 ^a	20.33 ^a	124.78 ^a	11.16 ^a	0.995
4	12.66 ^a	18.15 ^a	17.83 ^a	106.16 ^a	9.41 ^a	0.997
5	14.12 ^a	21.47 ^a	20.94 ^a	118.26 ^a	10.38 ^a	0.997
6	13.43 ^b	21.36 ^a	19.13 ^a	113.33 ^a	10.49 ^a	0.997
7	13.22 ^a	20.27 ^a	19.17 ^a	114.93 ^a	9.84 ^a	0.996

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Lasagna

Las Tablas 2.6, 2.7 y 2.8 presentan los valores de las propiedades viscoelásticas calculadas a partir de los parámetros de dicho modelo para las cintas de pasta que conforman el plato preparado lasagna almacenadas a 0 °C, 4 °C y 10 °C respectivamente.

Según la tabla 2.6, se puede inferir que las propiedades viscoelásticas determinadas a partir del modelo de Maxwell generalizado de las cintas de lasagna presentaron diferencias significativas durante el almacenamiento refrigerado a 0 °C. Los cambios son más notorios cuando las pastas se almacenan a 4 °C y 10 °C, resultando menos firmes al aumentar el tiempo de almacenamiento. En todos los casos las diferencias se ponen en evidencia en los valores de E_1 y E_2 , los cuales disminuyen durante el almacenamiento refrigerado (tablas 2.7 y 2.8).

En el caso de los tiempos de relajación no se encontraron diferencias significativas durante el almacenamiento refrigerado para las temperaturas ensayadas en el presente trabajo de tesis.

Tabla 2.6. Propiedades viscoelásticas de las pastas rellenas almacenadas a 0 °C obtenidas a partir del ensayo de relajación.

Tiempo de almacenamiento (días)	F_0 (N)	E_1 (kPa)	E_2 (kPa)	τ_1 (s)	τ_2 (s)	R^2
0	12.79 ^a	4.27 ^a	4.37 ^a	96.30 ^a	12.88 ^a	0.993
1	10.11 ^b	3.52 ^a	3.77 ^a	115.31 ^a	12.03 ^a	0.995
2	10.98 ^{ab}	4.03 ^a	3.75 ^a	110.10 ^a	13.31 ^a	0.995
3	11.21 ^{ab}	3.83 ^a	3.99 ^a	114.82 ^a	14.16 ^a	0.996
4	9.17 ^b	3.17 ^b	3.06 ^b	106.70 ^a	13.41 ^a	0.996
5	9.37 ^b	3.80 ^a	2.99 ^b	98.26 ^a	11.38 ^a	0.996
6	8.48 ^b	2.61 ^b	2.86 ^b	113.34 ^a	13.49 ^a	0.998
7	10.71 ^{ab}	3.61 ^a	3.68 ^a	114.93 ^a	13.84 ^a	0.993

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 2.7. Propiedades viscoelásticas de las cintas de pastas rellenas almacenadas a 4 °C obtenidas a partir del ensayo de relajación.

Tiempo de almacenamiento (días)	F ₀ (N)	E ₁ (kPa)	E ₂ (kPa)	τ ₁ (s)	τ ₂ (s)	R ²
0	12.79 ^a	4.27 ^a	4.37 ^a	96.3 ^a	12.88 ^a	0.996
1	9.45 ^b	2.60 ^b	3.83 ^a	90.8 ^a	13.20 ^a	0.996
2	9.30 ^b	2.38 ^b	3.64 ^a	88.6 ^a	13.18 ^a	0.997
3	10.61 ^{ab}	2.58 ^b	3.73 ^a	105.3 ^a	12.09 ^a	0.993
4	9.35 ^b	3.43 ^a	3.12 ^b	136.4 ^b	10.21 ^b	0.995
5	9.27 ^b	2.41 ^b	3.12 ^b	95.2 ^a	12.01 ^a	0.995
6	8.68 ^b	2.22 ^b	3.66 ^a	101.8 ^a	13.22 ^a	0.994
7	8.80 ^b	2.67 ^b	3.93 ^a	98.3 ^a	12.32 ^a	0.996

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 2.8. Propiedades viscoelásticas de las cintas de pastas rellenas almacenadas a 10 °C obtenidas a partir del ensayo de relajación.

Tiempo de almacenamiento (días)	F ₀ (N)	E ₁ (kPa)	E ₂ (kPa)	τ ₁ (s)	τ ₂ (s)	R ²
0	12.79 ^a	4.27 ^a	4.37 ^a	96.3 ^a	12.88 ^a	0.995
1	8.77 ^b	2.23 ^b	3.9 ^a	106.64 ^a	13.20 ^a	0.995
2	9.42 ^{ab}	2.57 ^b	3.96 ^a	113.33 ^a	13.18 ^a	0.996
3	9.63 ^{ab}	2.51 ^b	2.67 ^b	94.81 ^a	12.09 ^a	0.996
4	8.44 ^b	2.69 ^a	2.18 ^b	106.16 ^a	10.21 ^b	0.994
5	8.51 ^b	2.20 ^b	2.09 ^b	98.26 ^a	12.01 ^a	0.996
6	8.45 ^b	1.72 ^c	2.27 ^b	113.33 ^a	13.22 ^a	0.998
7	9.36 ^b	2.30 ^b	2.48 ^b	114.93 ^a	13.84 ^a	0.998

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Modelo de Peleg: en este caso las curvas obtenidas mediante el ensayo de relajación se linealizaron según la ecuación (1.14).

Como se mencionara previamente, en la selección de un procedimiento para el análisis del comportamiento viscoelástico uno debe no sólo considerar la conveniencia matemática, sino también si el método puede explicar los cambios estructurales que ocurren durante el curso de la deformación (Sozer y col., 2008).

La Fig. 2.24 muestra una curva típica obtenida a partir de la ecuación de Peleg para tallarines (tiempo de almacenamiento 4 días, temperatura 4 °C). En este modelo, k_1 está relacionada con la velocidad de decaimiento inicial, un alto valor de este parámetro indica un pronunciado comportamiento elástico, asimismo, k_2 está relacionado con el comportamiento viscoso (Pollak y Peleg, 1980).

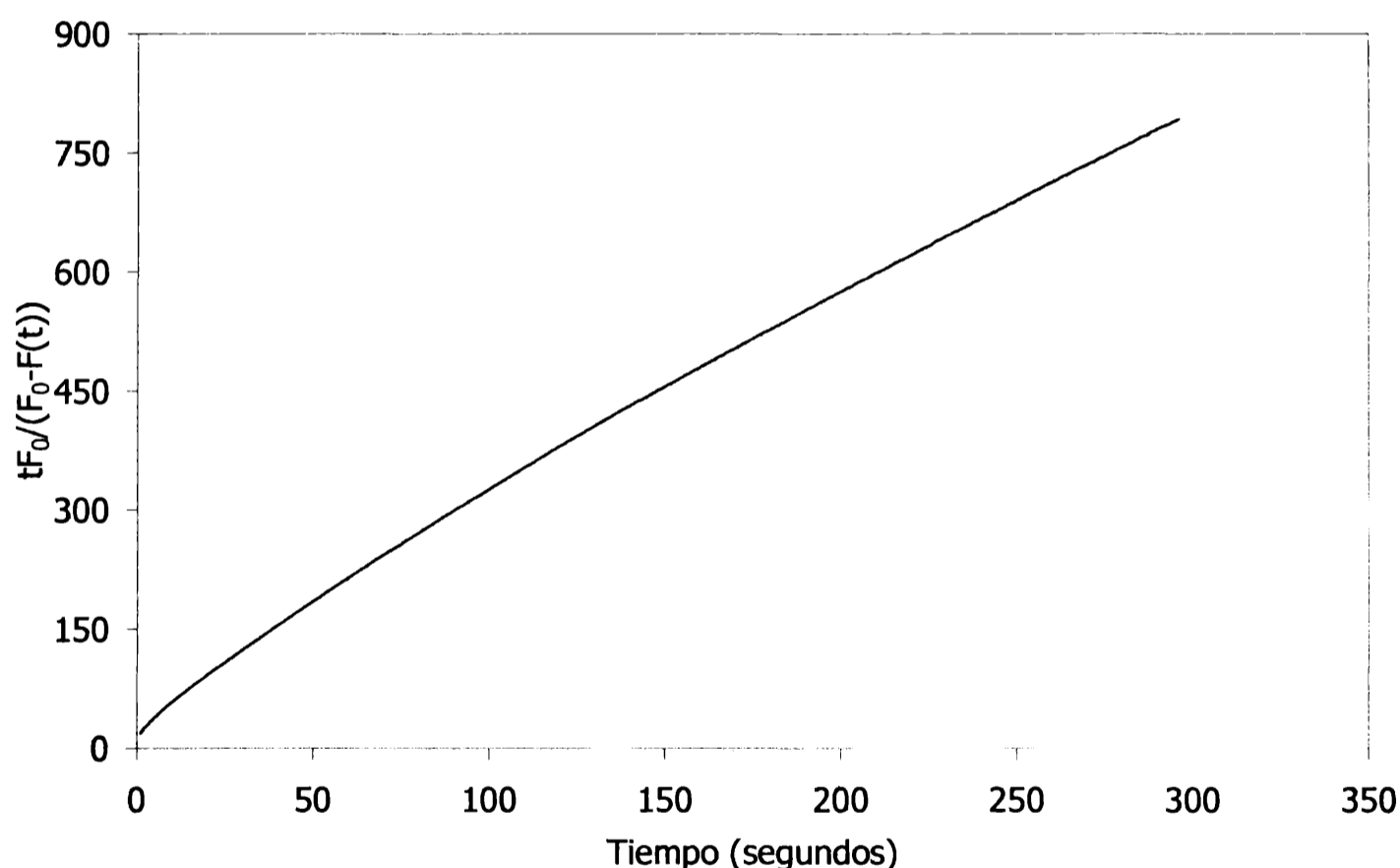


Figura 2.24. Variación típica de la ecuación de Peleg para tallarines (tiempo de almacenamiento 4 días, temperatura 4°C).

Tallarines

En la tabla 2.9 se presentan los resultados de los parámetros de la ecuación de Peleg para pastas tipo tallarines, para los distintos tiempos de almacenamiento y a las distintas temperaturas ensayadas.

Según el modelo de Peleg, no hay diferencias significativas en lo que respecta a la viscoelasticidad de los tallarines almacenados a distintas temperaturas de refrigeración con respecto a las pastas frescas. Se puede entonces inferir una menor sensibilidad del método con respecto al de Maxwell Generalizado para este alimento.

Lasagna

En la tabla 2.10 se presentan los resultados de los parámetros de la ecuación de Peleg para las cintas de pastas rellena, para los distintos tiempos de almacenamiento y a las distintas temperaturas ensayadas.

En este caso las cintas de pastas resultaron menos elásticas a medida que aumentan los días de almacenamiento refrigerado. Con respecto a las distintas temperaturas de almacenamiento, sólo se encontraron diferencias en el comportamiento en las pastas almacenadas a mayor temperatura, las que podemos decir según los valores de k_1 resultaron menos elásticas que las frescas. Sozer y col. (2008) al aplicar este método a pastas cocidas a distintos tiempos llegaron a conclusiones similares.

Tabla 2.9. Parámetros de la ecuación de Peleg para pastas tipo tallarines a distintos tiempos de almacenamiento.

Tiempo de almacenamiento (días)	0 °C		4 °C		10 °C	
	k_1	k_2	k_1	k_2	k_1	k_2
0	51.06 ^a	2.58 ^a	51.06 ^a	2.58 ^a	51.06 ^a	2.58 ^a
1	60.80 ^a	2.46 ^a	47.20 ^a	2.30 ^a	57.10 ^a	2.44 ^a
2	64.50 ^a	2.44 ^a	64.67 ^a	2.32 ^a	62.18 ^a	2.38 ^a
3	59.61 ^a	2.48 ^a	60.30 ^a	2.48 ^a	53.49 ^a	2.42 ^a
4	65.32 ^a	2.40 ^a	58.90 ^a	2.52 ^a	66.34 ^a	2.44 ^a
5	49.48 ^a	2.44 ^a	62.66 ^a	2.53 ^a	65.71 ^a	2.50 ^a
6	65.37 ^a	2.48 ^a	64.48 ^a	2.78 ^a	53.45 ^a	2.54 ^a
7	60.43 ^a	2.56 ^a	50.37 ^a	2.52 ^a	59.40 ^a	2.59 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 2.10. Parámetros de la ecuación de Peleg para las cintas de pastas rellenas a distintos tiempos de almacenamiento.

Tiempo de almacenamiento (días)	0 °C		4 °C		10 °C	
	k_1	k_2	k_1	k_2	k_1	k_2
0	81.40 ^a	2.58 ^a	81.40 ^a	2.58 ^a	81.40 ^a	2.58 ^a
1	76.60 ^a	2.75 ^a	76.40 ^a	2.86 ^a	55.87 ^b	2.28 ^a
2	94.07 ^a	2.60 ^a	70.54 ^a	2.29 ^a	50.46 ^b	2.20 ^a
3	82.45 ^a	2.34 ^a	80.17 ^a	2.72 ^a	52.38 ^b	2.34 ^a
4	88.60 ^a	2.28 ^a	71.25 ^a	2.18 ^a	68.50 ^{ab}	2.38 ^a
5	80.87 ^a	2.54 ^a	62.53 ^b	2.09 ^a	49.62 ^b	2.48 ^a
6	55.50 ^b	2.30 ^a	78.11 ^a	2.37 ^a	51.48 ^b	2.07 ^a
7	59.80 ^b	2.38 ^a	73.80 ^a	2.22 ^a	56.90 ^b	2.30 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Si bien el modelo de Peleg permite un ajuste del comportamiento con solo dos parámetros, es evidente que se pierde sensibilidad al linealizar los resultados obtenidos del ensayo de relajación.

2.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos

La reometría oscilatoria de baja amplitud de deformación consiste en la aplicación de pequeñas deformaciones que no rompen la estructura de la muestra evaluada. Esta característica es la base para que, a partir de ella, se pueda obtener información vinculada a la estructura de los materiales analizados. Los módulos elástico, G' , viscoso, G'' , y complejo, G^* , son funciones de la frecuencia y brindan información acerca de la estructura del alimento.

En base a los ensayos de barrido de esfuerzo, se seleccionó el valor de esfuerzo de 0.1 Pa, para efectuar los barridos de frecuencia y asegurarnos de trabajar dentro del rango de viscoelasticidad lineal (en el Anexo II se incluyen los resultados de estos ensayos).

En la figura 2.25 se muestra el barrido de frecuencia, realizado a 20°C, correspondiente a la pasta tipo tallarines fresca (valor inicial). En todo el rango de frecuencias el módulo elástico resultó mayor que el viscoso ($G' > G''$). Esto sugiere un comportamiento de sólido elástico de las pastas. Similares comportamientos reportan numerosos autores que trabajan con masas de harina de trigo (Dobraszczyk y Morgensten, 2003; Edwards y col., 2003; Lazaridou y col., 2007).

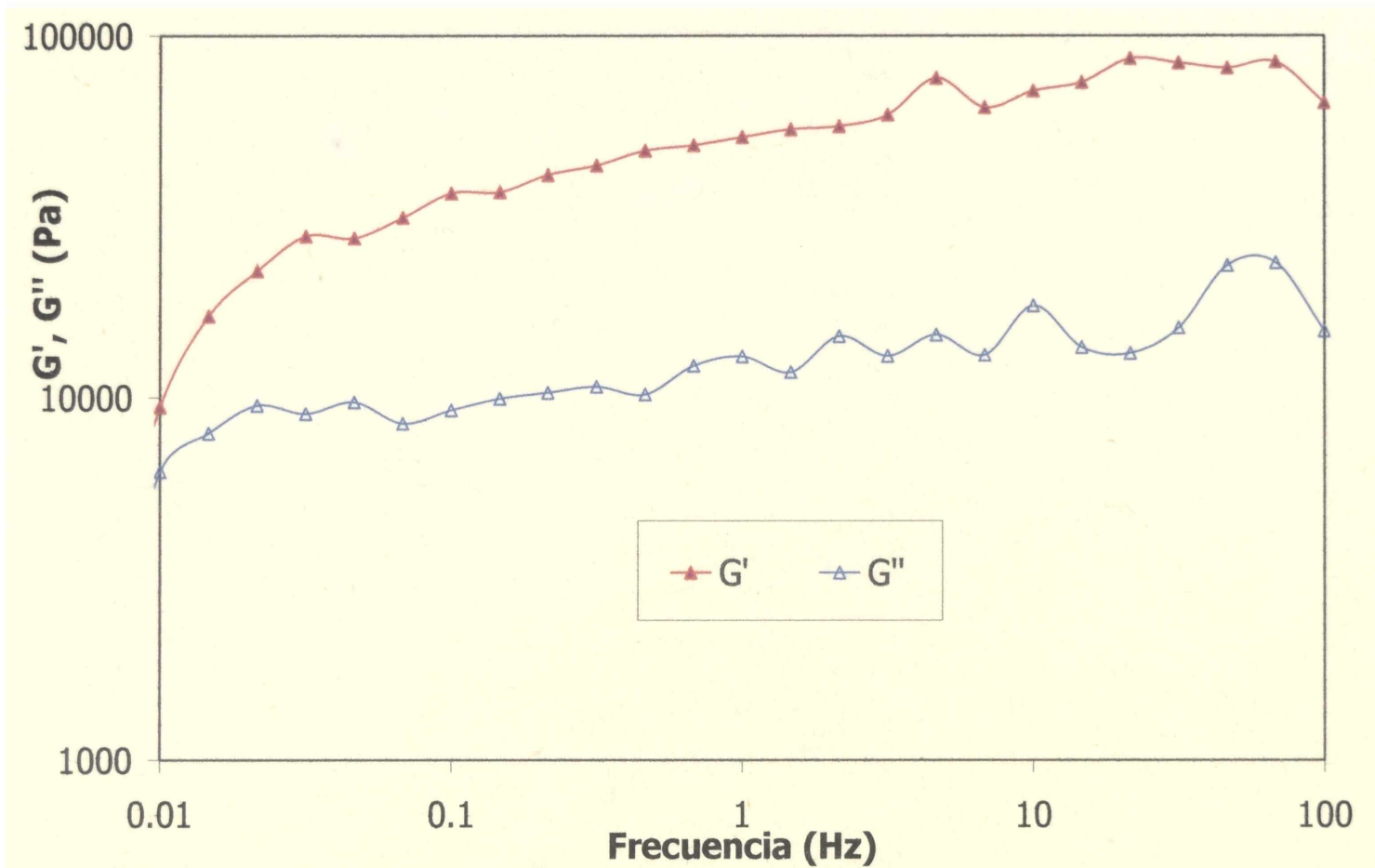


Figura 2.25. Barrido de frecuencia, 20 °C, para pasta tipo tallarines fresca.

Los valores de G' y G'' a 1Hz son 52.51 y 13 kPa respectivamente. Se puede ver, asimismo, que ambos módulos muestran una baja dependencia con la frecuencia (figura 2.25). Para analizar el efecto del almacenamiento refrigerado sobre la estructura de las pastas con y sin relleno se comparan los módulos elástico y viscoso a la frecuencia de 1Hz.

Tallarines

En la tabla 2.11 se presentan los valores de G' y G'' obtenidos para los distintos tiempos de almacenamiento para las pastas tipo tallarines.

La figura 2.26 muestra la variación del módulo elástico durante el almacenamiento de pastas tipo tallarines a distintas temperaturas. Dicho parámetro se incrementa gradualmente durante el almacenamiento refrigerado para todas las temperaturas, siendo mayor a medida que la temperatura disminuye. En general las variaciones de G' observadas indican pastas más firmes, en concordancia con los resultados de algunos de los ensayos de textura realizados en este trabajo.

Tabla 2.11. Parámetros obtenidos a partir de los ensayos dinámicos para las pastas tipo tallarines.

Tiempo (días)	0 °C		4 °C		10 °C	
	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)
0	52.51 ^a	13.00 ^a	52.51 ^a	13.00 ^a	52.51 ^a	13.00 ^a
1	65.25 ^b	15.22 ^a	67.82 ^b	12.22 ^a	58.32 ^b	11.23 ^a
2	72.81 ^c	13.66 ^a	73.41 ^c	13.45 ^a	61.77 ^b	12.22 ^a
3	78.95 ^c	11.13 ^a	73.22 ^c	11.10 ^a	60.44 ^b	13.09 ^a
4	74.11 ^c	13.93 ^a	76.44 ^c	9.15 ^a	63.41 ^b	13.21 ^a
5	85.46 ^d	16.06 ^a	81.33 ^d	9.88 ^a	63.31 ^b	11.78 ^a
6	80.19 ^{cd}	10.47 ^a	81.99 ^d	12.15 ^a	59.64 ^b	9.42 ^a
7	79.78 ^{cd}	10.11 ^a	82.00 ^d	12.82 ^a	59.13 ^b	9.81 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Asimismo, la variación de los módulos G' y G'' durante el almacenamiento se ve reflejada en la variación de la tangente del ángulo de deformación, $\tan \delta$, figura 2.27. Este parámetro es un indicador del carácter elástico del alimento, siendo menor cuanto más fuerte sea la red. La $\tan \delta$ disminuyó significativamente durante el almacenamiento llegando a valores de 0.2 para las menores temperaturas de almacenamiento. Con respecto a las distintas temperaturas de almacenamiento no se encontraron diferencias significativas entre las muestras almacenadas a 0 °C y 4 °C. Las pastas almacenadas a 10 °C presentan una menor disminución de la tangente del ángulo de desfasaje.

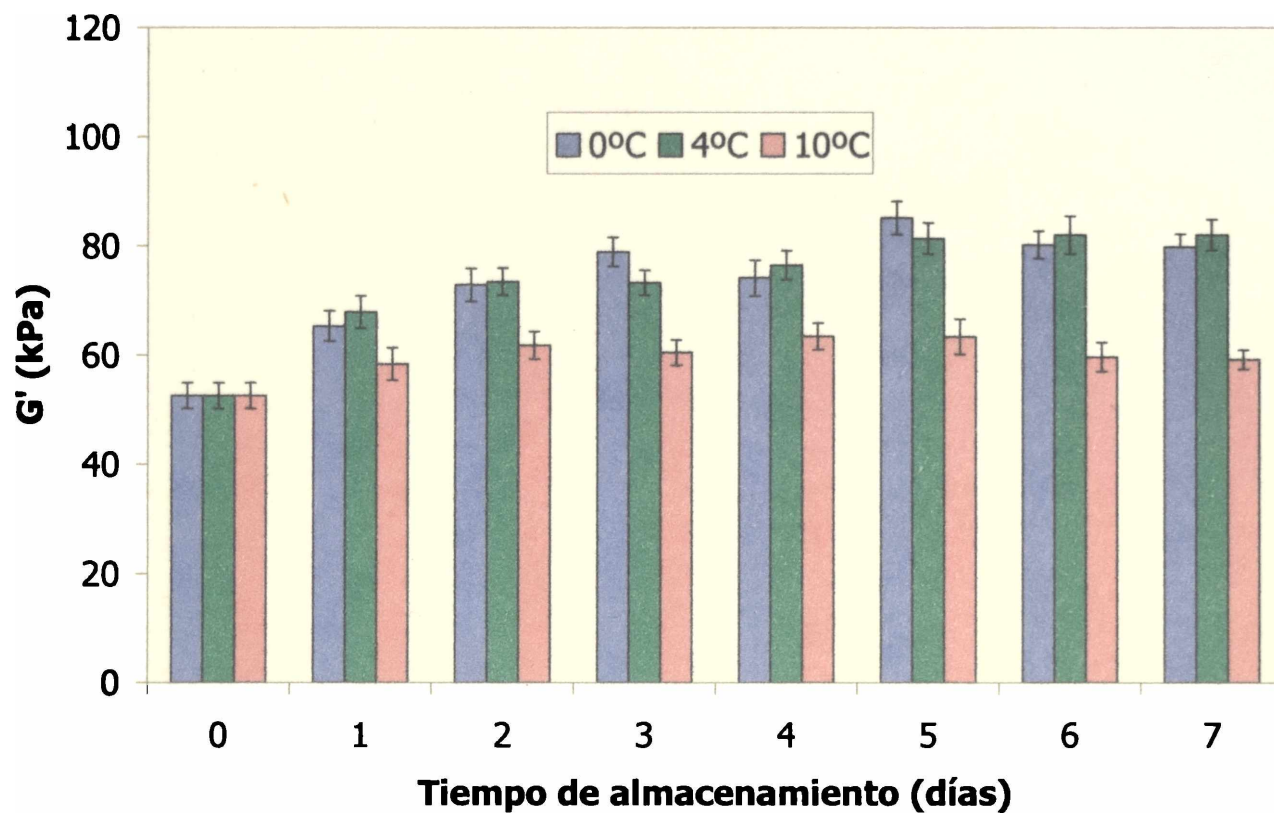


Figura 2.26. Variación del módulo G' durante el almacenamiento de pastas tipo tallarines a distintas temperaturas.

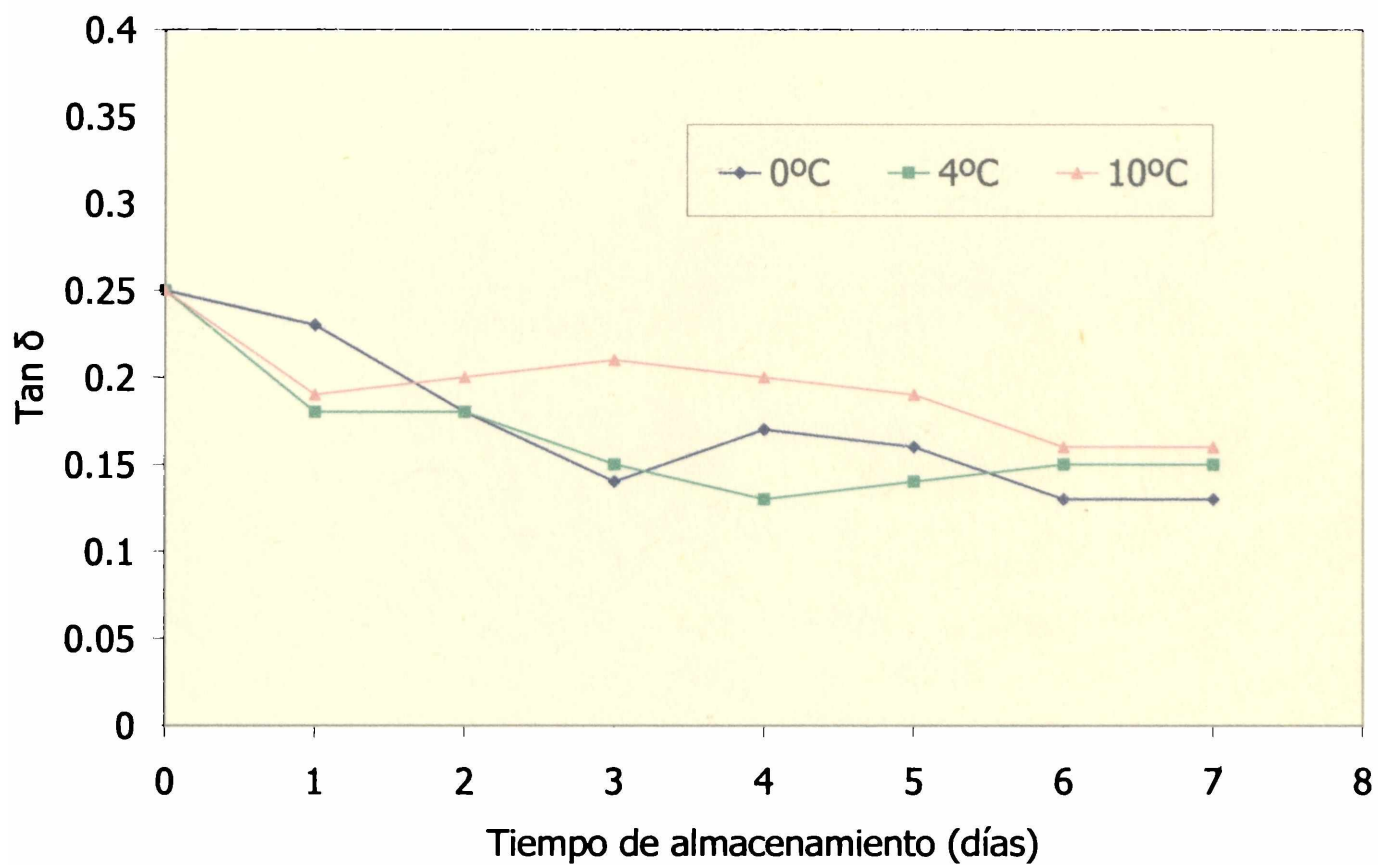


Figura 2.27. Variación de la tangente del ángulo de deformación, $\tan \delta$, durante el almacenamiento de pastas tipo tallarines a distintas temperaturas.

Lasagna

En la tabla 2.12 se presentan los valores de G' y G'' obtenidos para los distintos tiempos de almacenamiento para las cintas de pastas que conforman el plato de lasagna.

Tabla 2.12. Parámetros obtenidos a partir de los ensayos dinámicos para las cintas de lasagna durante el almacenamiento refrigerado.

Tiempo (días)	0 °C		4 °C		10 °C	
	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)	G' (kPa)	G'' (kPa)
0	60.22 ^a	18.15 ^a	60.22 ^a	18.15 ^a	60.22 ^a	18.15 ^a
1	52.10 ^b	20.40 ^a	55.32 ^a	21.21 ^a	50.13 ^b	17.22 ^a
2	48.43 ^b	22.17 ^a	46.08 ^b	20.59 ^a	44.65 ^c	18.39 ^a
3	44.51 ^c	19.39 ^a	44.91 ^b	20.07 ^a	40.41 ^c	18.32 ^a
4	44.11 ^c	17.88 ^a	42.29 ^b	18.48 ^a	41.15 ^c	19.78 ^a
5	46.32 ^{cb}	18.42 ^a	41.33 ^b	18.14 ^a	42.19 ^c	21.21 ^a
6	43.67 ^c	18.47 ^a	40.99 ^b	17.13 ^a	39.47 ^c	20.28 ^a
7	44.53 ^c	19.11 ^a	42.00 ^b	19.00 ^a	41.35 ^c	21.02 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Al analizar los resultados obtenidos, se puede ver que las cintas de pasta rellena se vuelven menos elásticas a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento y la temperatura. Este comportamiento se pone en evidencia en la disminución del valor de G' y en el aumento de la tangente del ángulo de desfase (figuras 2.28 y 2.29 respectivamente), además se puede inferir que la velocidad de cambio de los parámetros mencionados anteriormente es mayor en los primeros días de almacenamiento, permaneciendo prácticamente constante para los últimos días ensayados. Esto podría estar directamente relacionado con la difusión de agua desde los distintos componentes del plato preparado hacia la pasta y coincidiría con las variaciones de texturas determinadas anteriormente.

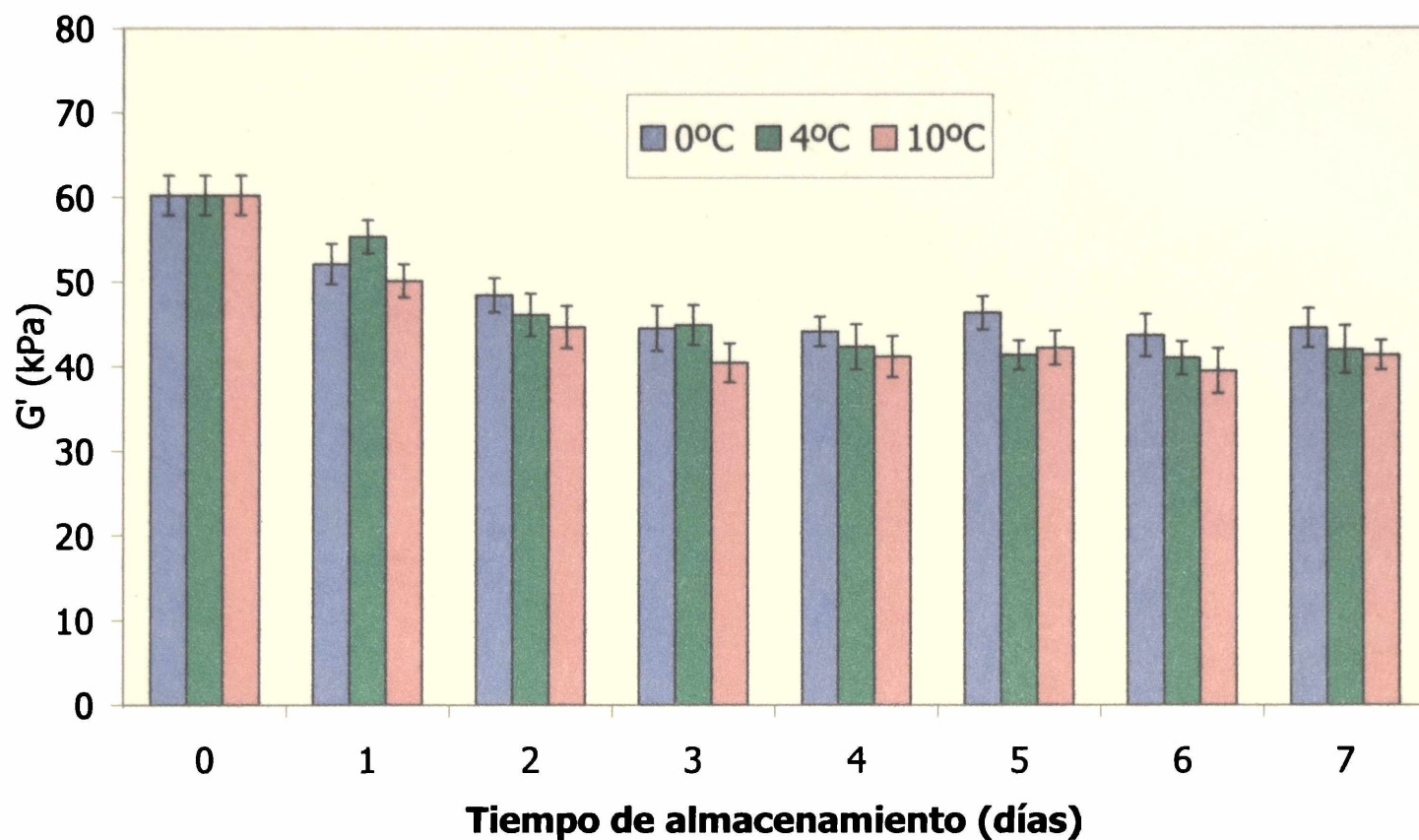


Figura 2.28. Variación del módulo G' durante el almacenamiento de cintas de lasagna a distintas temperaturas.

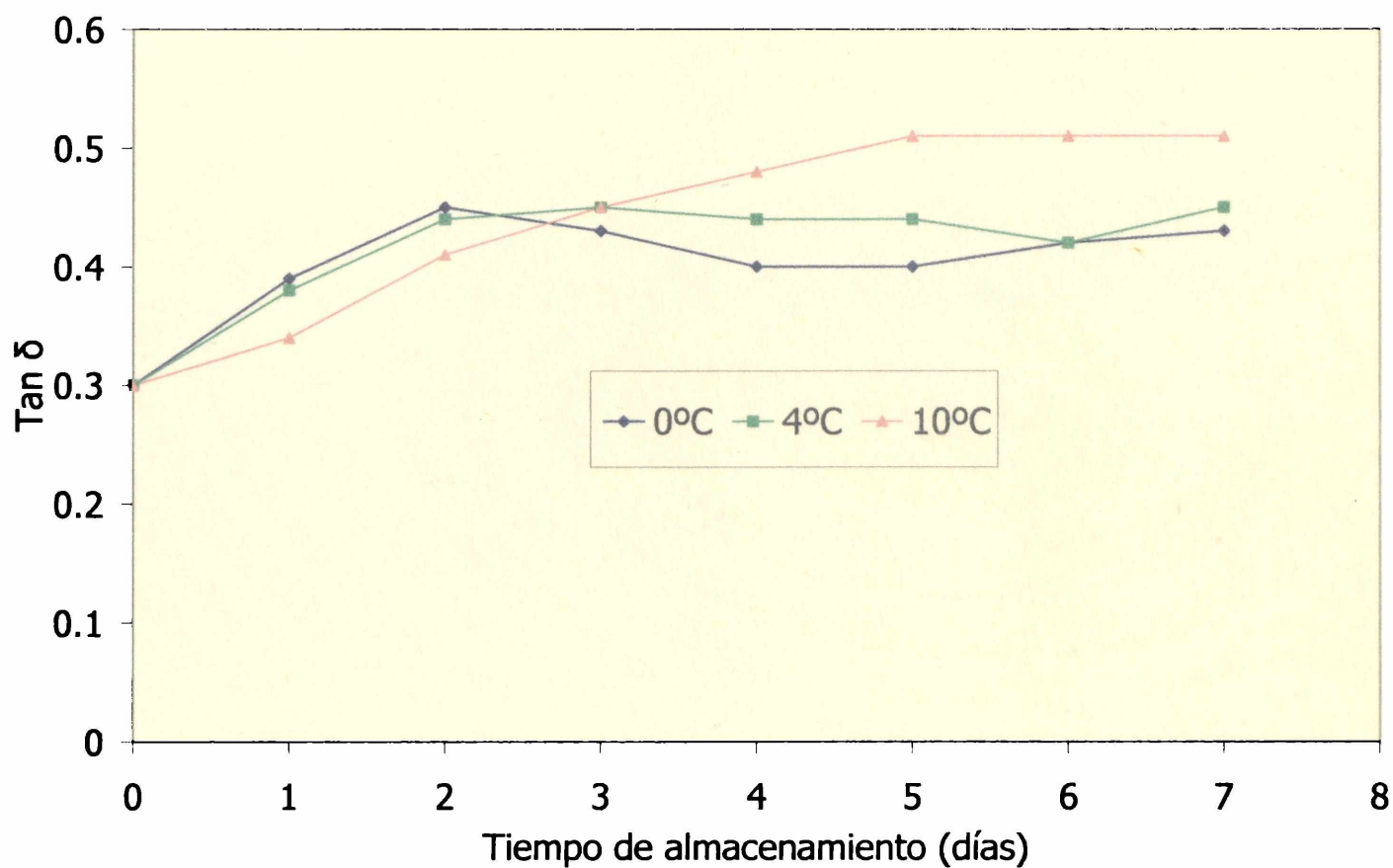


Figura 2.29. Variación de la tangente del ángulo de deformación, $\tan \delta$, durante el almacenamiento de pastas tipo tallarines a distintas temperaturas.

2.5. Vida útil microbiológica

En las figuras 2.30 a y b se muestran los resultados de recuentos totales de mesófilos y hongos y levaduras para las pastas tipo tallarines a distintas temperaturas de almacenamientos.

De manera similar a lo procedido con las pastas tipo tallarines, en las figuras 2.31 a y b se muestran los resultados de recuentos totales de mesófilos y hongos y levaduras para las pastas rellena tipo lasagna a distintas temperaturas de almacenamientos.

Definiendo la *vida útil* desde el punto de vista microbiológico como el tiempo necesario para que los microorganismos de deterioro alcancen un valor de 10^4 UFC/g (valor límite establecido por la legislación argentina para pastas cocidas rellenas y comidas preparadas, ANMAT, 2004), y a partir de la ecuación de Gompertz (ec. 1.27), es factible determinar la vida útil de los productos estudiados.

La tabla 2.13 muestra los tiempos de vida útil microbiológica calculados a partir de los recuentos y la ecuación de Gompertz. Por lo tanto la vida útil microbiológica de tallarines fue de 10, 6 y 4 días para las temperaturas de almacenamiento de 0, 4 y 10 °C respectivamente.

En el caso del plato preparado de pasta rellena los tiempos límite microbiológico para su consumo resultaron de 9, 6 y 4 días para las temperaturas de almacenamiento de 0, 4 y 10 °C respectivamente.

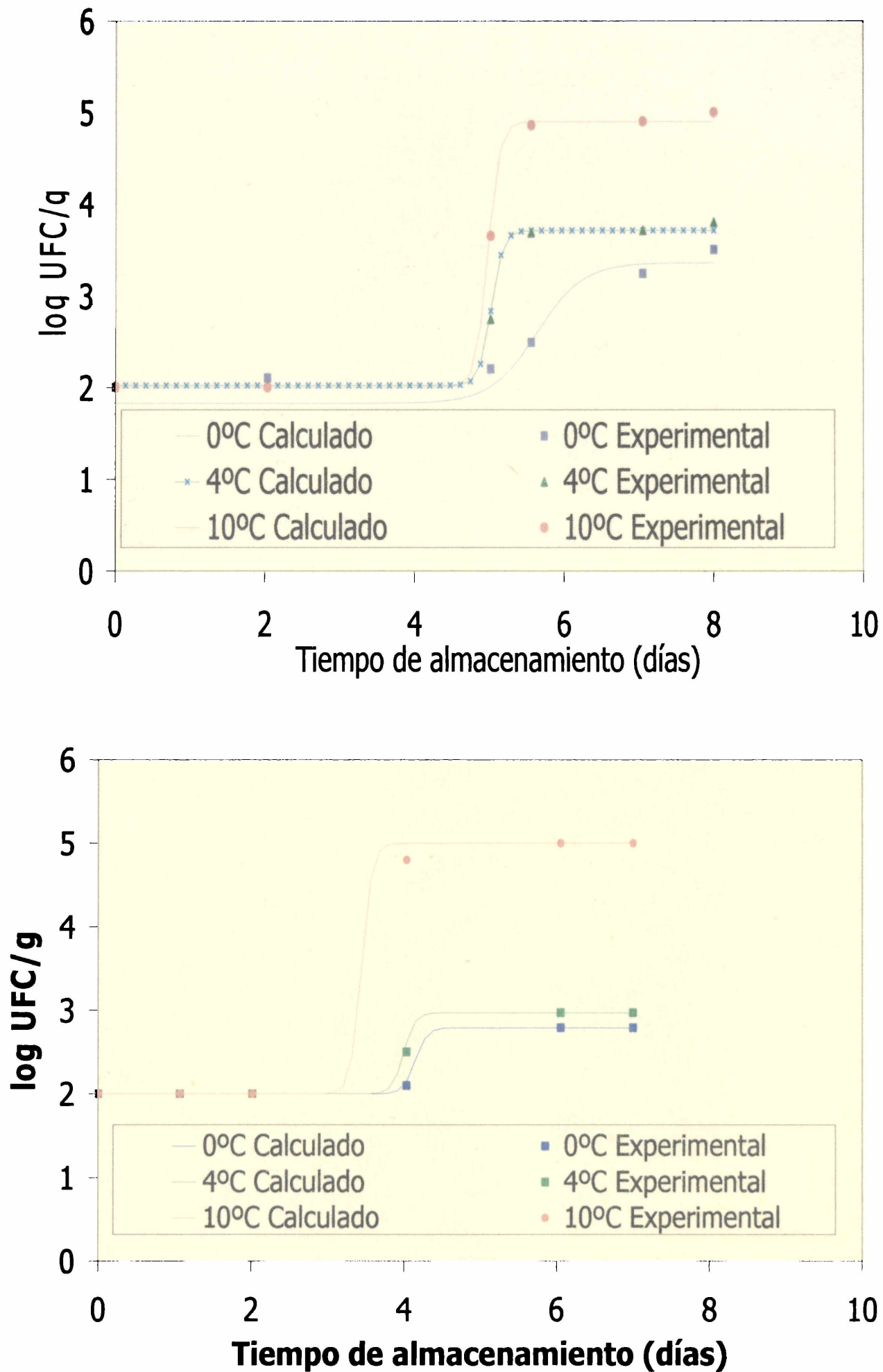


Figura 2.30. a) Recuentos totales de mesófilos y **b)** Recuento hongos y levaduras para las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento.

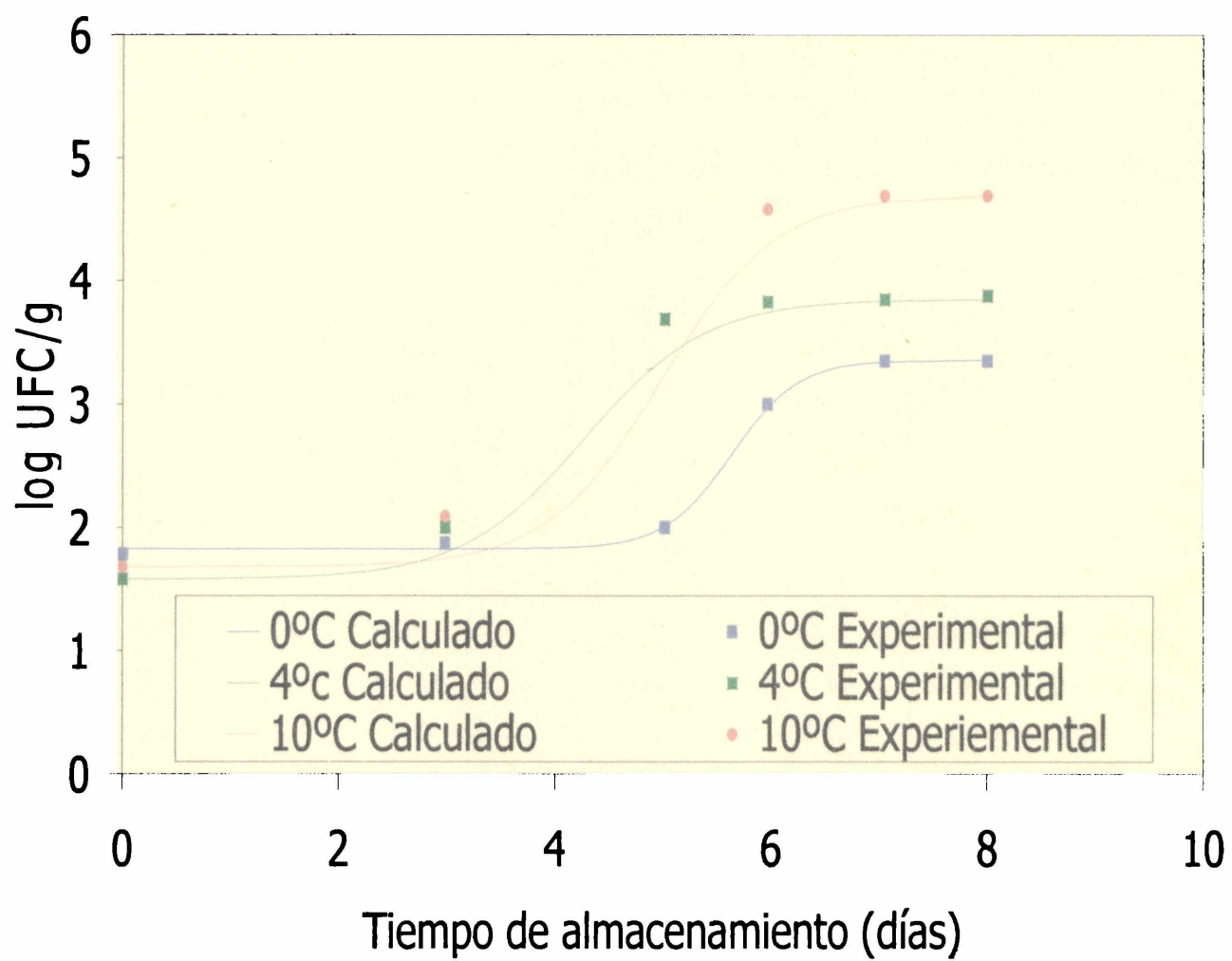
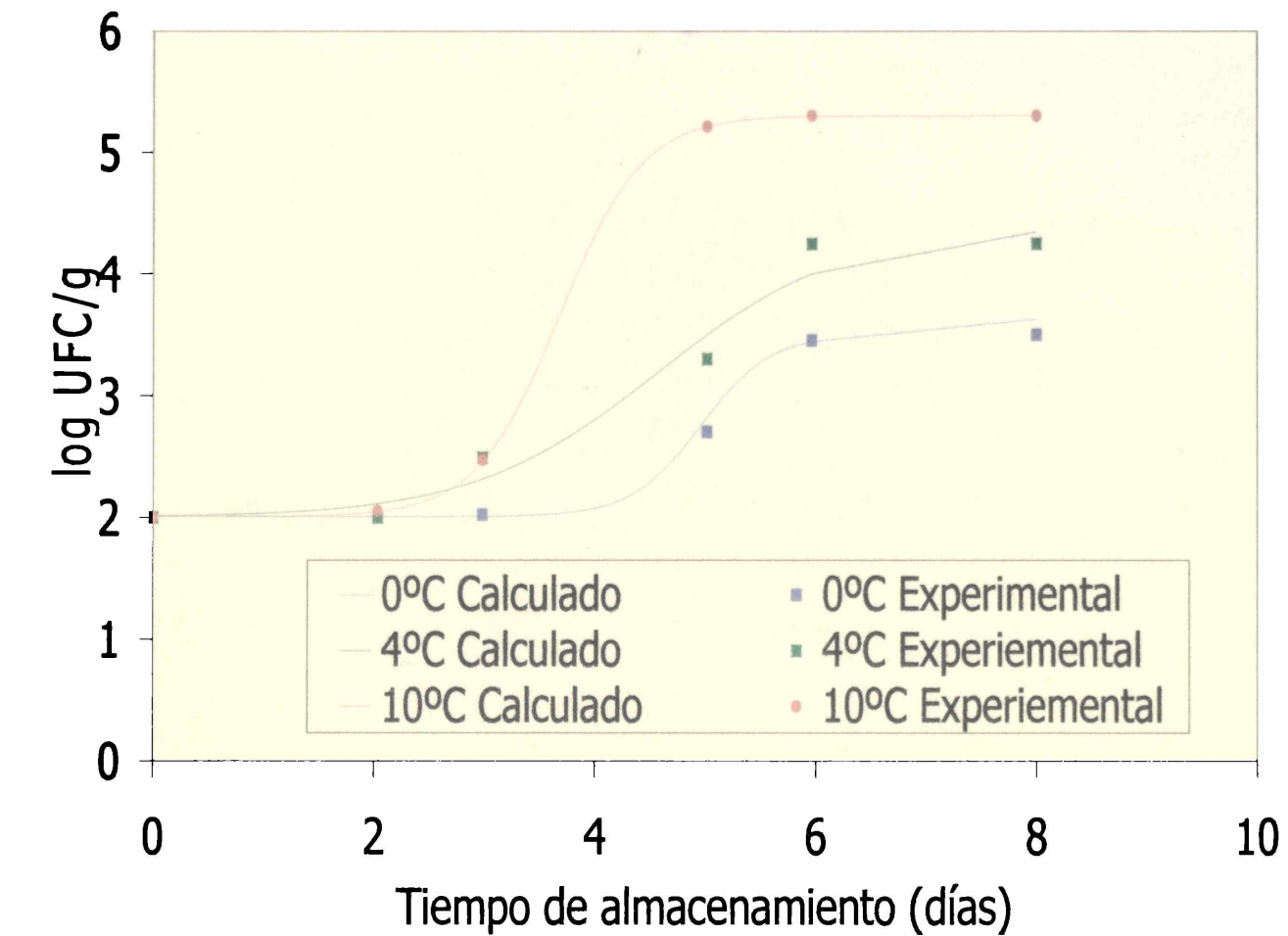


Figura 2.31. a) Recuentos totales de mesófilos y b) Recuento hongos y levaduras para las pastas rellenas durante el almacenamiento.

Tabla 2.13. Vida útil predicha a partir de la ecuación de Gompertz

	0 °C		4 °C		10 °C	
	Mesófilos	Hongos y levaduras	Mesófilos	Hongos y levaduras	Mesófilos	Hongos y levaduras
Tallarines	10 días	>10 días	6 días	> 10 días	6 días	4 días
Lasagna	9 días	>10 días	6 días	> 10 días	4 días	4 días

2.6. Aceptabilidad sensorial

La evaluación de la calidad puede llevarse a cabo por distintos métodos, sin embargo dado que el consumidor es el último juez de la calidad, la mayoría de los métodos químicos o instrumentales deben correlacionarse con la evaluación sensorial, constituyendo esta última una parte importante de todo estudio de vida útil de un alimento.

Las tablas 2.14 y 2.15 muestran el porcentaje de aceptabilidad para cada atributo evaluado de la pasta tipo tallarines y de la pasta rellena tipo lasagna respectivamente.

Tallarines

Los consumidores encuentran diferencias en las pastas almacenadas a 0 °C en la consistencia y en el sabor para los últimos días del almacenamiento (ver tabla 2.14). En cambio para las pastas almacenadas a 4 °C se detectaron diferencias sólo en la consistencia para el día 6 (fin de vida útil microbiológica). Estas diferencias podrían influir en la aceptabilidad global como se puede inferir de los resultados presentados.

Los evaluadores no encuentran diferencias para los atributos de calidad evaluados entre la pasta fresca y la almacenada a 10 °C en los tiempos ensayados. Si bien esta es la mayor temperatura de almacenamiento ensayada donde el evaluador espera que el consumidor note los mayores cambios, estos resultados se deben a la corta vida útil del producto a esta temperatura.

Con respecto al atributo apariencia, este no presenta diferencias significativas para las temperaturas de almacenamiento y tiempos ensayados en las pastas tipo tallarines. Podemos decir entonces que las diferencias halladas con las medidas instrumentales (inciso 2.2) no son detectadas por el consumidor o no son relevantes.

Lasagna

Al realizar el análisis sensorial de las cintas de pastas que conforman el plato preparado lasagna se obtuvieron los resultados que se detallan en la tabla 2.15.

Se puede observar una disminución en la aceptabilidad de las pastas rellenas a medida que aumentan los días de almacenamiento con respecto a los atributos consistencia y sabor para las tres temperaturas analizadas. Dicha disminución se ve reflejada en la aceptabilidad global del producto por parte de los consumidores.

Con respecto a la apariencia, no se encontraron diferencias significativas entre la pasta fresca y las almacenadas a las distintas temperaturas.

Según los resultados de los ensayos sensoriales obtenidos podemos inferir que la consistencia, directamente relacionada con la textura de las pastas, sería un parámetro crítico a tener en cuenta en la aceptabilidad de este tipo de comida preparada refrigerada.

Tabla 2.14. Resultados del ensayo de evaluación sensorial para las pastas tipo tallarines

	Apariencia			Consistencia			Sabor			Aceptabilidad Global		
	0°C	4°C	10°C	0°C	4°C	10°C	0°C	4°C	10°C	0°C	4°C	10°C
0 días	74.8 ^a	74.8 ^a	74.8 ^a	77.4 ^a	77.4 ^a	77.4 ^a	75.9 ^a	75.9 ^a	75.9 ^a	77.8 ^a	77.8 ^a	77.8 ^a
2 días	75.4 ^a	73.0 ^a	74.6 ^a	76.2 ^a	77.0 ^a	77.9 ^a	74.4 ^a	73.0 ^a	73.5 ^a	74.2 ^a	76.8 ^a	73.3 ^a
4 días	74.8 ^a	74.8 ^a	74.8 ^a	75.4 ^a	77.3 ^a	74.3 ^a	72.9 ^a	74.3 ^a	73.4 ^a	72.7 ^a	73.2 ^a	73.8 ^a
6 días	74.8 ^a	74.8 ^a	--	72.6 ^a	64.3^b	--	63.0^b	72.1 ^a	--	60.3^b	62.9^b	--
8 días	74.0 ^a	--	--	62.3^b	--	--	61.8^b	--	--	62.0^b	--	--

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 2.15. Resultados del ensayo de evaluación sensorial para las cintas de pastas que conforman la pasta rellena

	Apariencia			Consistencia			Sabor			Aceptabilidad Global		
	0°C	4°C	10°C	0°C	4°C	10°C	0°C	4°C	10°C	0°C	4°C	10°C
0 días	76.1 ^a	76.1 ^a	76.1 ^a	66.2 ^a	66.2 ^a	66.2 ^a	69.2 ^a	69.2 ^a	69.2 ^a	70.9 ^a	70.9 ^a	70.9 ^a
2 días	76.4 ^a	75.6 ^a	76.2 ^a	65.3 ^a	67.8 ^a	60.4^b	68.4 ^a	69.0 ^a	62.5^b	71.2 ^a	70.5 ^a	62.3^b
4 días	75.6 ^a	75.8 ^a	76.3 ^a	60.8^b	61.3^b	56.1^c	69.0 ^a	63.3^b	62.4^b	70.7 ^a	65.3^b	60.1^b
6 días	75.3 ^a	76.6 ^a	--	59.6^b	60.3^b	--	62.0^b	64.1^b	--	67.3^b	66.7^b	--
8 días	75.2 ^a	--	--	52.7^c	--	--	61.8^b	--	--	66.0^b	--	--

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

2.7. Vida útil sensorial

Con la finalidad de determinar la vida útil sensorial de ambos productos objeto de estudio en este trabajo, y teniendo en cuenta que interesa predecir el tiempo de almacenamiento al cual el consumidor rechaza el producto, se utiliza la función de rechazo $F(t)$, definida como la probabilidad de que un consumidor rechace un producto almacenado antes del tiempo t . Como mencionáramos anteriormente el riesgo no está enfocado sobre el deterioro microbiológico del producto, sino sobre el rechazo del consumidor hacia el mismo.

A modo ilustrativo en la tabla 2.16 se presentan los datos obtenidos a partir del análisis de supervivencia (ver inciso 1.6.7) realizado por consumidores que reciben muestras de pastas tipo tallarines almacenadas a 0°C durante tiempos que van de 0 a 8 días. A partir de dicho resultados se puede calcular el porcentaje de rechazo correspondiente a los distintos tiempos de almacenamiento. En la tabla 2.17 se presentan los valores correspondientes a las mismas muestras de la tabla 2.16.

En la figura 2.32 se grafica la correspondiente curva de rechazo obtenida a partir de los datos experimentales utilizando un modelo tipo logístico (ecuación 2.3) por ser el modelo que mejor ajustó a los datos experimentales.

$$F(t) = \frac{a}{1 + e^{-(\alpha_1 + \alpha_2 t)}} \quad (2.3)$$

donde a , α_1 y α_2 son constantes características para cada condición, t es el tiempo de almacenamiento y $F(t)$ es el porcentaje de rechazo.

En todas las condiciones ensayadas se obtuvo un muy buen ajuste de los datos experimentales con $r^2 > 0.9$.

Tabla 2.16. Resultado del test de análisis de supervivencia. Muestras de pastas tipo tallarines almacenadas a distintos tiempos a 0 °C.

Consumidor	t_0	t_2	t_4	t_6	t_8
1	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
2	Sí	Sí	No	No	No
3	Sí	Sí	Sí	Sí	No
4	Sí	no	Sí	Sí	No
5	Sí	Sí	No	No	No
6	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
7	Sí	Sí	Sí	No	No
8	Sí	Sí	Sí	No	No
9	Sí	Sí	No	No	No
10	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
11	Sí	Sí	Sí	Sí	No
12	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
13	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
14	Sí	Sí	Sí	No	No
15	Sí	Sí	Sí	Sí	No

Tabla 2.17. Porcentajes de rechazo en el ensayo de tallarines para diferentes tiempos de almacenamiento a 0 °C.

Tiempo (días)	% de rechazo
0	0
2	6.67
4	20.00
6	33.33
8	66.67

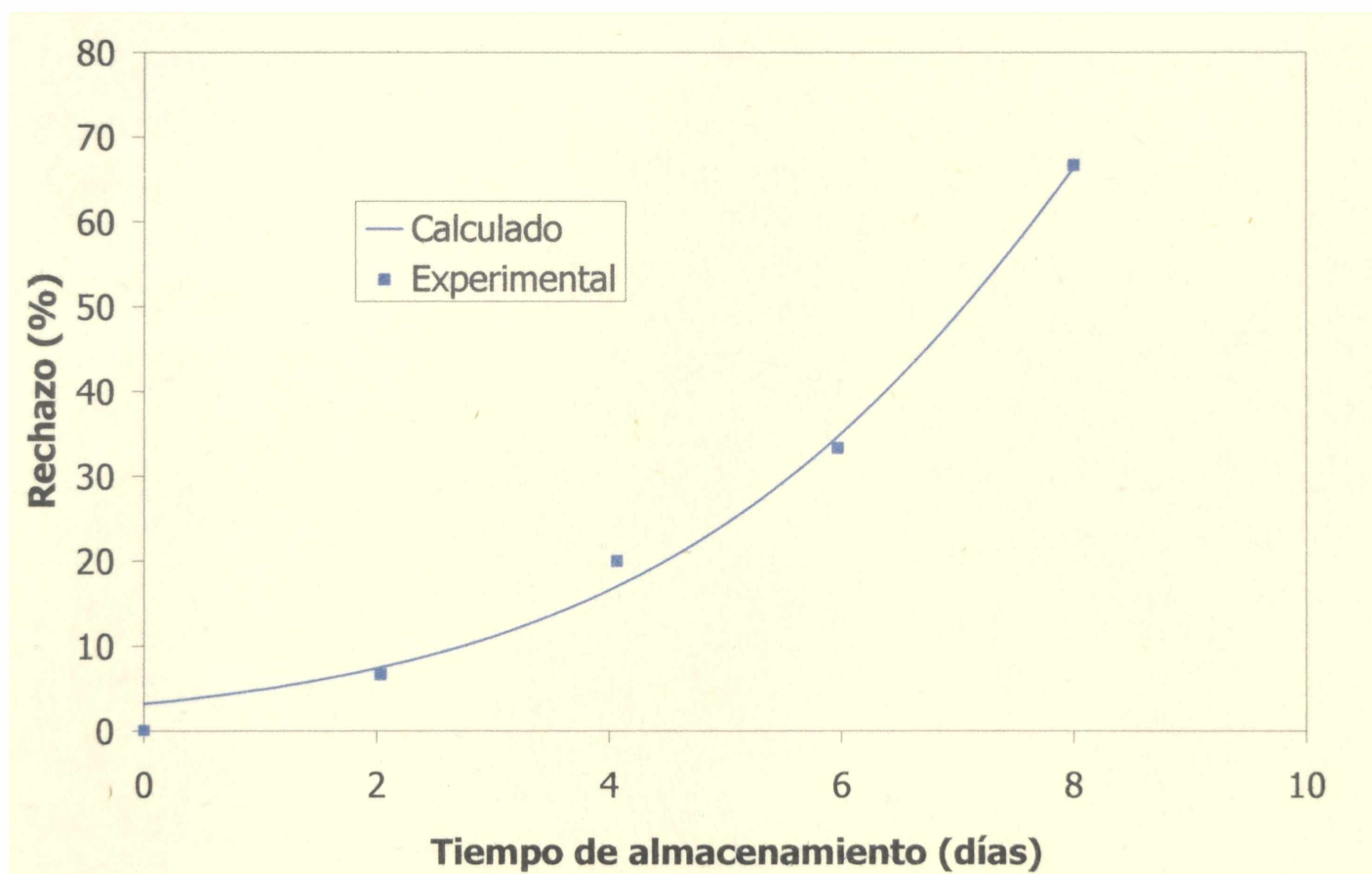


Figura 2.32. Porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 0 °C (pastas tipo tallarines).

A partir de la figura 2.32, se puede predecir la vida útil sensorial de las pastas, estableciendo *a priori* un valor de rechazo definido en función del grado de aceptación del producto por parte de los consumidores del mismo. Por ejemplo Cardelli y Labuza (2001) y Curia y col. (2005) adoptan como criterio el fin de la vida útil sensorial de café tostado y de yogurts respectivamente el tiempo al cual el producto es rechazado por el

50% de los consumidores habituales; en cambio Gambaro y col. (2004a, 2004b) usaron un valor del 25% de rechazo como determinante de la vida útil sensorial de productos horneados (alfajores, pan).

En este caso, si se decide trabajar con un 50% de rechazo, el tiempo estimado es de 7 días. Si en cambio se desea trabajar con un 25% de rechazo la vida útil sensorial será de 5 días.

En las figuras 2.33 y 2.34 se presentan los porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 4 °C y 10 °C respectivamente para las pastas tallarines.

Para las pastas con relleno los porcentajes de rechazo obtenidos para 0 °C, 4 °C y 10°C de almacenamiento se presentan en las figuras 2.35, 2.36. y 2.37 respectivamente.

A partir de las funciones rechazo, $F(t)$, se calcula la vida útil sensorial para ambas pastas ensayadas tomando los dos criterios mencionados: un 25% y un 50% de rechazo de los consumidores. Estos resultados se muestran en la tabla 2.18.

Al analizar los valores de vida útil sensorial no debemos olvidar la vida útil definida en función del desarrollo de microorganismos. Por lo tanto, comparando los resultados de la tabla 2.18 con los de la tabla 2.17 podemos inferir que si se selecciona como parámetro determinante que el 25% de los consumidores habituales rechacen el producto, la vida útil queda definida por las características sensoriales, en cambio, si se selecciona como criterio de corte que el 50 % de los consumidores rechacen la comida preparada, entonces independientemente de la temperatura de almacenamiento y del tipo de pastas (con o sin relleno) la vida útil estará definida por los parámetros microbiológicos.

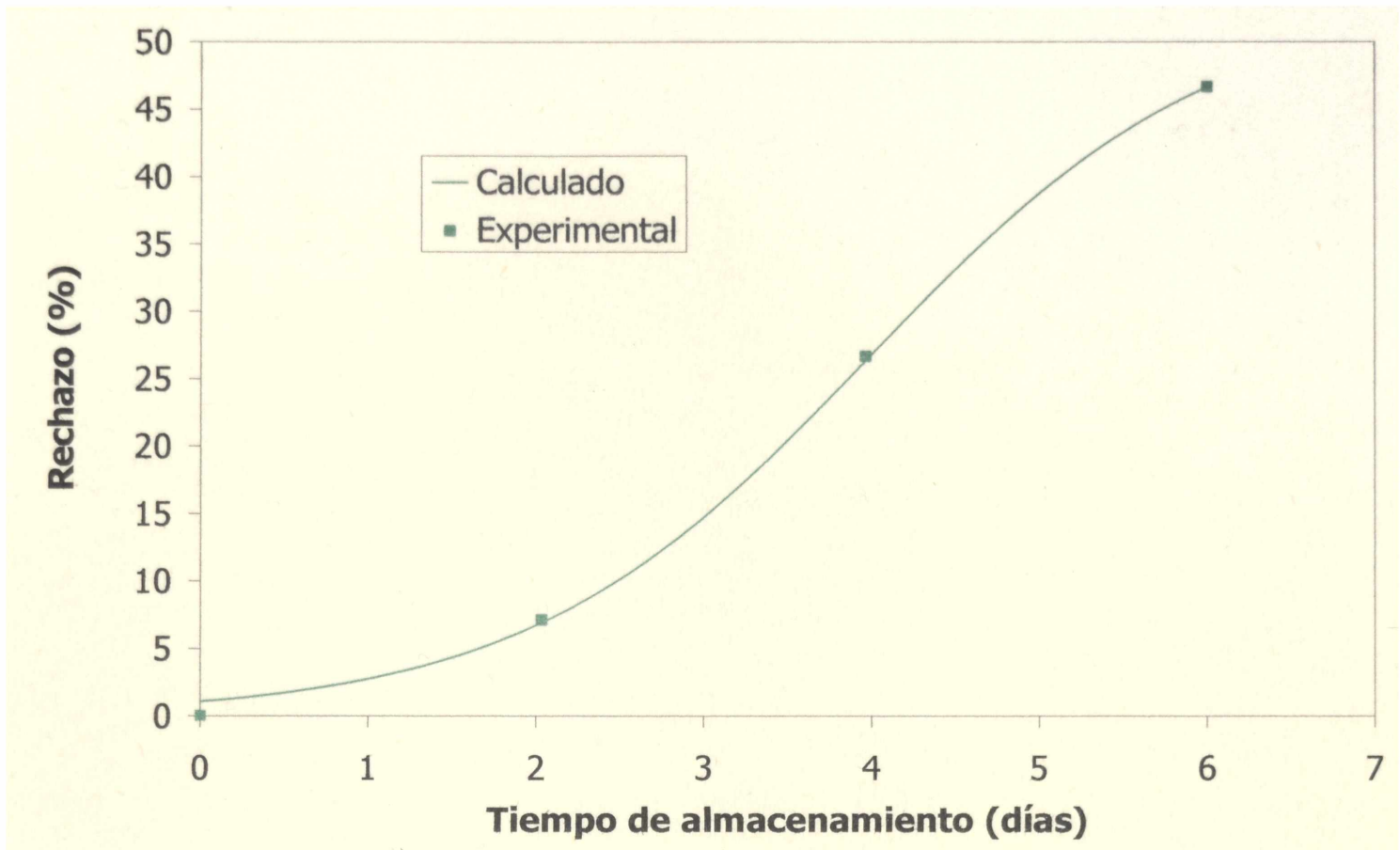


Figura 2.33. Porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 4 °C (pastas tipo tallarines).

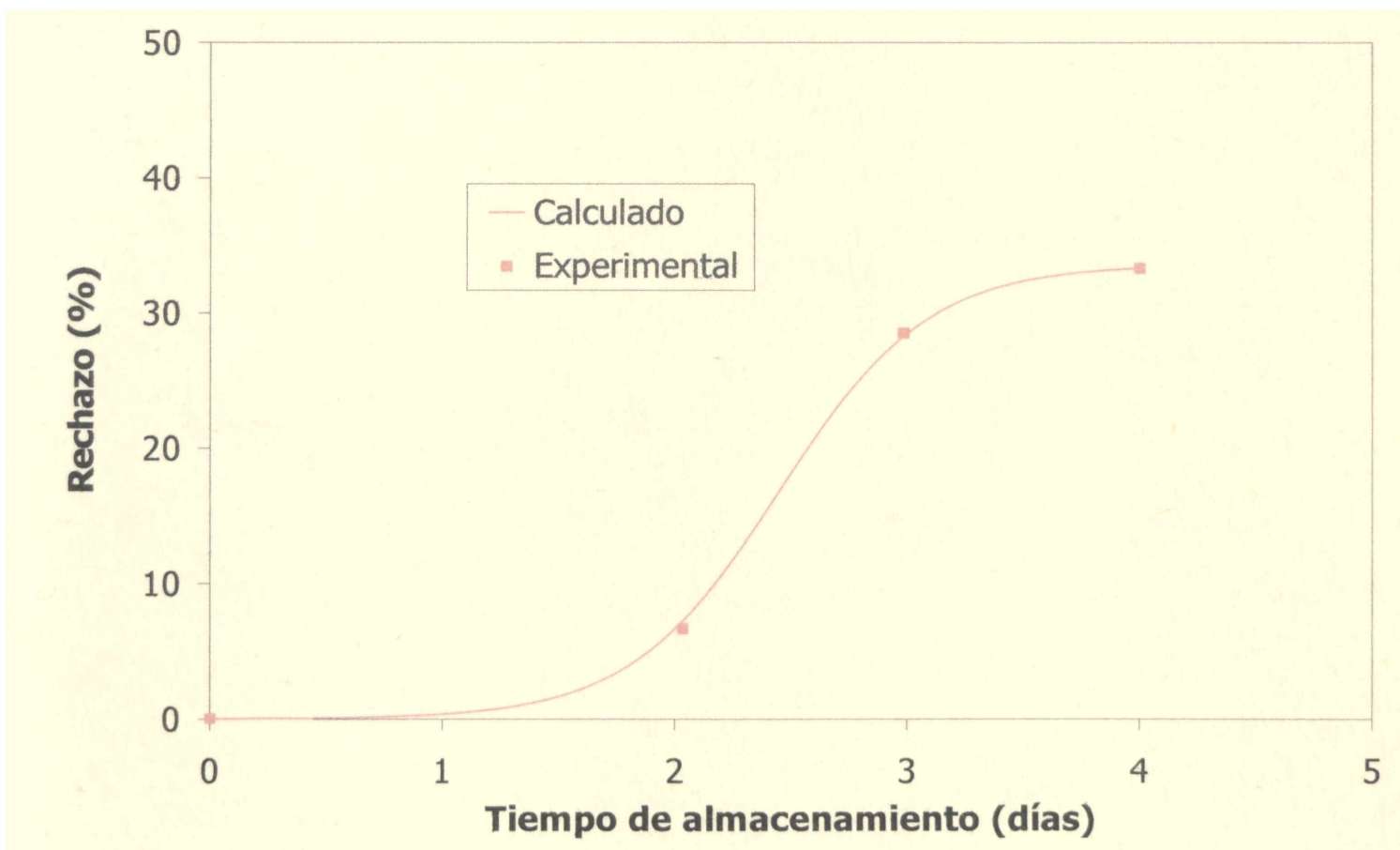


Figura 2.34. Porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 10 °C (pastas tipo tallarines).

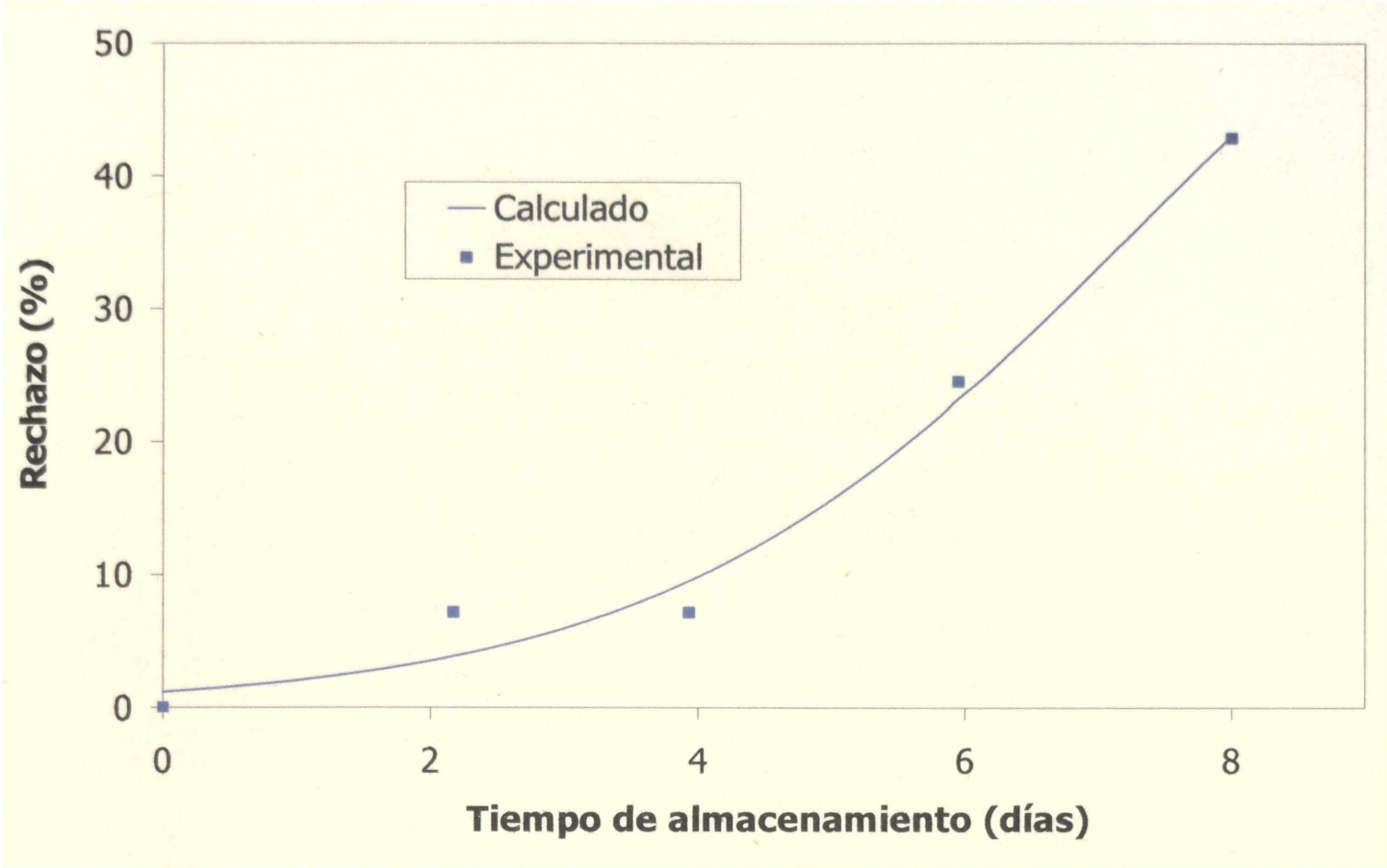


Figura 2.35. Porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 0 °C (cintas de lasagna).

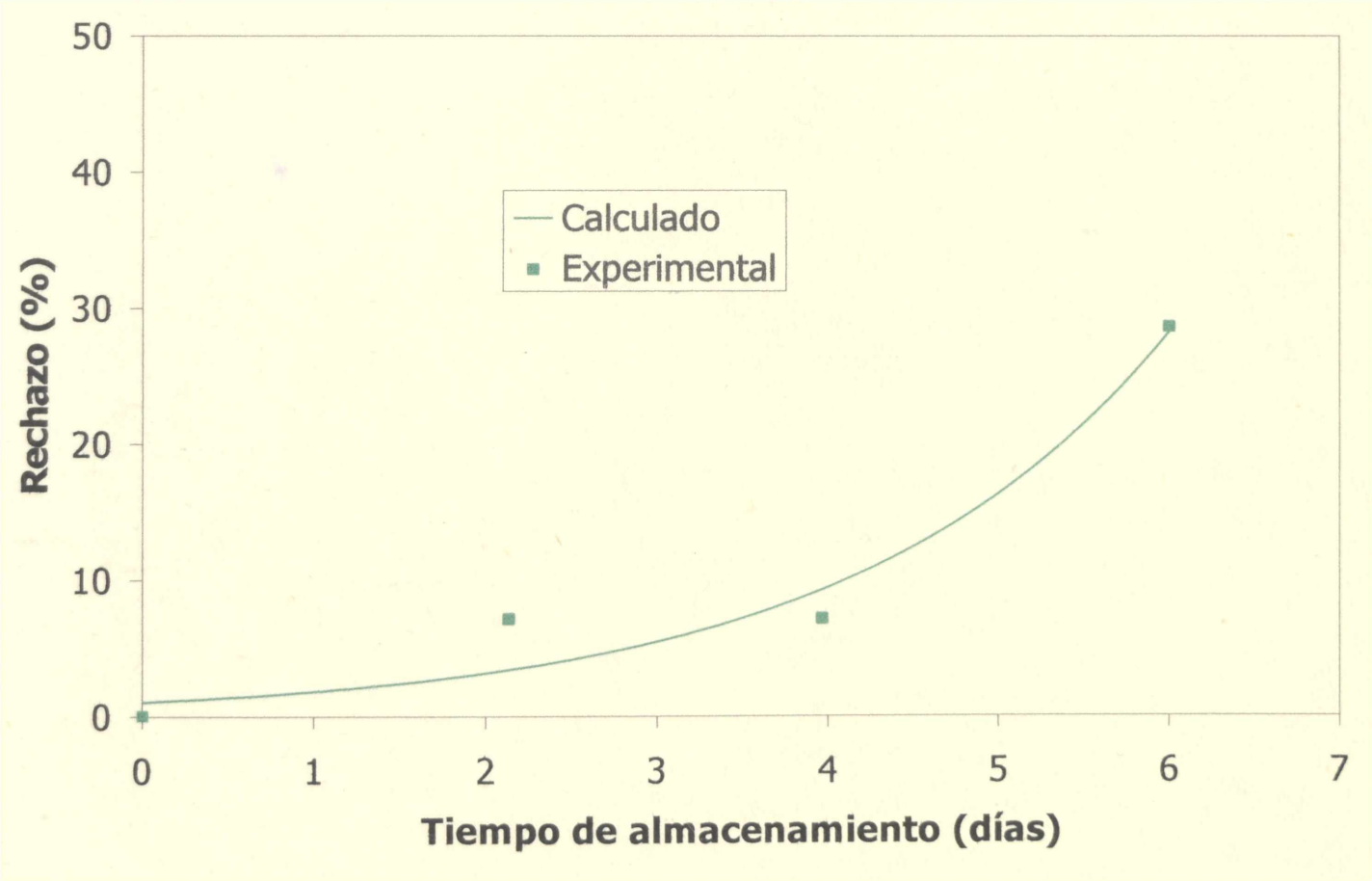


Figura 2.36. Porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 4 °C (cintas de lasagna).

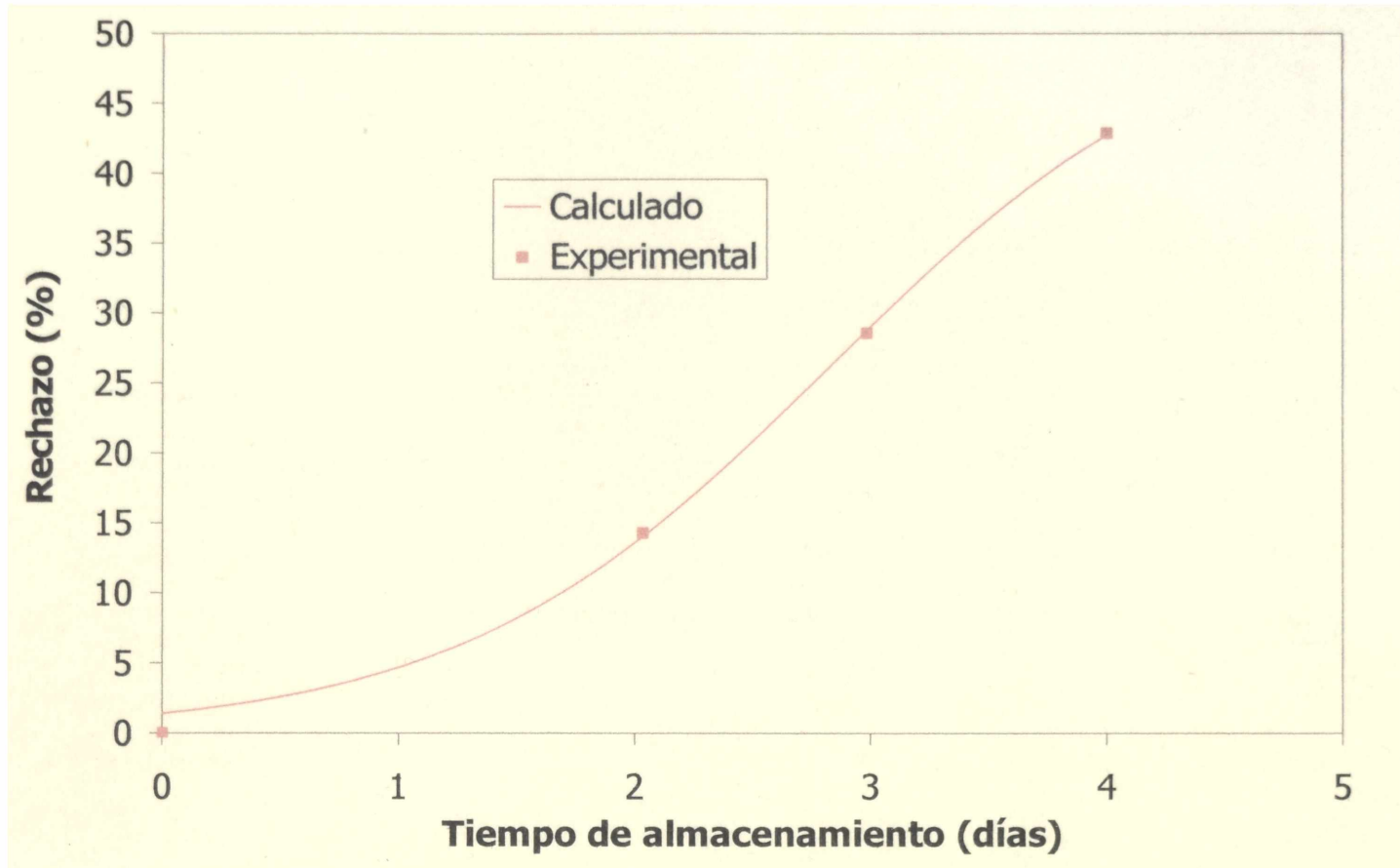


Figura 2.37. Porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento a 10 °C (cintas de lasagna).

Tabla 2.18. Vida útil sensorial predicha a partir de la función de rechazo

	0 °C		4 °C		10 °C	
	25% de rechazo	50% de rechazo	25% de rechazo	50% de rechazo	25% de rechazo	50% de rechazo
Tallarines	5 días	7 días	3.8 días	> 6 días	2.5 días	> 4 días
Lasagna	6 días	> 8 días	5.5 días	>6.5 días	2.7 días	> 4 días

Los resultados anteriores muestran que, mediante la opinión del consumidor, se puede predecir el período de validez sensorial de un producto. Podemos ver de estos resultados que a pesar de que las distintas medidas físicas determinadas presentaron mayor variación para las cintas de lasagna, este plato preparado resultó de mayor vida útil sensorial que los tallarines.

2.8. Cinéticas de deterioro

El resultado experimental presentado en este capítulo permite conocer claramente el comportamiento de ambos platos preparados.

Para avanzar en el modelado de la pérdida de calidad durante el almacenamiento, resulta de suma utilidad conocer las constantes cinéticas.

A partir de los resultados obtenidos de variaciones del contenido de humedad, color, textura, reología y aceptabilidad sensorial de las pastas durante el almacenamiento refrigerado se analizan y seleccionan los atributos determinantes en la calidad final de dichos alimentos, y a partir de esta selección se determinan las cinéticas de deterioro correspondientes de acuerdo a las ecuaciones (1.29) y (1.30).

Tallarines

En el caso de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado se observó que, de los parámetros analizados el que presenta la mayor variación fue la firmeza, lo cual se pone en evidencia en los ensayos de textura y reológicos informados anteriormente. Además dichas diferencias fueron percibidas por el consumidor habitual e influyeron en su aceptabilidad. En base a estos resultados se seleccionó este atributo de calidad como el crítico, mediante el cual calcular la cinética de deterioro durante el almacenamiento de este tipo de pasta.

Por lo tanto, a partir de los valores de textura instrumental y sensorial obtenidos se calculan las respectivas cinéticas de deterioro. Se encuentra en ambos casos, instrumental, determinado por los valores de dureza del ensayo de TPA, y sensorial determinado por el atributo consistencia, que un comportamiento de primer orden es el que mejor ajusta a las determinaciones experimentales.

En las figuras 2.38 y 2.39 se presentan las cinéticas de dureza y aceptabilidad respectivamente. En ambos casos se presentan los valores experimentales y la curva predicha a partir de considerar una cinética de primer orden.

De las ecuaciones de ajuste se obtienen los valores de las constantes cinéticas, k , para cada temperatura de almacenamiento.

Como lo mencionáramos en el inciso 1.7 para calcular la energía de activación, E_a , se realiza la correlación lineal de $\ln(k)$ en función de $1/T(K)$, la E_a es la pendiente

de la recta. Para mejorar la estimación de este parámetro, ya que se tienen datos de almacenamiento refrigerado a tres temperaturas, se consideró para la regresión los valores de k con sus intervalos de confianza.

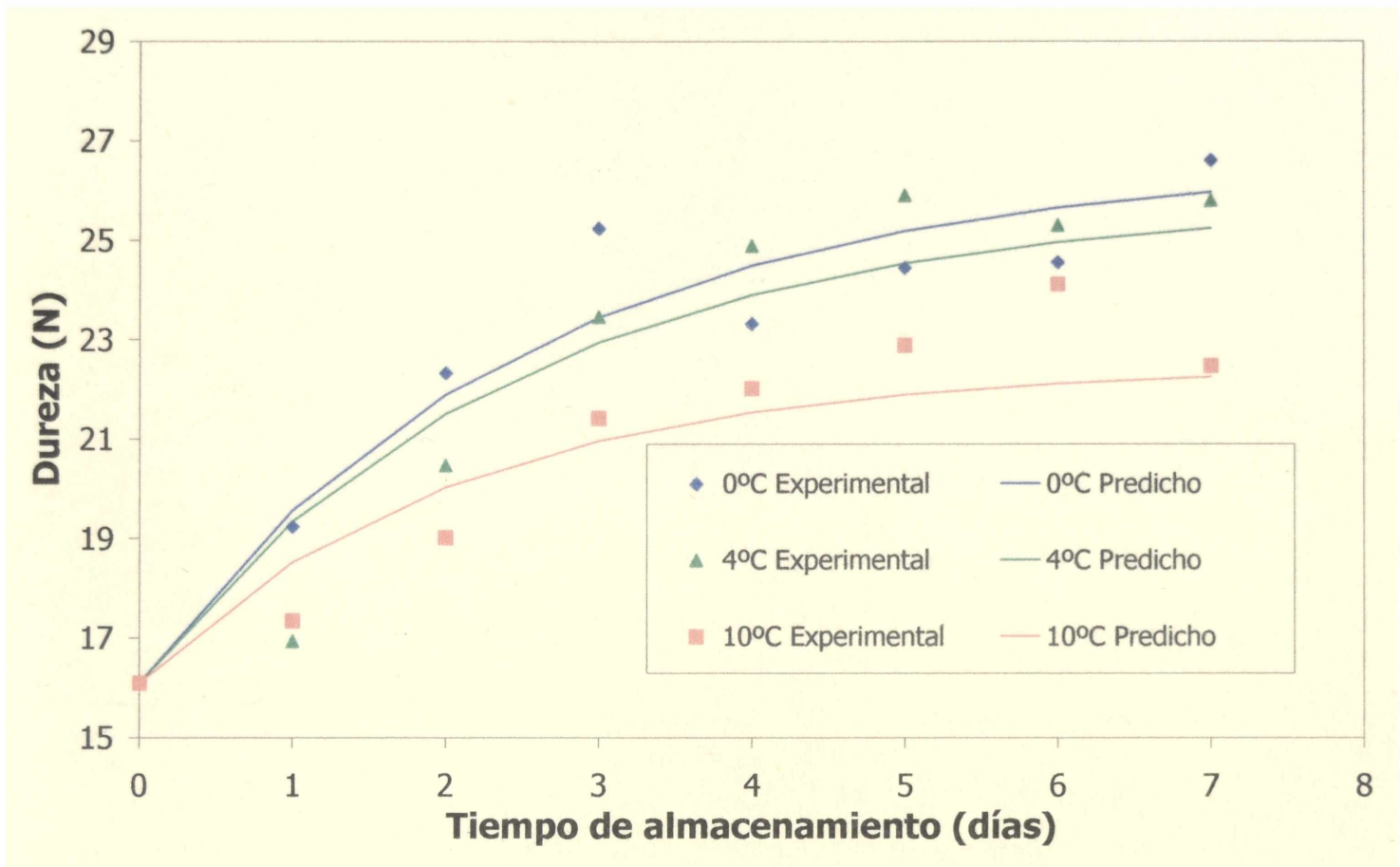


Figura 2.38. Variación experimental y calculada de la dureza de los tallarines almacenados.

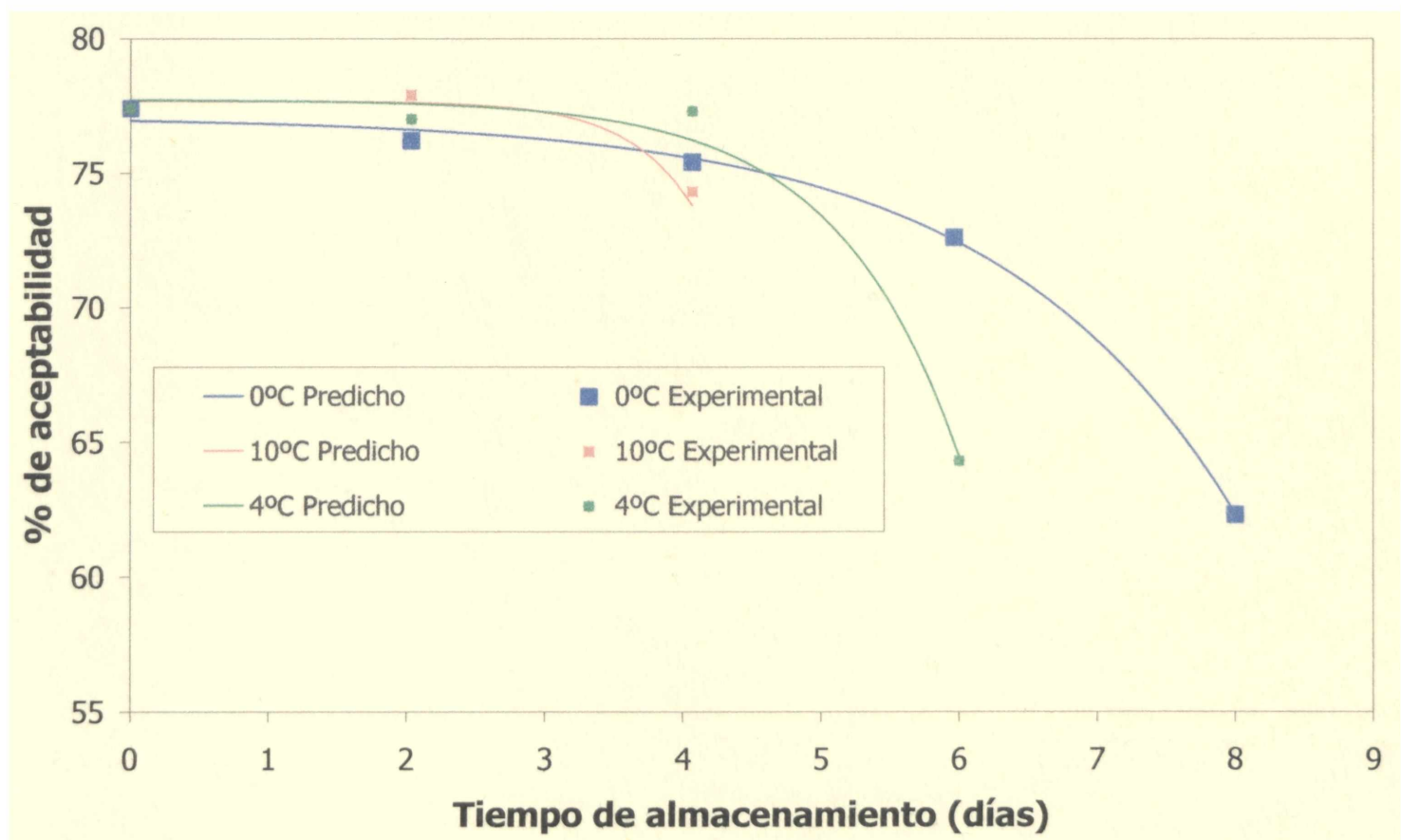


Figura 2.39. Variación experimental y calculada de la consistencia sensorial de los tallarines almacenados.

En la tabla 2.19 se presentan los valores de las constantes cinéticas, k , para cada temperatura de almacenamiento y la energía de activación para la determinación instrumental y sensorial.

Tabla 2.19. Parámetros cinéticos de la pérdida de calidad de tallarines refrigerados.

	Textura instrumental			Textura sensorial		
	0 °C	4 °C	10 °C	0 °C	4 °C	10 °C
k (dia ⁻¹)	0.401	0.407	0.494	0.573	1.127	2.092
r^2	0.918	0.939	0.938	0.99	0.99	0.99
E_a (kJ/mol)		13.91			82.08	
r^2		0.89			0.98	

Lasagna

En el caso de la pasta rellena, al igual que en el de los tallarines, el atributo de calidad mas vulnerable al almacenamiento en las condiciones ensayadas fue la textura, que en este caso particular para este tipo de alimento está relacionado con la variación del contenido de agua de las cintas de pasta que conforman el plato preparado. Por lo tanto se determinó en primer lugar la ecuación cinética que describa la variación del contenido de agua de la pasta en función del tiempo de almacenamiento.

Con respecto al contenido de humedad de las pastas, numerosos autores han trabajado en obtener modelos que predigan la variación del contenido de humedad de pastas, al respecto el proceso más estudiado es el de secado (Andrieu y Stamatopoulos, 1986; Villeneuve y Gélinas, 2007). Asimismo se encuentran en bibliografía modelos de rehidratación de pastas secas y de hidratación pastas frescas durante la cocción (Cunningham y col., 2007; Cafieri y col., 2008). En general la cinética de primer orden es la más empleada, y la que más se ajusta, a la difusión de agua a la pasta. En nuestro caso particular de las cintas de pasta almacenadas refrigeradas también resultó ser la que mejor predijo la variación del contenido de humedad determinado experimentalmente.

En la figura 2.40 se presentan las curvas experimentales y predichas que describen la variación del contenido de humedad de las cintas de pastas rellenas durante el almacenamiento refrigerado.

En cuanto a las medidas de textura instrumental luego de realizar los distintos ajustes a las distintas determinaciones realizadas se seleccionó para evaluar la cinética de deterioro de la textura instrumental al ensayo de cizalla por ser el que presentó mayor variación durante el almacenamiento refrigerado y el que mejor ajustó a un determinado orden de reacción, en este caso primer orden.

En la figura 2.41 se presentan las curvas experimentales de medidas de textura instrumental de cintas de lasagna y las curvas predichas obtenidas mediante la aplicación de una cinética de primer orden.

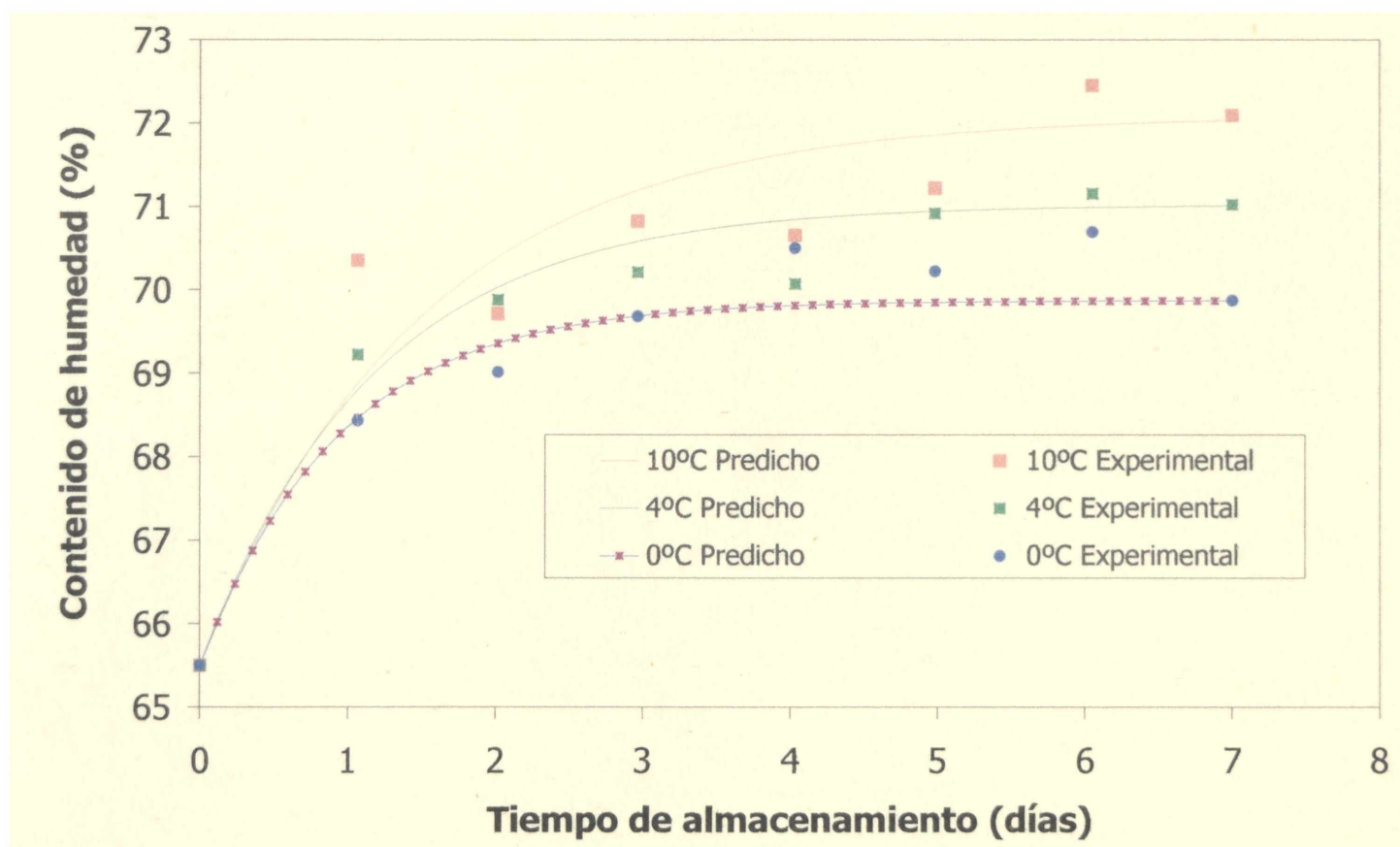


Figura 2.40. Curvas experimentales y predichas del contenido de agua de cintas de pastas rellenas almacenadas refrigeradas.

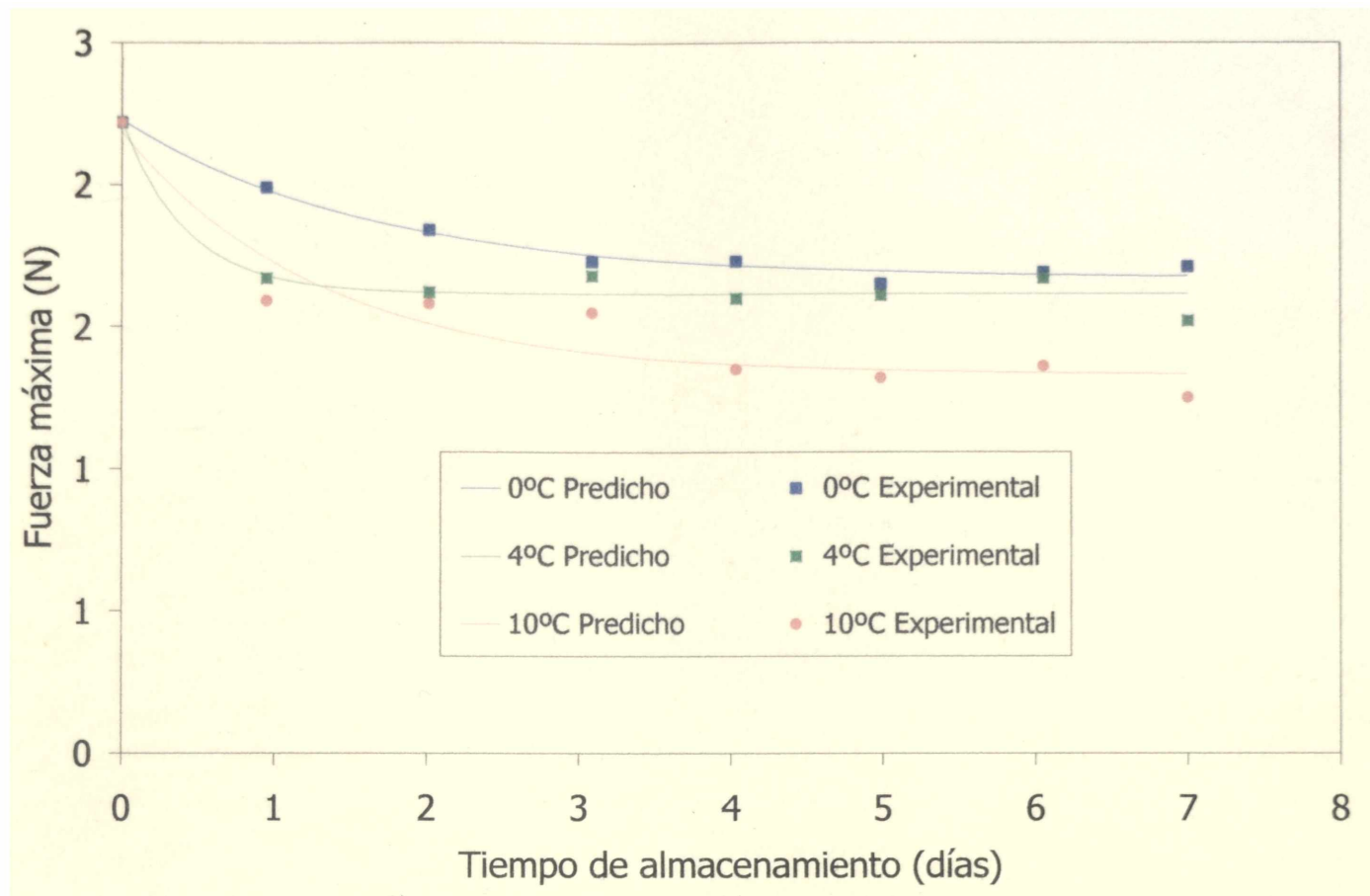


Figura 2.41. Curvas experimentales y predichas de textura instrumental de cintas de pastas rellenas almacenadas refrigeradas.

Para el caso de las medidas sensoriales de textura, consistencia, los valores determinados experimentalmente tuvieron muy buen ajuste con una cinética de orden cero (figura 2.42).

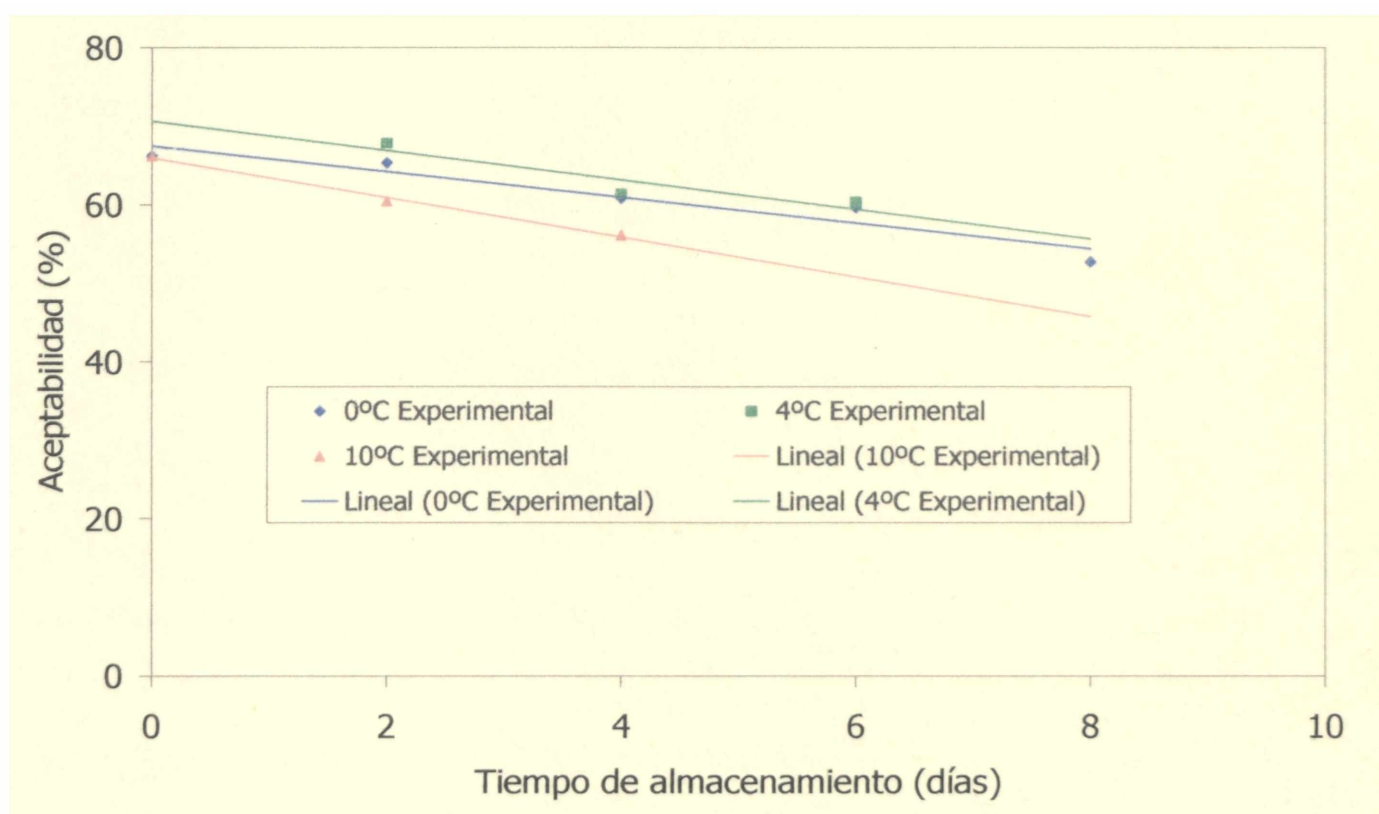


Figura 2.42. Curvas experimentales y predichas de textura sensorial de cintas de pastas rellenas almacenadas refrigeradas.

A partir de las diferentes cinéticas determinadas se obtuvieron los valores de k y con ellas las correspondientes energías de activación para cada ensayo. Los valores de los mencionados parámetros se presentan en la tabla 2.20.

Tabla 2.20. Parámetros cinéticos de la pérdida de calidad de cintas de pasta rellena almacenadas

	Contenido de humedad			Textura instrumental			Textura sensorial		
	0 °C	4 °C	10 °C	0 °C	4 °C	10 °C	0 °C	4 °C	10 °C
k (dia ⁻¹)	1.062	0.853	0.673	0.615	0.839	0.893	1.635	1.875	2.525
r^2	0.90	0.96	0.98	0.98	0.96	0.92	0.92	0.85	0.99
E_a (kj/mol)	29.11			22.75			28.25		
r^2	0.99			0.90			0.99		

A partir de la determinación de la energía de activación es posible calcular no sólo el tiempo de vida útil y el deterioro cuando el producto es sometido a distintas temperaturas de almacenamiento, sino también permite evaluar el deterioro y la vida útil remanente frente a fluctuaciones de la temperatura de almacenamiento contemplando por ejemplo las distintas etapas de la cadena de frío: elaborador-distribuidor-almacenamiento doméstico y las etapas intermedias de transporte (Dalmendray Gómez, 2000).

2.8.1. Relación empírica de vida útil con la temperatura

Como mencionáramos en el capítulo 1 generalmente no se cuenta con datos de constantes de velocidad de reacción, sino que se cuenta con datos de la vida útil del alimento a distintas temperaturas. Por lo tanto resulta interesante poder determinar una ecuación mediante la cual calcular el período de validez de un alimento a distintas temperaturas.

A partir de los datos de vida útil experimental microbiológicos o sensoriales, calculados en 2.5 y 2.7 respectivamente, se determinó la relación empírica descrita por la ecuación (1.33).

En las figuras 2.43 y 2.44 se presentan la vida útil microbiológica y sensorial respectivamente en función de la temperatura de almacenamiento para tallarines y lasagna. Se presenta, además, en cada gráfico la curva correspondiente obtenida a partir de la ecuación (1.33).

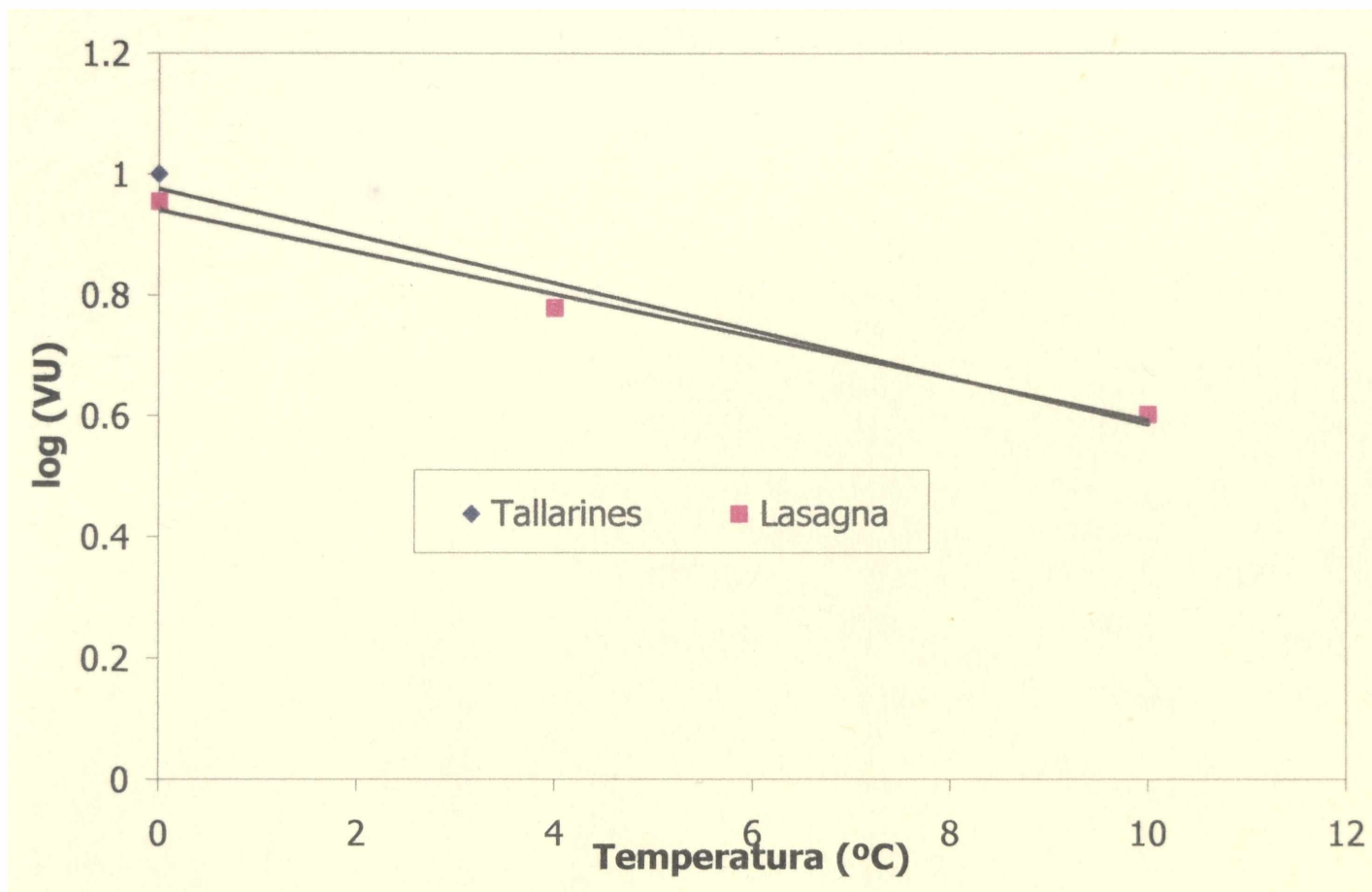


Figura 2.43. Variación de la vida útil microbiológica de las pastas en función de la temperatura de almacenamiento.

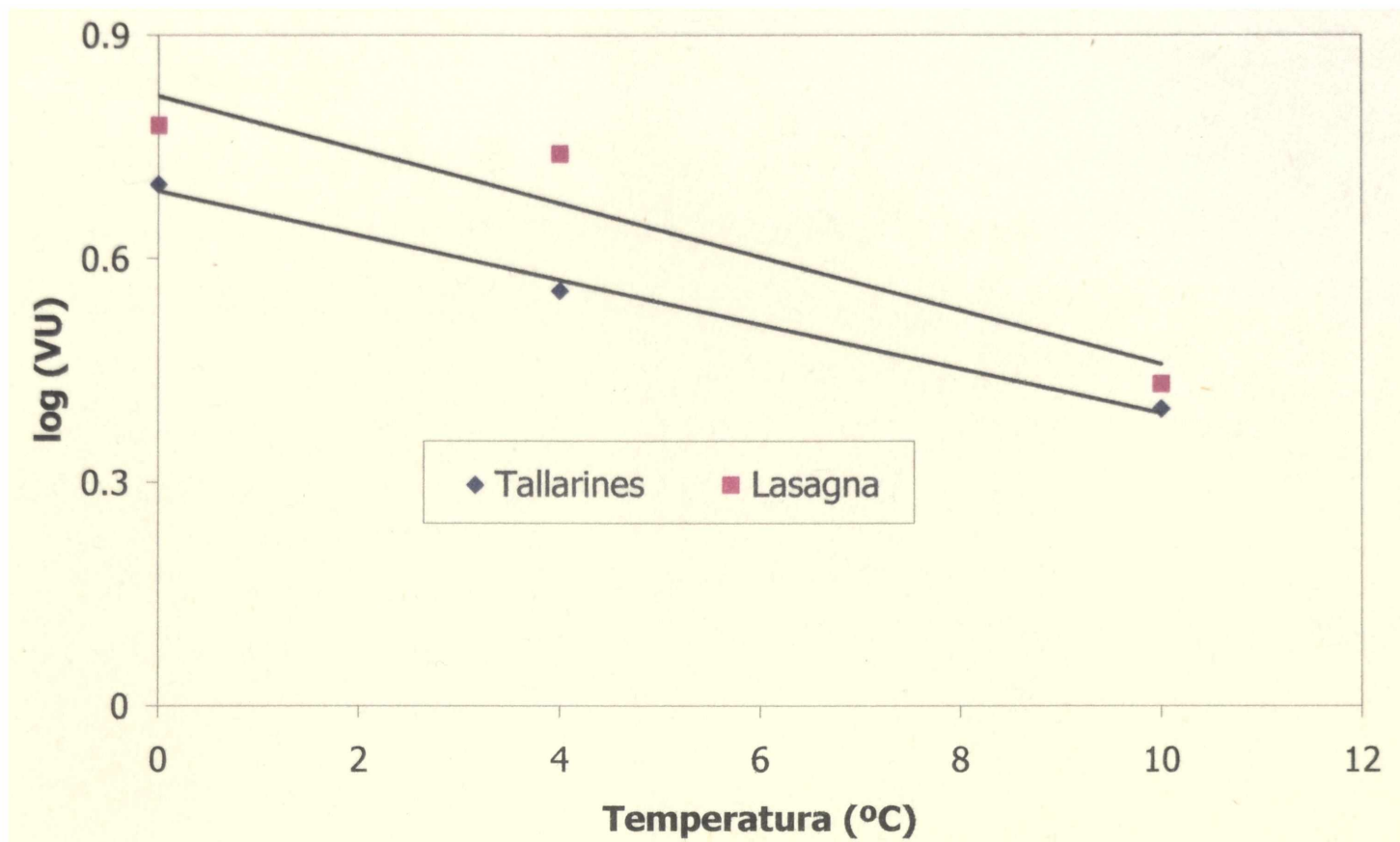


Figura 2.44. Variación de la vida útil sensorial de las pastas en función de la temperatura de almacenamiento.

En todos los casos los valores de r^2 son mayores a 0.90 con lo que se puede decir que se logra un muy buen ajuste suponiendo un comportamiento lineal del logaritmo de la vida útil en función de la temperatura. Los parámetros de dichas ecuaciones son:

Tallarines, vida útil microbiológica: $\log(VU) = -0.039T + 0.9753$

Lasagna, vida útil microbiológica: $\log(VU) = -0.035T + 0.9403$

Tallarines, vida útil sensorial: $\log(VU) = -0.030T + 0.6902$

Lasagna, vida útil sensorial: $\log(VU) = -0.036T + 0.818$

Por lo tanto mediante las ecuaciones determinadas podría estimarse la vida útil del alimento a distintas temperaturas de las ensayadas.

Una consideración que se debe tener en cuenta es que esta relación empírica de la vida útil con la temperatura la podremos utilizar dentro de valores cercano a el intervalo de temperatura en que se realiza la correlación, siempre y cuando en este rango de temperaturas no se produzcan cambios de fase.

2.9. Conclusiones

El contenido de humedad de las pastas tipos tallarines no varía significativamente durante el almacenamiento refrigerado, independientemente de la temperatura de almacenamiento. En el caso de las pastas que conforman el plato relleno lasagna, presentan un aumento significativo de su humedad. Esto resulta algo esperable por tratarse de un alimento multicomponente cuyos ingredientes individuales presentan diferencias en el valor de este parámetro.

Al analizar las distintas magnitudes que cuantifican el color superficial, se pone en evidencia que la luminosidad de las pastas, independientemente si esta contiene o no relleno, es la coordenada que mayor sensibilidad presenta durante el almacenamiento refrigerado. Para los tallarines este índice aumenta levemente durante el almacenamiento. En contraposición, para la pasta almacenada con relleno de espinaca y salsa los valores de L^* disminuyen significativamente.

Al cuantificar la variación de color total durante el almacenamiento refrigerado de las pastas, con y sin relleno, mediante el cálculo de parámetro ΔE^* , puede inferirse que las diferencias de color total durante el almacenamiento refrigerado de tallarines no serán percibidas por el consumidor habitual, ya que estos valores son inferiores al 3%. En cambio la variación de este parámetro durante el almacenamiento refrigerado sería detectado por el observador en el caso de las cintas de pastas que conforman el plato preparado lasagna.

El análisis de las características texturales de las pastas muestra que las pastas tipo tallarines incrementaron su dureza y consistencia durante el almacenamiento refrigerado y dicho aumento es función de la temperatura de almacenamiento, siendo esta variación más notoria a medida que baja la temperatura. Este aumento puede deberse a la retrogradación de la amilopectina, proceso que se ve favorecido por el almacenamiento refrigerado. En cambio, la adhesividad de los tallarines resulta significativamente menor en el almacenamiento con respecto a la pasta fresca, probablemente por efecto de una deshidratación superficial, independientemente de la temperatura de almacenamiento. Aunque no hay cambios en el contenido de humedad, esta deshidratación superficial puede deberse a la redistribución del agua en la pasta.

Se observó una importante disminución de la fuerza máxima de corte de las cintas que conforman el plato preparado lasagna, la cual podría correlacionarse directamente con la firmeza de la pasta. Esta disminución fue mayor a la temperatura más alta de almacenamiento. Esta pérdida de firmeza durante el almacenamiento de las cintas tiene explicación directa en el aumento del contenido de humedad.

Las características viscoelásticas de las pastas estudiadas pudieron determinarse mediante modelos simples como es el de Maxwell Generalizado y el de Peleg. En el caso del segundo modelo, resultó poco sensible para detectar cambios durante el almacenamiento refrigerado de las pastas tipo tallarines.

Los ensayos reológicos de baja deformación siguieron la misma tendencia que los observados en el análisis de textura y en los ensayos de relajación para ambos tipos de pastas.

A partir de los ensayos microbiológicos se pudo predecir la vida útil, en días, de los platos preparados en base a pastas estudiados en este trabajo de tesis.

Los consumidores encontraron diferencias en las pastas tipo tallarines almacenadas a menores temperaturas en la consistencia y en el sabor para los últimos días del almacenamiento. Estas diferencias influirán en la aceptabilidad global del alimento estudiado.

Con respecto al atributo apariencia, no presentó diferencias significativas para las temperaturas de almacenamiento y tiempos ensayados en las pastas tipo tallarines. Podemos decir entonces que las diferencias halladas con las medidas instrumentales no son detectadas por el consumidor o no son relevantes.

Se pudo observar una disminución en la aceptabilidad de las pastas rellenas con el aumento de los días de almacenamiento con respecto a los atributos consistencia y sabor para las tres temperaturas analizadas. Dicha disminución se ve reflejada en la aceptabilidad global del producto por parte de los consumidores.

Con respecto a la apariencia, no se encontraron diferencias significativas entre la pasta fresca y las almacenadas a las distintas temperaturas.

Según los resultados de los ensayos sensoriales obtenidos podemos inferir que la consistencia, directamente relacionada con la textura de las pastas, será el parámetro crítico a tener en cuenta en la aceptabilidad de este tipo de comida preparada refrigerada.

Según los ensayos de vida útil sensorial, se pudo determinar el período de validez para el consumo del alimento en función del porcentaje de rechazo predefinido. Este valor máximo siempre estará supeditado, independientemente de la temperatura de almacenamiento y del tipo de pastas (con o sin relleno), a la vida útil definida por los parámetros microbiológicos.

Por último, se determinó el modelo matemático de pérdida de calidad instrumental y sensorial que mejor ajusta los resultados experimentales. Este modelo correspondió a una cinética de primer orden para ambos tipos de pastas exceptuando para el caso de aceptabilidad de pastas rellenas en la que se pudo correlacionar siguiendo una cinética de orden cero.

Capítulo III

Congelación

En este capítulo se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de congelación descritos en el inciso 1.5. Además se analiza el efecto de la congelación propiamente dicha en los distintos parámetros de calidad estudiados en este trabajo de tesis.

3.1. Ensayos de congelación

Las figuras 3.1 y 3.2 muestran las historias térmicas de la congelación para las pastas tipo tallarines y tipo lasagna respectivamente.

Los valores de tiempos de congelación y las velocidades calculadas como se detalla en 1.4.1 se presentan en la tabla 3.1.

La temperatura inicial de congelación, T_1 , se obtiene a partir de las respectivas historias térmicas, como el valor para el cual la curva cambia de pendiente (Rahman y col., 2002). Dicha temperatura es de -1.2 °C ($SD=0.12$) para las pastas tipo tallarines y de -0.97 °C ($SD=0.13$) para la pasta rellena. La diferencia en la temperatura de congelación determinada puede atribuirse al mayor contenido de humedad de la pasta rellena.

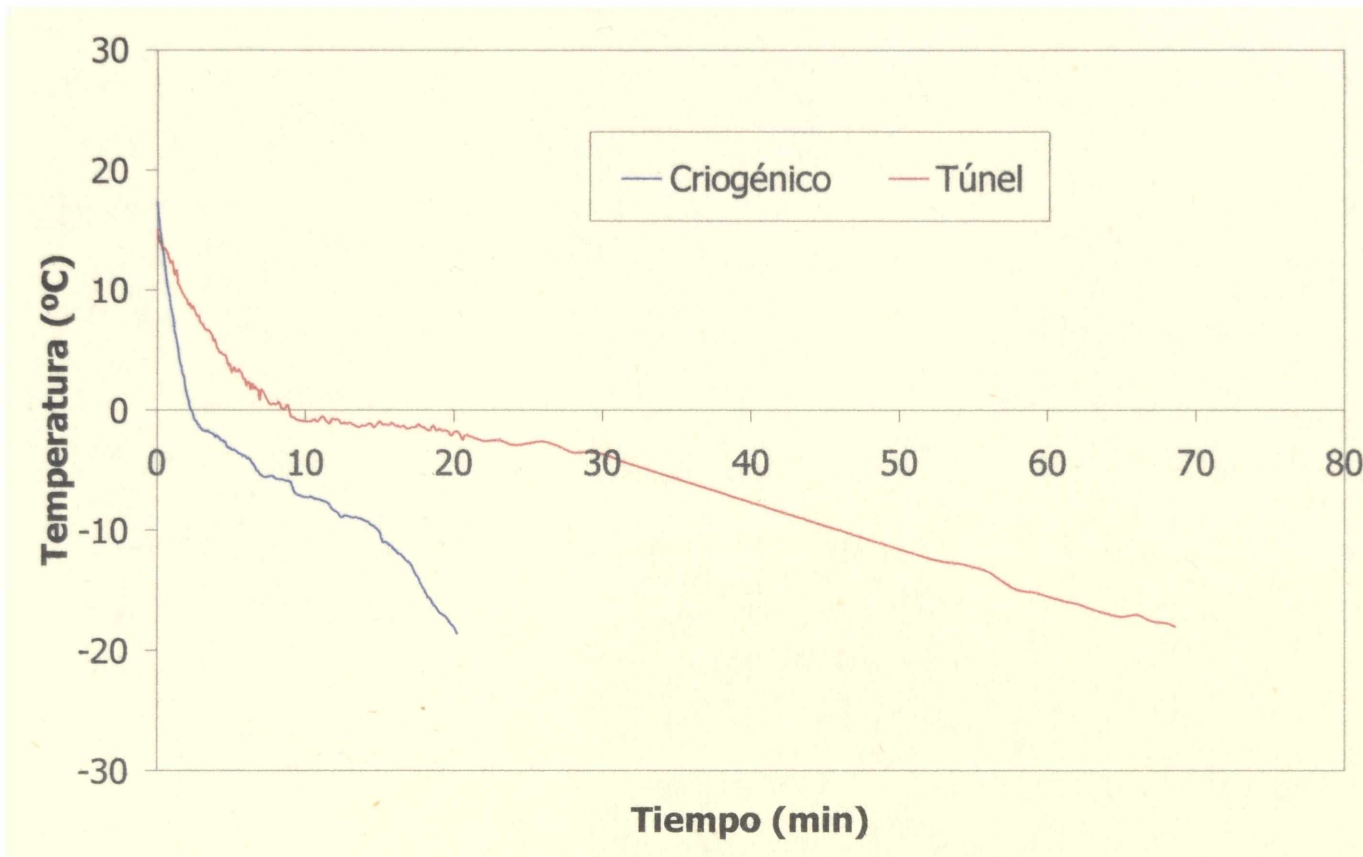


Figura 3.1. Historias térmicas de la congelación de cintas de pastas tipo tallarines.

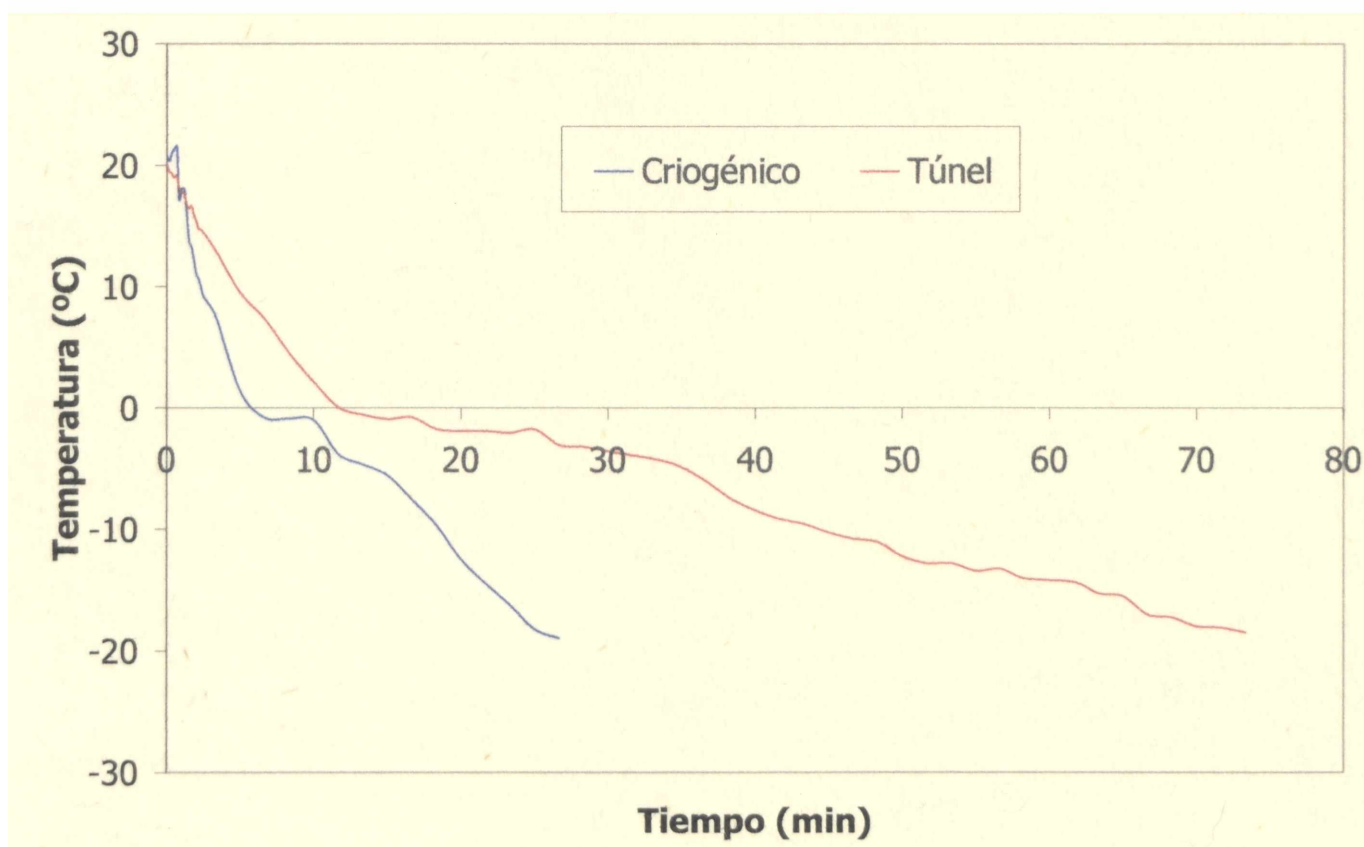


Figura 3.2. Historias térmicas de la congelación de cintas de pastas tipo lasagna.

Tabla 3.1. Velocidades y tiempos de congelación de las pastas ensayadas.

	Criogénico		Túnel	
	Velocidad (°C min ⁻¹)	Tiempo (min)	Velocidad (°C min ⁻¹)	Tiempo (min)
Tallarines	0.98	18.0	0.32	68.1
Lasagna	0.95	23.3	0.34	70.0

Al comparar ambos métodos de congelación se puede ver que el proceso en el gabinete criogénico es tres veces más rápido que en el túnel de aire forzado, diferencia que se pone en evidencia para los dos tipos de pastas ensayados. Por otro lado, las velocidades de congelación alcanzadas con el congelador criogénico son representativas de velocidades rápidas de congelación (mayores a 0.83 °C/min), en cambio, en el caso de las velocidades de congelación obtenidas en el túnel resultaron relativamente bajas respecto a velocidades comerciales de congelación, las cuales comprenden valores en el rango de 0.20 a 0.83 °C/min (Brown, 1991).

Según la mayoría de los autores, la calidad de un alimento congelado se relaciona directamente con el tamaño de los cristales de hielo. En teoría, una alta velocidad de congelación dará lugar a un producto de mejor calidad, debido a la formación de pequeños cristales de hielo intracelulares que ocasionan un mínimo daño a la estructura celular, en contraste durante la congelación lenta se forman cristales grandes, intercelulares, que modifican apreciablemente la estructura inicial (Spiess, 1980; Löndahl y col., 1995). Generalmente esta ventaja inicial obtenida por la congelación rápida se pierde durante el almacenamiento debido a la recrystalización.

Algunos autores, sin embargo, mencionan que hay productos cuya calidad no se ve influenciada por la velocidad de congelación, en este sentido Poulsen (1977) clasificó los alimentos en cuatro grupos, de acuerdo a la sensibilidad que presentan a la velocidad de congelación:

Grupo 1: Productos que no son afectados prácticamente por la velocidad de congelación.

Grupo 2: Productos que requieren un mínimo de velocidad de congelación (0.5 a 1 °C/min), mayores velocidades de congelación no afectan la calidad.

Grupo 3: Productos cuya calidad mejora con altas velocidades de congelación (3 a 6°C/min).

Grupo 4: Productos sensibles a altas velocidades de congelación. Este tipo de producto tiende a agrietarse o quebrarse con velocidades de congelación altas.

Según Spiess (1988), los productos en base a harinas están incluidos en el grupo 2. En este contexto, se podría esperar que los distintos atributos de calidad de las pastas congeladas, con y sin relleno, no sean afectados por la congelación criogénica. En cambio, es esperable alguna evidencia de la baja velocidad de congelación en las pastas procesadas en túnel, que alcanzó valores menores a 0.5 °C/min.

3.2. Parámetros de calidad

3.2.1. Humedad

Los contenidos de humedad (%) de las pastas tipo tallarines y de las cintas que conforman el plato preparado lasagna para las condiciones fresca, congeladas en gabinete criogénico y congelada en túnel de aire forzado se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Contenido de humedad de las pastas cocida fresca y congelada

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Humedad	S.D.	Humedad	S.D.	Humedad	S.D.
Tallarines	63.34 ^a	0.72	62.91 ^a	0.56	61.35 ^b	0.45
Lasagna	65.47 ^a	0.89	67.31 ^b	0.48	69.93 ^c	0.50

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha = 0.05$).

Tallarines

Al evaluar los métodos de congelación ensayados, los valores del contenido de humedad determinados, tabla 3.2, confirman la influencia de la velocidad de

congelación en la calidad del producto: el contenido de agua de las pastas congeladas en el equipo criogénico no presenta diferencia con el valor de la pasta fresca, en cambio, el contenido de agua de las muestras congeladas en la condición de congelación lenta es significativamente más bajo (2.5%) que el valor de la pasta fresca, esta pérdida de peso es probablemente debida al daño estructural de las pastas que ocasiona la pérdida de humedad cuando se descongela el producto (Löndahl y col., 1995; Redmond y col., 2005).

Lasagna

En este caso, como se mencionó previamente, estamos trabajando con un sistema multicomponente. Según Labuza y Hyman (1998) este tipo de sistema es dinámico, es decir presenta aumento o disminución del contenido de humedad desde una región o componente del alimento a otra región, esta migración de agua dentro del alimento ocurrirá continuamente hasta alcanzar el equilibrio. En nuestro sistema el producto presenta un contenido de humedad significativamente mayor en ambas condiciones de congelación.

Estos resultados coinciden con los hallados por De Koch y col. (1995), quienes compararon la congelación rápida de alimentos con alto contenido de almidón, chips de papa y pizzas, con respecto al congelado en forma lenta, y llegaron a la conclusión que la calidad del producto congelado rápido era levemente superior con respecto al congelado a bajas velocidades.

3.2.2. Color superficial

En la tabla 3.3 se presentan los resultados obtenidos a partir de determinar instrumentalmente el color superficial de las pastas frescas y congeladas.

Tallarines

En el caso de las pastas tipo tallarines se puede inferir que sólo el parámetro luminosidad fue afectado por la congelación, presentando un leve incremento para el caso de velocidades lentas de congelación. Este valor podría correlacionarse con la deshidratación que experimenta este tipo de pasta a bajas velocidades de congelación (tabla 3.2). Igualmente, teniendo en cuenta el valor calculado para la variación de color total que experimenta la pasta cuando es congelada a bajas velocidades con respecto a la pasta cocida sin congelar podemos concluir que según Francis y

Clydesdale (1975) las diferencias de color encontradas no son apreciables por el ojo humano.

Lasagna

En forma similar a lo obtenido en las pastas refrigeradas, podemos ver que el parámetro más sensible en la determinación de color es la luminosidad. Las cintas que conforman el plato preparado lasagna se ven más oscuras como resultado del proceso de congelación de dicho plato preparado, independientemente de la velocidad a que se realice. Esta disminución de L^* puede explicarse por la migración de jugos del relleno y salsa que oscurecen las cintas de pasta, tal como se observa en la pasta almacenada refrigerada (inciso 2.2).

Tabla 3.3. Parámetros de color para las pastas frescas y congeladas

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Tallarines	Lasagna	Tallarines	Lasagna	Tallarines	Lasagna
L	61.18 ^a	62.00 ^a	60.59 ^a	59.48 ^b	62.77 ^b	58.22 ^b
a	4.50 ^a	4.41 ^a	4.22 ^a	4.63 ^a	4.37 ^a	4.44 ^a
b	21.21 ^a	20.35 ^a	20.89 ^a	19.86 ^a	21.48 ^a	19.69 ^a
ΔE	--	--	0.38	2.52	1.6	3.94

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha = 0.05$).

3.2.3. Textura

3.2.3.1. Ensayo de cizalla

Los resultados obtenidos a partir del ensayo de esfuerzo de corte para las pastas frescas y congeladas se presentan en la tabla 3.4. En este caso, se incluyen además los valores de la energía puesta en juego (Ns) para cortar las cintas de pastas.

Tallarines

No se encuentran diferencias significativas entre la firmeza, evaluada como fuerza máxima de corte, de las pastas congeladas a altas velocidades y la correspondiente pasta cocida fresca. En cambio, la pasta congelada en túnel de aire forzado resulta menos firme.

Lasagna

Para las cintas de pastas de lasagna congeladas se observa una disminución de la fuerza máxima de corte, en ambas condiciones de congelación. Al comparar los resultados obtenidos, se observa que la velocidad de congelación menor afecta en mayor medida la textura del producto.

La energía puesta en juego para cortar las pastas, tallarines y cintas de lasagna, sigue la misma tendencia que la firmeza. Por lo tanto la incorporación de este parámetro, como era de esperarse, sólo reafirma lo obtenido con las medidas de fuerza máxima.

La disminución en la fuerza máxima de corte y en la energía puesta en juego para cortar la pasta da indicio del daño estructural debido a la formación de cristales de hielo durante la congelación.

Tabla 3.4. Resultados del ensayo de cizalla.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Fuerza (N)	Energía (Ns)	Fuerza (N)	Energía (Ns)	Fuerza (N)	Energía (Ns)
Tallarines	1.92 ^a	14.79 ^a	1.80 ^a	13.22 ^a	1.53 ^b	10.70 ^b
Lasagna	2.39 ^a	18.04 ^a	2.09 ^b	16.08 ^a	1.61 ^c	12.07 ^b

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha = 0.05$).

3.2.3.2. Análisis de perfil de textura (TPA)

En la figura 3.3 se muestra un gráfico típico del análisis de perfil de textura para las pastas cocidas sin congelar y congeladas por ambos métodos.

A partir de las áreas y fuerzas máximas registradas se calculan los parámetros de textura que se presentan en las tablas 3.5 y 3.6 para tallarines y pastas rellenas respectivamente.

Tallarines

Cuando comparamos los valores de los parámetros obtenidos a partir del ensayo de perfil de textura para las pastas congeladas por el método rápido (criogénico) con los correspondientes a la pasta cocida sin congelar se puede observar, Tabla 3.5, que sólo la adhesividad presenta diferencias significativas, resultando menor el valor del producto congelado. Nuevamente, estos resultados confirman que la congelación rápida no modifica en general la textura de las pastas sin relleno.

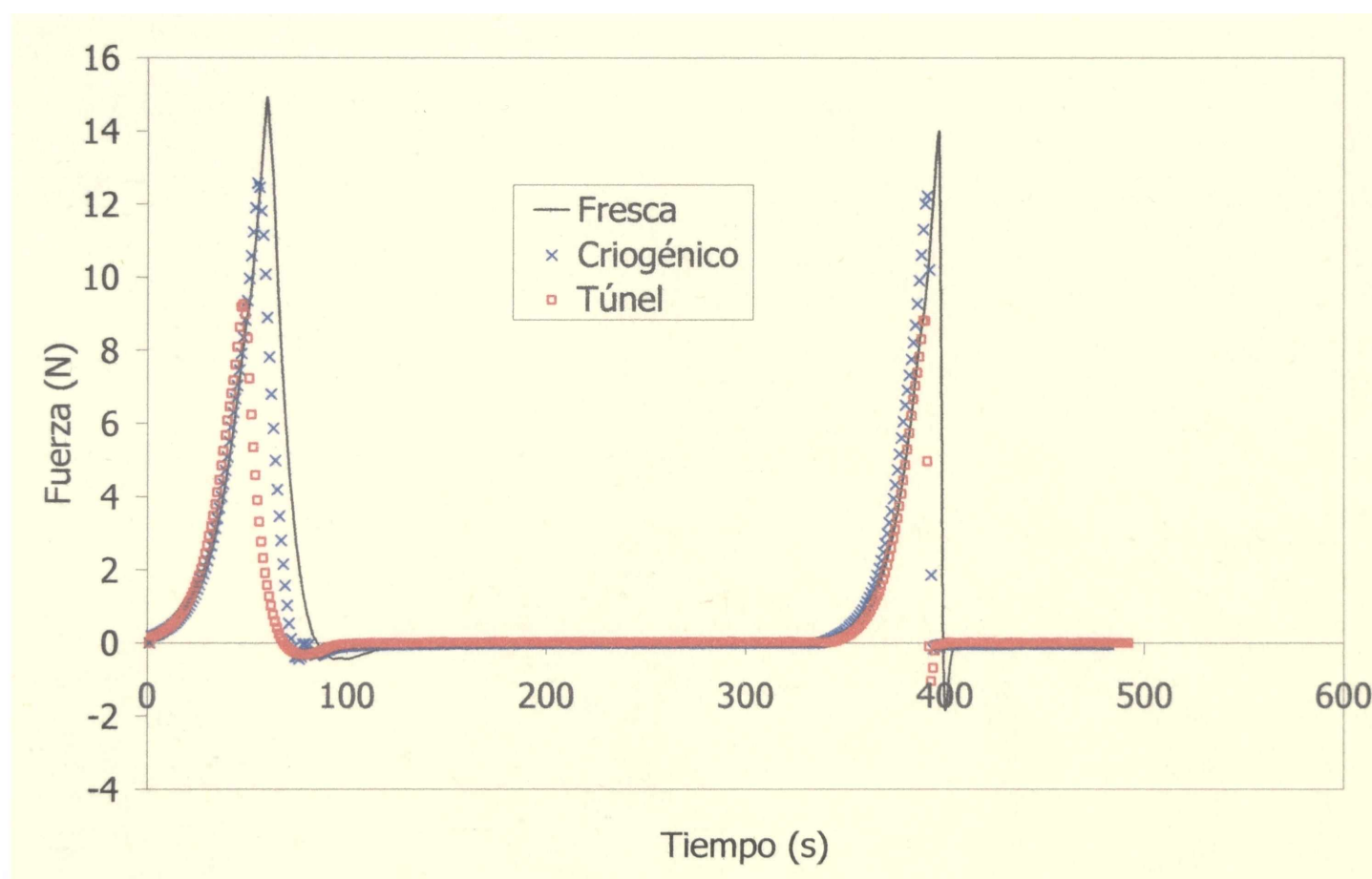


Figura 3.3. Curvas de TPA para pasta cocida, congelada en gabinete criogénico y en túnel de aire.

Por otro lado, cuando la congelación transcurre a velocidades demasiado bajas (Túnel), el producto resulta más blando, menos consistente y, como se ha mencionado anteriormente, en consecuencia con una menor masticabilidad que las pastas cocidas sin congelar. Estos resultados están confirmando nuevamente la presencia de un daño estructural. La elasticidad no presenta cambios significativos con la congelación, independientemente de la velocidad a la cual se realice el proceso. Por último, en el

caso del parámetro adhesividad encontramos que el mismo resulta similar para ambos métodos de congelación, esto podría estar relacionado con una posible deshidratación superficial, la cual sólo se hizo evidente en las medidas de contenido de humedad de la pasta congelada en túnel de aire forzado.

Tabla 3.5. Resultados del ensayo TPA para pastas tipo tallarines frescas y congeladas.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.
Dureza (N)	14.42 ^a	0.82	13.15 ^a	0.47	9.70 ^b	0.47
Adhesividad (Ns)	-0.99 ^a	0.23	-0.41 ^b	0.11	-0.50 ^b	0.11
Cohesividad	0.69 ^a	0.06	0.71 ^a	0.08	0.60 ^b	0.06
Consistencia (Ns)	11.99 ^a	1.15	10.82 ^a	1.13	7.05 ^b	1.43
Elasticidad	0.55 ^a	0.05	0.50 ^a	0.03	0.52 ^a	0.04
Masticabilidad (N)	4.77 ^a	0.23	4.94 ^a	0.20	3.02 ^b	0.20

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha = 0.05$).

Lasagna

En la tabla 3.6 se presentan los valores para los distintos parámetros del ensayo de perfil de textura realizado sobre las cintas de pastas que conforman el plato preparado lasagna cocida, congelada lenta y congelada rápido.

La congelación produce una disminución en la dureza, consistencia y por lo tanto en la masticabilidad de las cintas de lasagna. Esta disminución es más importante en las pastas que son sometidas a velocidades de congelación menor. Las diferencias encontradas confirman el daño estructural producido debido a la formación de cristales de distintos tamaños dependiendo de la velocidad con la que se produce la congelación.

En cuanto a los valores de los parámetros cohesividad y elasticidad no presentan diferencias significativas para ambos procesos de congelación y con respecto al producto sin congelar.

Por último, las cintas de pastas congeladas resultan significativamente más adhesivas que la pasta cocida fresca.

Tabla 3.6. Resultados del ensayo TPA para las cintas de lasagna frescas y congeladas rápido y lento.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.
Dureza (N)	28.32 ^a	0.82	24.31 ^b	0.47	21.17 ^c	0.47
Adhesividad (Ns)	-0.99 ^a	0.23	-2.21 ^b	0.11	-2.53 ^b	0.11
Cohesividad	0.58 ^a	0.08	0.62 ^a	0.08	0.66 ^a	0.07
Consistencia (Ns)	25.46 ^a	1.15	22.18 ^b	1.13	18.87 ^c	1.43
Elasticidad	0.60 ^a	0.05	0.62 ^a	0.05	0.64 ^a	0.05
Masticabilidad	8.57 ^a	0.37	8.84 ^a	0.26	8.02 ^b	0.28

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha = 0.05$).

3.2.4. Reología

3.2.4.1. Ensayo de relajación

La figura 3.4 muestra la evolución de $F(t)/F_0$ en función del tiempo, obtenida a partir del ensayo de relajación, para la pastas tipo tallarines cocidas y cocidas y congeladas por ambos métodos ensayados en el presente trabajo de tesis.

Modelo de Maxwell Generalizado: Los resultados de los ensayos de relajación se ajustaron con el modelo de Maxwell Generalizado considerando un elemento simple y dos elementos de Maxwell. La figura 3.4 incluye, a modo de ejemplo, la curva calculada a partir de este modelo.

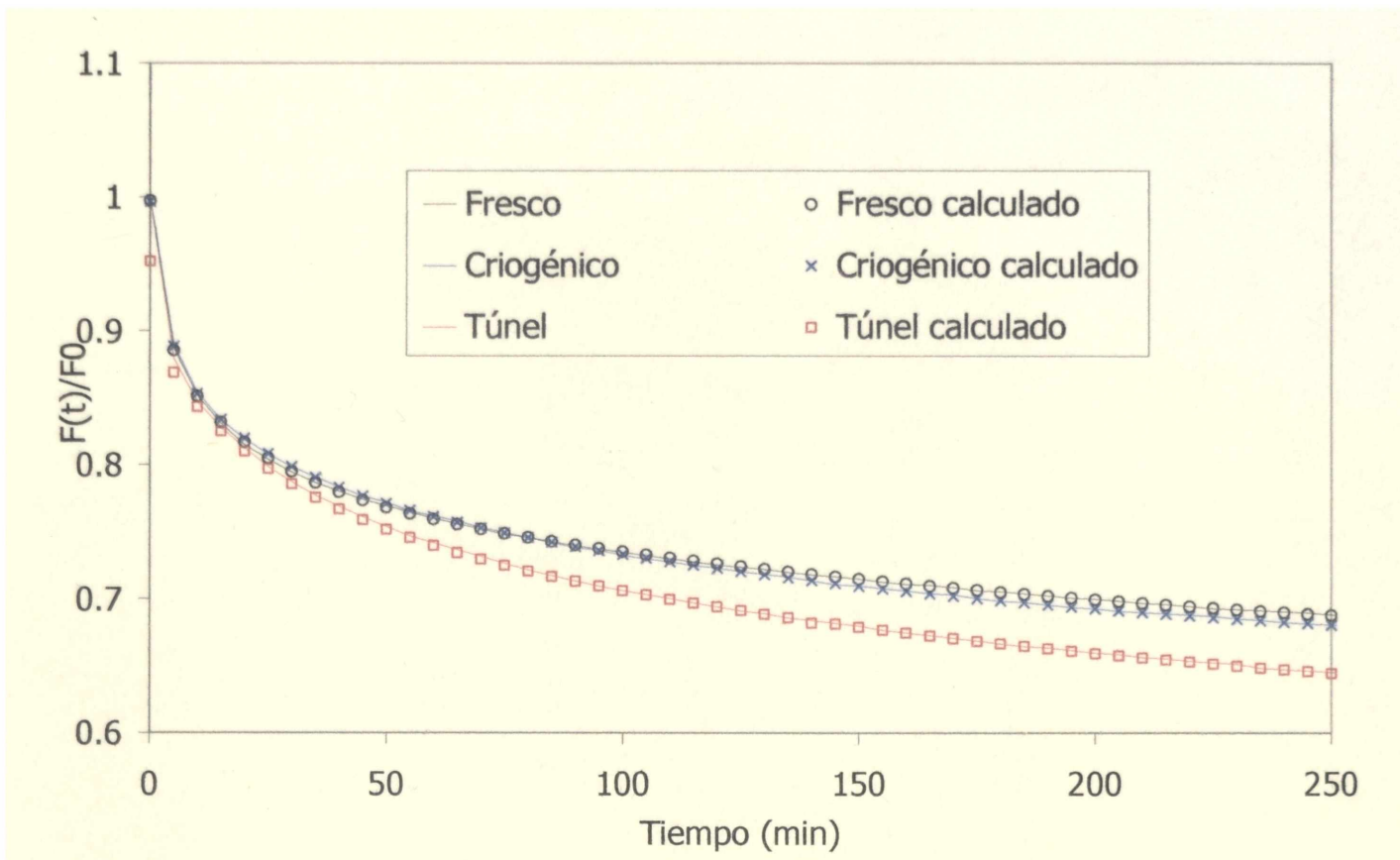


Figura 3.4. Evolución de $F(t)/F_0$ en función del tiempo de relajación para las pastas tipo tallarines cocidas y congeladas.

Tallarines

En la tabla 3.7 se presentan los valores correspondientes a los parámetros del modelo de Maxwell generalizado para pastas tipo tallarines frescos y congelados. Al realizar el análisis de estos resultados no se observan diferencias significativas entre los módulos elásticos, E_i , de las pastas cocidas y las pastas cocidas y congeladas a ambas velocidades de congelación. Sin embargo, los tiempos de relajación τ_i de la muestra congelada en túnel resultan considerablemente más bajo que el de las otras dos muestras. Esta disminución sería un indicio de una pérdida de elasticidad de la pasta congelada mediante el método más lento.

Lasagna

En la tabla 3.8 se presentan los valores de los parámetros del modelo de Maxwell generalizado para cintas de lasagna fresca y congeladas.

Al analizar los distintos parámetros del modelo sólo se encuentran diferencias significativas para el módulo de elasticidad E_1 , para ambos métodos de congelación, el cual resulta menor para el caso de las pastas congeladas en túnel, diferencia que, nuevamente, podría atribuirse a la pérdida de elasticidad ocasionada por la congelación.

Tabla 3.7. Parámetros del modelo de Maxwell generalizado para pastas tipo tallarines fresca y congeladas.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.
F_0 (N)	12.7 ^a	0.920	10.61 ^a	1.06	9.87 ^a	1.233
E_1 (kPa)	16.61 ^a	2.33	14.29 ^a	1.59	15.35 ^a	1.56
τ_1	105.19 ^a	12.41	117.41 ^a	13.57	83.75 ^a	11.02
E_2 (kPa)	24.87 ^a	4.76	18.74 ^a	2.9	19.33 ^a	4.8
τ_2	8.87 ^a	0.87	8.99 ^a	0.75	8.19 ^b	0.67
r^2	0.991		0.995		0.994	

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha= 0.05$).

Tabla 3.8. Parámetros del modelo de Maxwell generalizado para cintas de lasagna fresca y congeladas.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.
F_0 (N)	16.7 ^a	1.57	13.88 ^a	1.80	12.42 ^a	1.46
E_1 (kPa)	5.07 ^a	0.41	3.72 ^b	0.52	2.83 ^c	0.37
τ_1	156.22 ^a	27.15	143.05 ^a	18.11	142.61 ^a	19.00
E_2 (kPa)	4.02 ^a	0.53	3.51 ^b	0.30	3.79 ^c	0.56
τ_2	8.68 ^a	1.40	9.45 ^a	1.52	8.06 ^a	0.71
r^2	0.992		0.993		0.994	

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha= 0.05$).

Modelo de Peleg: Análogamente al análisis efectuado en el estudio del almacenamiento refrigerado, los resultados de los ensayos de relajación se regresionaron mediante la aplicación del modelo de Peleg (ecuación 1.14). Los parámetros obtenidos se presentan en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Parámetros de la ecuación de Peleg para las pastas frescas y congeladas.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	k_1	k_2	k_1	k_2	k_1	k_2
Tallarines	2.58 ^a	51.06 ^a	2.40 ^a	64.20 ^a	2.58 ^a	64.52 ^a
Lasagna	3.08 ^a	81.40 ^a	2.80 ^a	95.34 ^a	2.68 ^a	88.40 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha= 0.05$).

Según los parámetros de Peleg, k_1 y k_2 , no hay diferencias significativas en las características viscoelásticas de las pastas frescas, con y sin relleno, y las congeladas, independientemente de la velocidad de congelación. Por lo tanto, la aplicación de este modelo no permite detectar las variaciones en el comportamiento reológico que presentan las pastas cuando son congeladas, que, aunque leves, fueron cuantificadas por el ajuste según el modelo de Maxwell generalizado.

3.2.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos

Los resultados de los ensayos dinámicos se expresan en término del módulo elástico, G' , y el módulo viscoso, G'' . En la figura 3.5 se muestran estos parámetros en función de la frecuencia para las pastas congeladas. Del análisis de esta curva se puede resaltar que G' es mayor que G'' , en todo el rango de frecuencias estudiados, siendo indicio esto de un claro comportamiento de semisólido de las pastas cocidas y congeladas (Giborau y col., 1994).

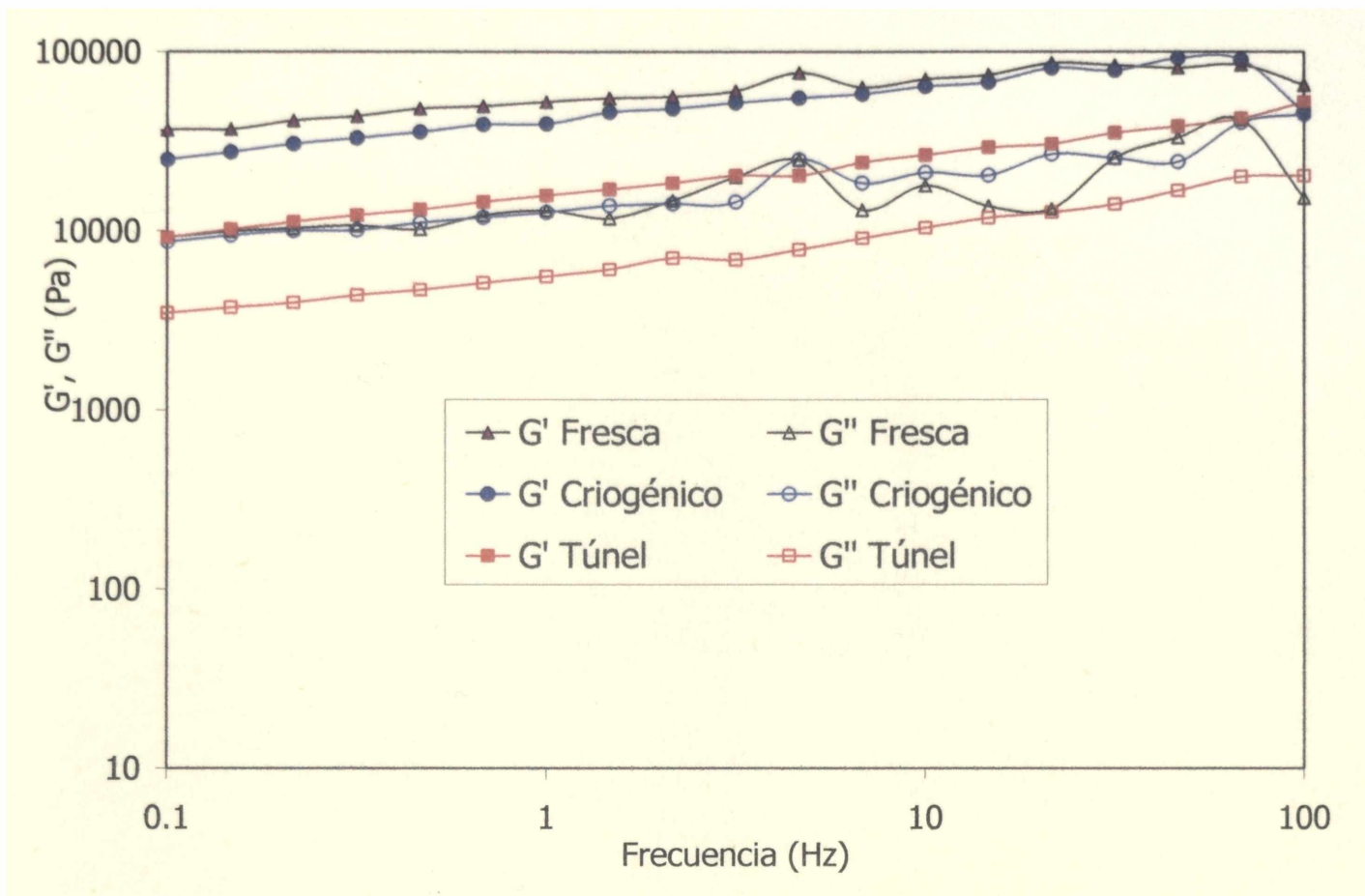


Figura 3.5. Barrido de frecuencia, 20°C, para pasta tipo tallarines frescos y congelados.

En las tablas 3.10 y 3.11 se presentan los valores de G' , G'' , y $\tan \delta$ para una frecuencia de 1Hz, para las pastas tipo tallarines y las cintas que conforman la lasagna respectivamente. Los módulos elástico, G' , y viscoso, G'' , para las pastas congeladas son significativamente menores que los respectivos valores para la pasta cocida sin congelar. Este comportamiento podría ser debido a un debilitamiento de la red producida por el proceso de la congelación/descongelación, el cual es más evidente para las condiciones de congelación lentas.

Un indicador del balance entre las características sólidas y líquidas de un material viscoelástico es el ángulo de fase, δ , el cual tiene el valor 0° para un sólido elástico ideal, y 90° para un líquido viscoso ideal. Por consiguiente, para $\tan \delta < 1$ ($G'' < G'$) el material presenta un comportamiento más sólido, mientras que para el $\tan \delta > 1$ ($G'' > G'$) se observa un comportamiento más líquido. Los valores de $\tan \delta$ para la pasta cocida son similares a los informados por Ross (2006) para tallarines asiáticos cocidos ($0.15 < \tan \delta < 0.25$).

Tabla 3.10. Parámetros del ensayo oscilatorio dinámico para las pastas tipo tallarines fresca y congelada.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.
G' (kPa)	52.51 ^a	2.15	39.68 ^b	3.37	20.37 ^c	3.09
G'' (kPa)	13.00 ^a	0.82	12.68 ^a	1.16	6.92 ^b	1.44
tan δ	0.25 ^a	0.02	0.32 ^b	0.02	0.33 ^b	0.02

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha= 0.05$).

Tabla 3.11. Parámetros del ensayo oscilatorio dinámico para las cintas de lasagna fresca y congelada.

	Fresca		Criogénico		Túnel	
	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.	Promedio	S.D.
G' (kPa)	62.31 ^a	3.64	43.56 ^b	2.16	24.27 ^c	2.18
G'' (kPa)	19.88 ^a	0.79	17.21 ^a	1.08	10.97 ^b	0.98
tan δ	0.30 ^a	0.03	0.39 ^b	0.04	0.45 ^b	0.06

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre columnas ($\alpha= 0.05$).

El incremento en los valores de la tangente del ángulo de desfase para las pastas congeladas para ambas condiciones de congelación indica que la congelación provoca una pérdida de las características de sólido del producto. En el mismo sentido, Ribotta y col. (2004) observaron una reducción en la firmeza y la elasticidad de masas causada por la congelación y el almacenamiento congelado.

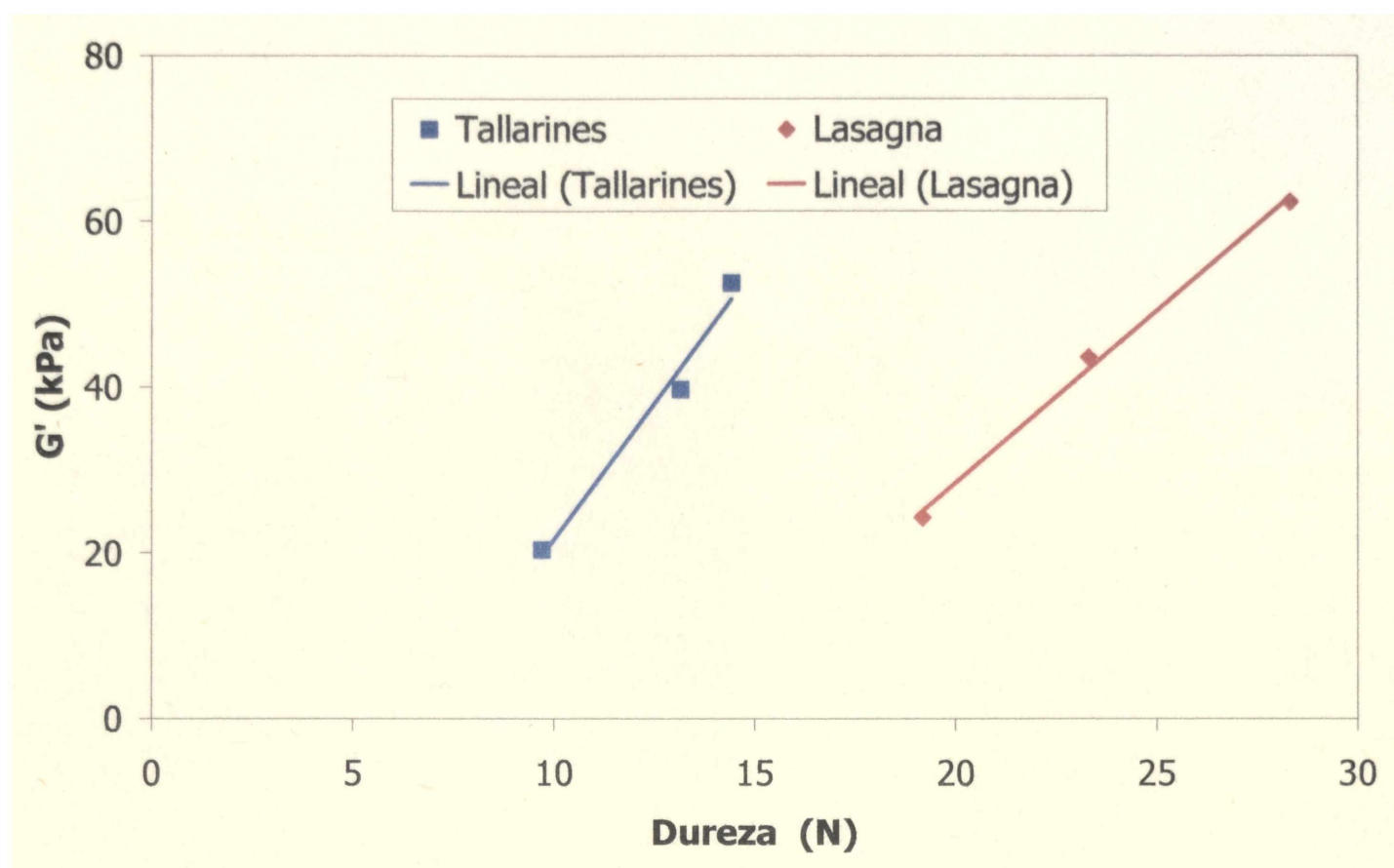


Figura 3.6. Curvas de correlación entre G' y la dureza (TPA) para ambos tipos de pastas ensayadas.

Cabe remarcar que los resultados obtenidos por las pruebas oscilatorias dinámicas (pequeñas deformaciones) se pueden correlacionar con los resultados del análisis de TPA (grandes deformaciones) (Angioloni y col., 2008), con un muy buen ajuste. Por ejemplo, se encontró una relación lineal entre el módulo G' de los tallarines (tabla 3.9) y la dureza (tabla 3.4), con $r^2=0.97$. En el caso de las cintas de lasagna dicha correlación presenta un $r^2=0.99$. Estos resultados se presentan en la figura 3.6.

3.2.5. Análisis microbiológicos

Al realizar el análisis microbiológico de las pastas con y sin relleno, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras frescas y las congeladas a las distintas velocidades. Para todos los casos los recuentos de mesófilos totales y de hongos y levaduras resultaron del orden de 10^2 UFC/g, lo cual asegura un producto estable desde el punto de vista de deterioro microbiológico.

Estos resultados son los esperables debido a que la congelación es el uno de los métodos de preservación más inhibitorio del crecimiento microbiano. Este proceso de por sí no aumenta la carga microbiana, sino que podría tener influencia en el posterior

descongelamiento en algunos casos y dependiendo de las condiciones en que este proceso se realice (Golden y Arroyo-Gallyoun, 1997).

3.2.6. Evaluación sensorial

Los resultados del estudio de aceptabilidad sensorial para las pastas tipo tallarines y las cintas de lasagna se muestran en las figuras 3.7 y 3.8 respectivamente. Los valores en estas figuras indican el porcentaje de la aceptabilidad para los atributos: apariencia, consistencia, sabor y aceptabilidad general, medidos directamente de las marcas realizadas por los evaluadores sobre la escala hedónica usada en la evaluación (figura 1.14).

Tallarines

Los resultados del ensayo sensorial de tallarines muestran que las pastas congeladas en túnel de aire forzado (lento) tienen valores más bajos de aceptabilidad en cuanto al sabor y a la consistencia, los cuales afectan negativamente a la aceptabilidad general.

Las diferencias en consistencia y sabor pueden atribuirse a las diferencias en la textura evidenciados en los distintos ensayos realizados en el presente trabajo y en la variación del contenido de humedad de las pastas.

Lasagna

En el caso en que se evaluó sensorialmente la pasta rellena, los consumidores encontraron menos aceptables la consistencia, el sabor y la aceptabilidad global de las cintas de pastas congeladas por ambos métodos.

Los consumidores no encontraron diferencias significativas en cuanto a la aceptabilidad de la apariencia de las pastas con y sin relleno.

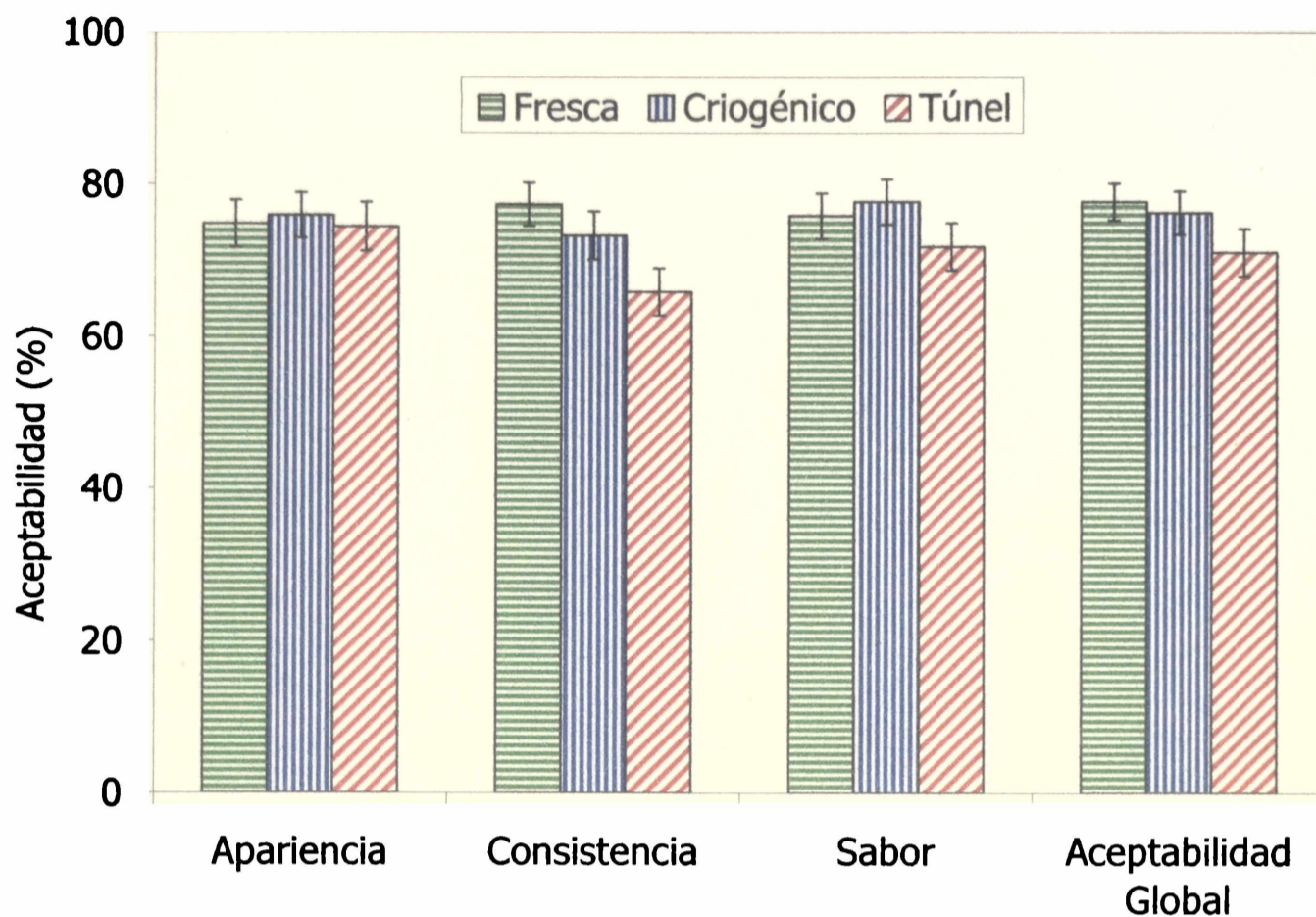


Figura 3.7. Resultados de la evaluación sensorial de tallarines congelados.

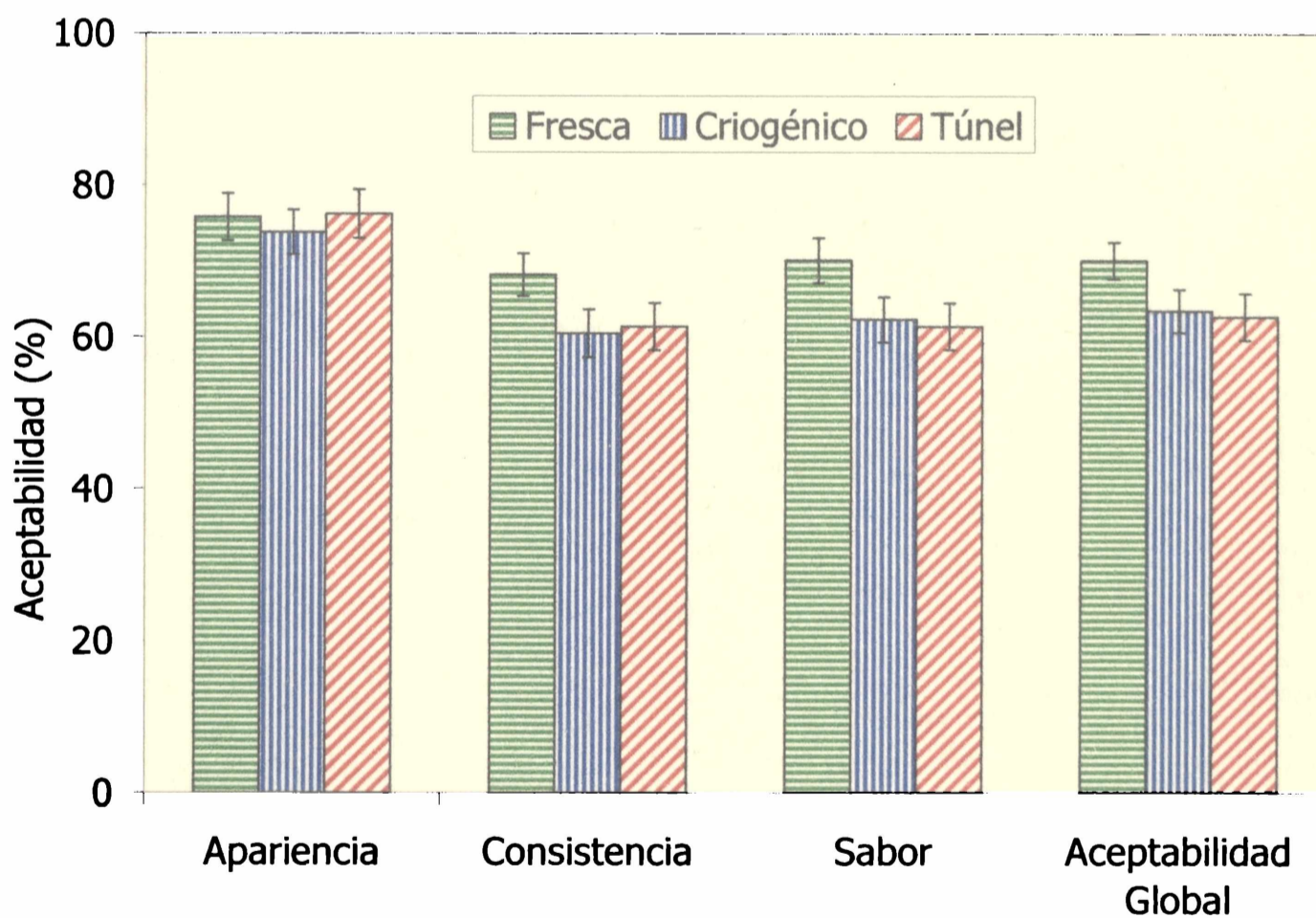


Figura 3.8. Resultados de la evaluación sensorial de lasagna congelada.

Como lo mencionáramos anteriormente, los valores de aceptabilidad de las pastas pueden atribuirse a las variaciones de textura que experimentan las pastas durante la congelación y esto lo confirman los valores de r^2 encontrados al correlacionar la dureza, derivada del ensayo de TPA, tablas 3.5 y 3.6, y G' versus la aceptabilidad global para ambos tipos de pastas ensayados, dichos valores resultaron en todos los casos mayores a 0.83.

3.3. Conclusiones

Las experiencias de congelación confirman que el empleo del gabinete criogénico es una herramienta eficaz para obtener altas velocidades de congelación. Por el contrario, las velocidades de congelación en túneles de congelación dependen de la velocidad del aire. Así, los valores de baja velocidad, tales como los obtenidos en nuestro túnel ($v=0.3\text{m/s}$), producirán bajas velocidades de congelación.

Los análisis de textura y reológicos dan indicio que la velocidad de congelación influye en la calidad de las pastas congeladas. Estos ensayos confirman que la congelación produce daños estructurales en pastas orgánicas cocidas, en este sentido, condiciones de congelación más rápidas producen pastas de una calidad similar a la del producto fresco.

El uso combinado de los estudios reológicos que emplean deformaciones pequeñas y ensayos de grandes deformaciones nos proporciona una completa caracterización viscoelástica de la muestra.

El panel integrado por consumidores habituales de pastas y alimentos integrales, concluye que la congelación lenta afecta la consistencia, el sabor y por lo tanto, como es de esperarse, la aceptabilidad global de los tallarines cocidos.

En el caso en que se evalúa sensorialmente la pasta rellena, los consumidores encontraron menos aceptables en cuanto a consistencia, sabor y a aceptabilidad global las pastas congeladas por ambos métodos.

A pesar de las diferencias encontradas entre las pastas congeladas y sin congelar, las primeras obtuvieron un alto índice de aceptabilidad por parte de los consumidores habituales que conformaron el panel de evaluación sensorial.

Capítulo IV

Almacenamiento congelado

En este capítulo se presentan los resultados correspondientes a los ensayos de almacenamiento congelado. Se analiza el efecto del tiempo de almacenamiento y del método de congelación en los distintos parámetros de calidad estudiados en este trabajo de tesis. Además, se determina la vida útil sensorial y se aplican modelos cinéticos de pérdida de calidad.

4.1. Humedad

El contenido de humedad en función del tiempo de almacenamiento congelado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las pastas tipo tallarines y para las cintas de lasagna se presenta en las figuras 4.1 y 4.2 respectivamente.

Tallarines

El contenido de humedad de las pastas tipo tallarines congeladas presenta una disminución significativa durante los primeros meses de almacenamiento, independientemente del método de congelación, hasta los 4 meses, tiempo a partir del cual dicho parámetro se mantiene constante hasta finalizar el período ensayado. Transcurrido los 12 meses de almacenamiento, la pérdida de peso total fue del 6%. A pesar de que el producto fue almacenado envasado, en bandejas de aluminio, se produce la pérdida de peso por formación de escarcha como lo sugieren Laguerre y Flick (2007), quienes estudiaron el efecto de las fluctuaciones en la temperatura de almacenamiento y de los distintos materiales de envases sobre la pérdida de peso en alimentos almacenados en un *freezer* doméstico.

En general, en un *freezer* operando normalmente, siempre habrá, aunque mínimas, fluctuaciones de temperatura. Dicha variación en la temperatura del almacenamiento congelado (siempre que la temperatura se mantenga por debajo de 0°C) afecta principalmente la calidad sensorial (textura, pérdida de humedad, apariencia general y algunas veces sabor) pero normalmente no modifica su condición de inocuidad. Además, los alimentos congelados se cocinan generalmente luego de descongelar, en esos casos las diferencias de calidad originadas durante el almacenamiento no son percibidas por el consumidor. Probablemente el abuso térmico durante la compra y el transporte al hogar puede afectar mucho más la calidad que el almacenamiento congelado (Mascheroni y Salvadori, 2005).

En cuanto a las velocidades en que el producto fue congelado, sólo en los primeros meses de almacenamiento ensayados se mantiene una leve diferencia, la que desaparece a partir del cuarto mes de almacenamiento. Esto puede ser a causa de la recristalización del hielo durante el almacenamiento (Chevalier y col., 2001). Existe suficiente evidencia que durante el almacenamiento y el transporte de alimentos congelados se producen modificaciones en el tamaño de los cristales de hielo, reduciendo las ventajas obtenidas durante la congelación rápida, alterando su calidad y acortando su vida útil. Este proceso implica el crecimiento de los cristales más grandes a expensas los más pequeños, siendo la energía interfacial la fuerza impulsora del fenómeno (Martino y Zaritzky, 1989).

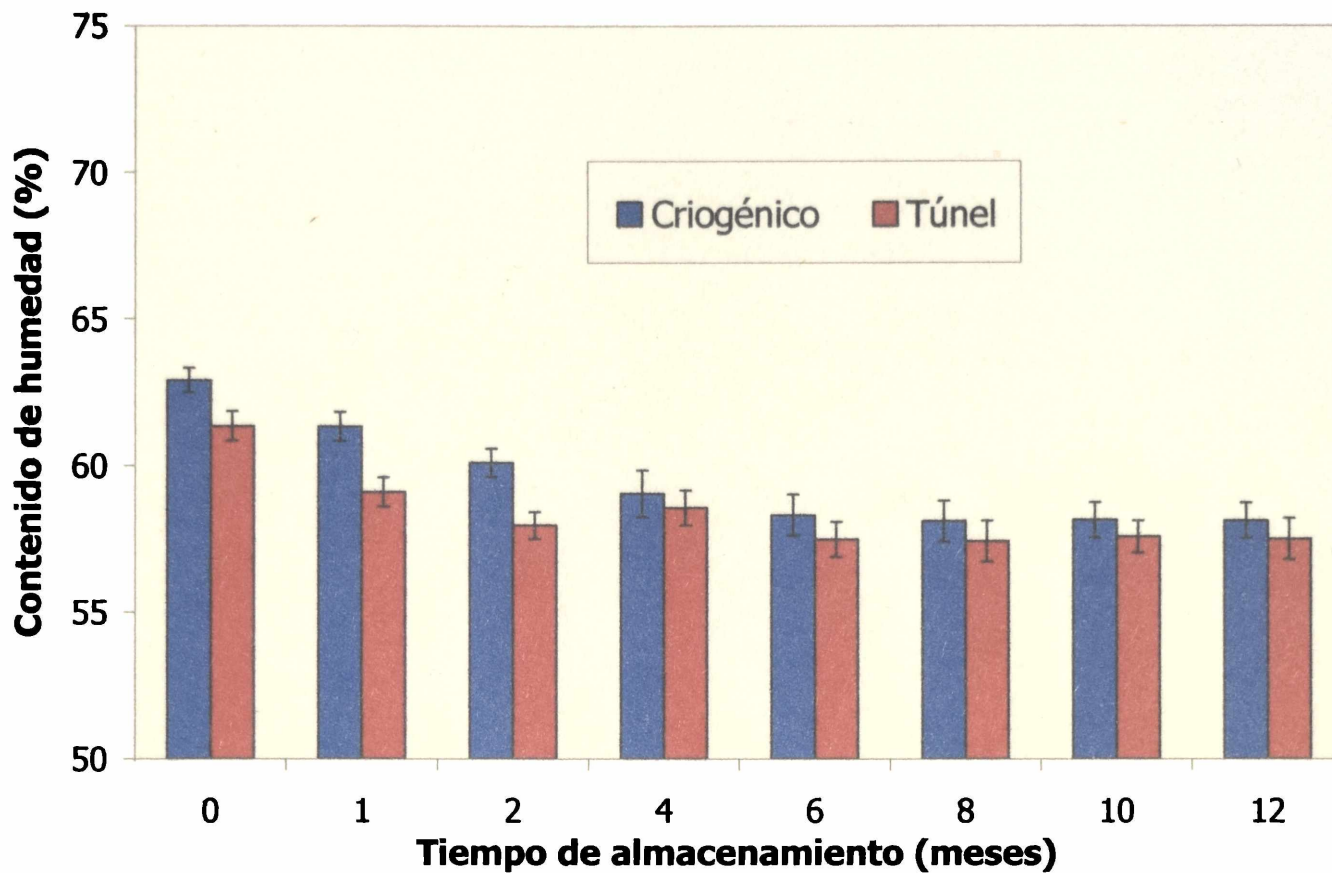


Figura 4.1. Evolución del contenido de humedad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

Lasagna

Como se mencionara en el caso de los ensayos de refrigeración, las características de un plato preparado multicomponente están altamente influenciadas por la movilidad del agua entre diversos componentes (Redmond y col., 2005).

Al evaluar el contenido de humedad de las cintas de pastas que conforman el plato preparado lasagna se observa que dicho parámetro presenta un aumento significativo al inicio del almacenamiento (mes 1), principalmente en el producto congelado en forma criogénica, esto puede ser debido a una mayor fuerza impulsora (menor contenido de humedad de las congeladas en gabinete). Estos resultados indican que el crecimiento cristalino en un sistema heterogéneo elimina rápidamente los beneficios de la congelación rápida.

A partir del primer mes de almacenamiento congelado el contenido de humedad de las pastas se mantiene constante hasta finalizar el período ensayado, independientemente del método de congelación empleado. Por lo tanto las pequeñas diferencias obtenidas por la congelación rápida se pierden durante el almacenamiento congelado. Similar comportamiento informan De Kock y col. (1995) al analizar el efecto de la velocidad de congelación sobre la calidad de pizzas, formuladas con salsa y queso, almacenadas congeladas.

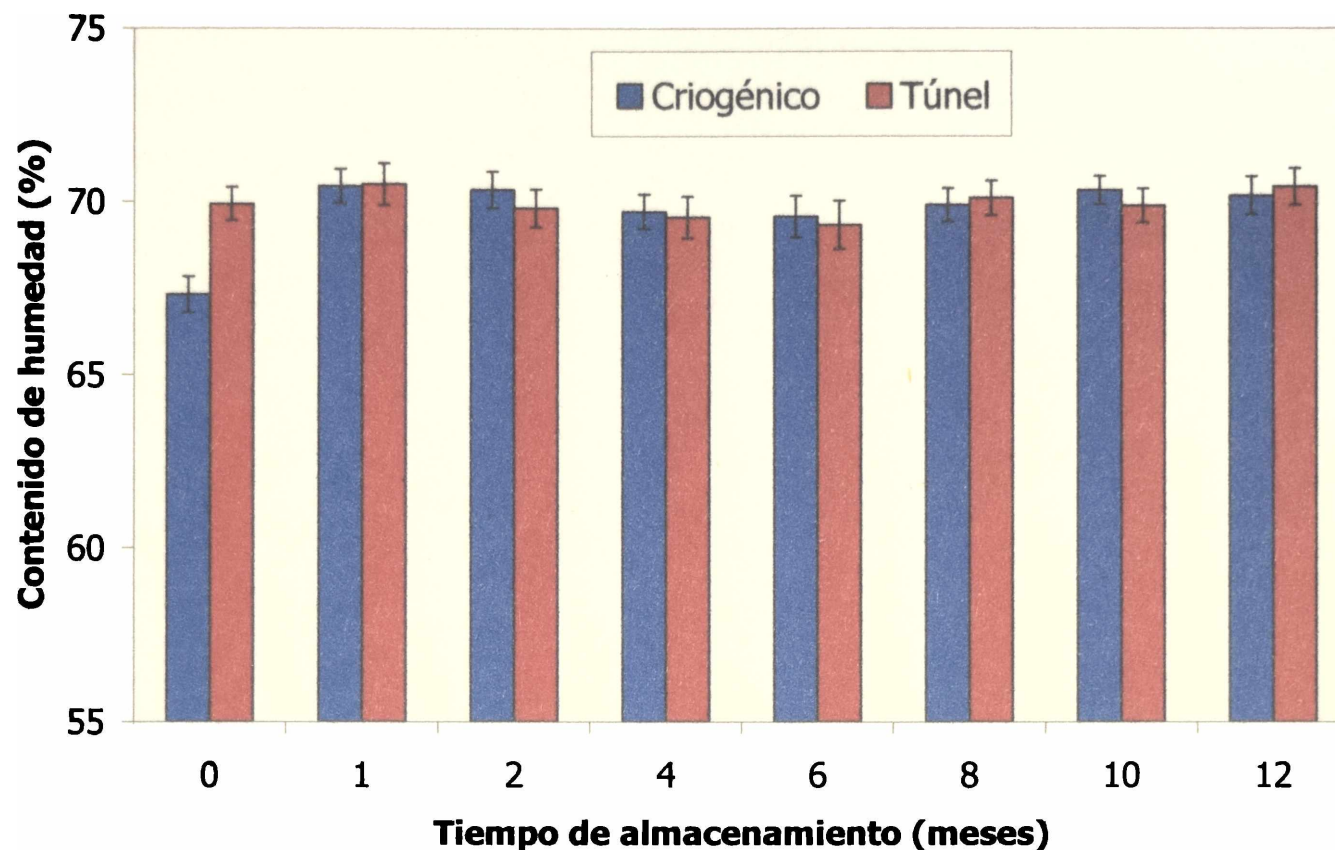


Figura 4.2. Evolución del contenido de humedad de las pastas rellenas durante el almacenamiento congelado.

4.2. Color superficial

En las figuras 4.3 y 4.4 se presentan las variaciones de la luminosidad de las pastas tipo tallarines y las pastas rellenas respectivamente durante el almacenamiento congelado.

Tallarines

Los tallarines presentan durante el almacenamiento congelado un aumento del parámetro L^* . Dicho cambio alcanza un orden de 6-8% al finalizar el período ensayado. Este cambio implica pastas más claras, lo que puede atribuirse a la deshidratación que experimentan las pastas durante el almacenamiento y que es cuantificada en el inciso anterior. Para hacer más gráfica esta variación en el color en la figura 4.4 se observan tallarines almacenados durante 6 meses a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. En estas fotografías se pueden apreciar zonas más claras de la pasta, las cuales presentan una notoria deshidratación, con un contenido de humedad del orden de 35%. Aunque esta situación es un caso extremo (sólo unas pocas bandejas presentan esta característica, fueron descartadas en los resultados promedio presentados en este trabajo de investigación), es una

forma ilustrativa de ver las variaciones en el color a causa de la deshidratación superficial. Kindt y col. (2006, 2008) informan la presencia de puntos blancos en la superficie de distintos tipos de pastas almacenadas congeladas, los cuales son determinados a partir de la observación macroscópica de las muestras de pastas. Ellos asocian estas imperfecciones a la deshidratación superficial que se produce cuando el agua deja la superficie del alimento migrando a la atmósfera del almacenamiento, produciendo áreas de daño visible. Tales áreas tienen un color más ligero debido a las cavidades microscópicas, ocupadas previamente por los cristales de hielo, que alteran la longitud de onda de la luz reflejada.

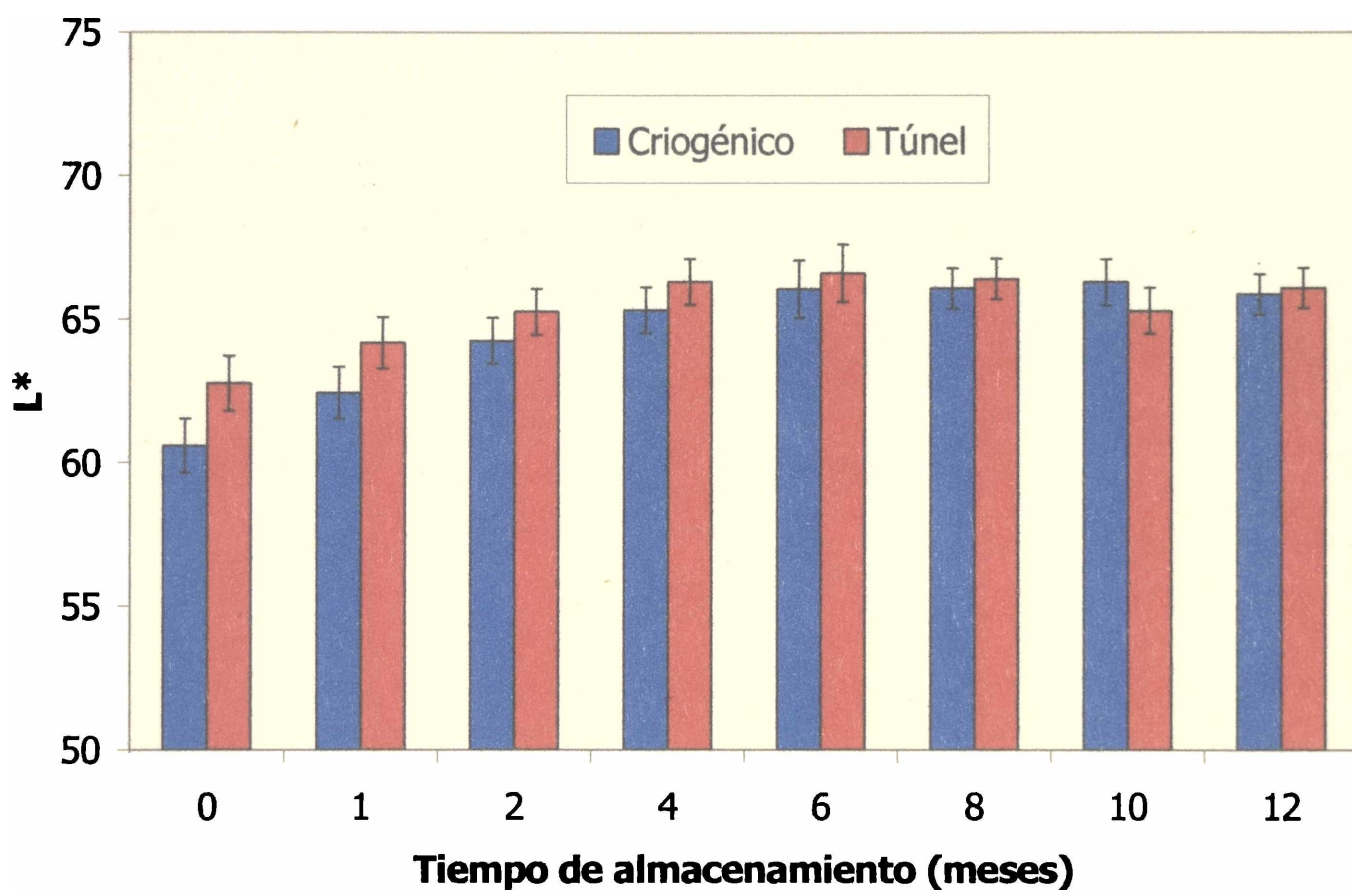


Figura 4.3. Variación del valor de L^* para la pasta tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

Las medidas instrumentales del enrojecimiento, a^* (tabla 4.1) disminuyen durante el almacenamiento congelado, en cambio se puede notar en los valores presentados en la tabla 4.2 que los valores de b^* para este tipo de pastas no presentan diferencias significativas para las condiciones ensayadas de almacenamiento, sólo se observa una leve disminución para los últimos meses de almacenamiento ensayado (10 y 12 meses). La disminución de a^* y b^* indica una pérdida del color rojo y amarillo respectivamente a tonos con mayor componentes grises.

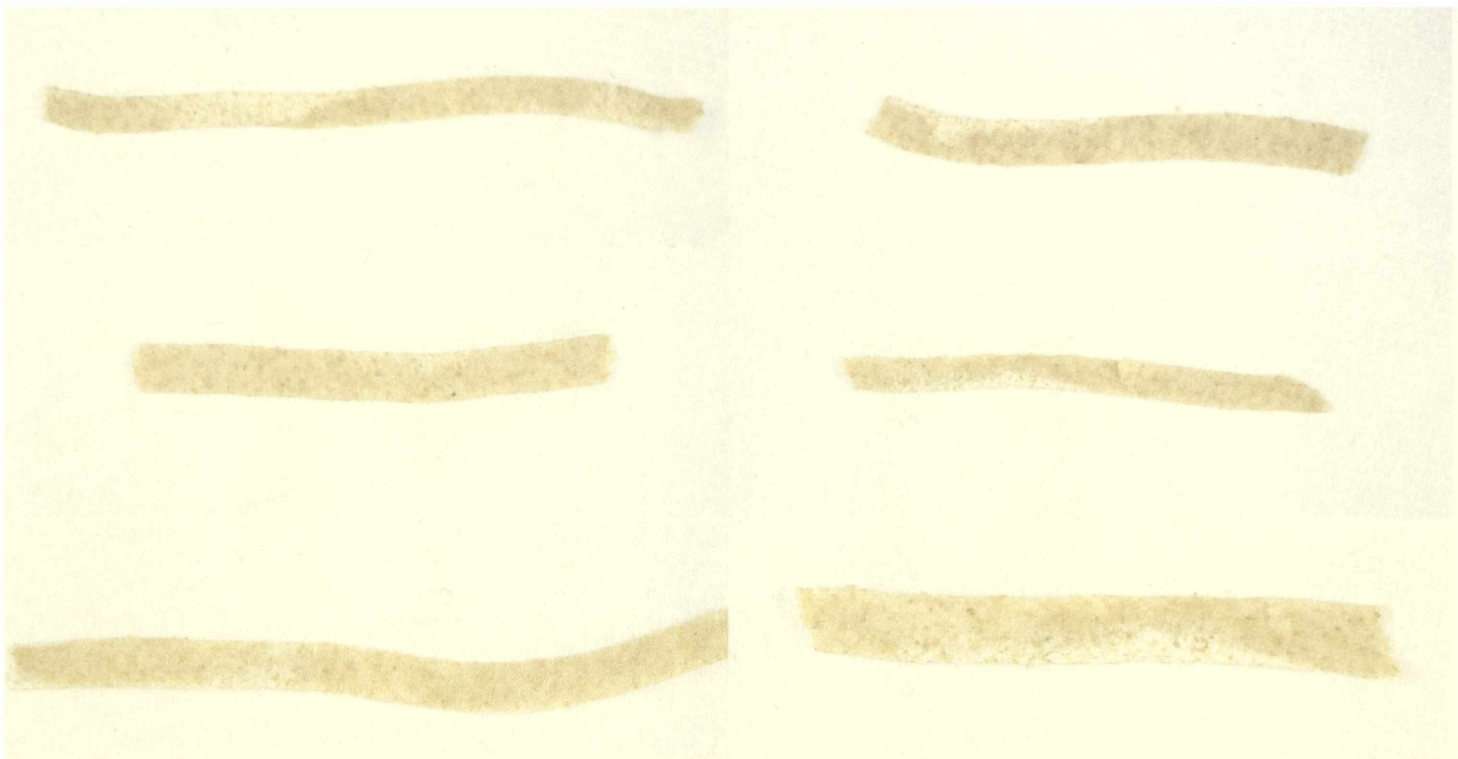


Figura 4.4. Fotografías de tallarines almacenados congelados durante 6 meses.

Lasagna

En el caso de la pasta rellena, los valores de L^* disminuyeron significativamente, figura 4.4. Este oscurecimiento de las cintas que conforman el plato preparado lasagna durante su almacenamiento congelado podría atribuirse a la absorción de jugos del relleno y salsa, la que se comprueba con el aumento de humedad de las cintas y que al compararse con el alimento refrigerado resulta mayor lo que sería indicio de un daño estructural ocasionado por los cristales de hielo.

Los valores de los parámetros a^* y b^* de las pastas con relleno a los distintos tiempos de almacenamiento congelado y para las dos velocidades de congelación ensayadas se presentan en las tablas 4.1 y 4.2 respectivamente. Estos parámetros, correspondientes a las cintas de pastas, no presentan diferencias significativas durante el almacenamiento congelado independientemente de la velocidad de congelación ensayada. Según Redmond y col. (2005) las cintas de lasagna almacenadas por 3 meses tienen valores más altos que el producto sin congelar del cociente L^*/b^* (blanco/amarillo) mientras que a los 12 meses esos valores disminuían.

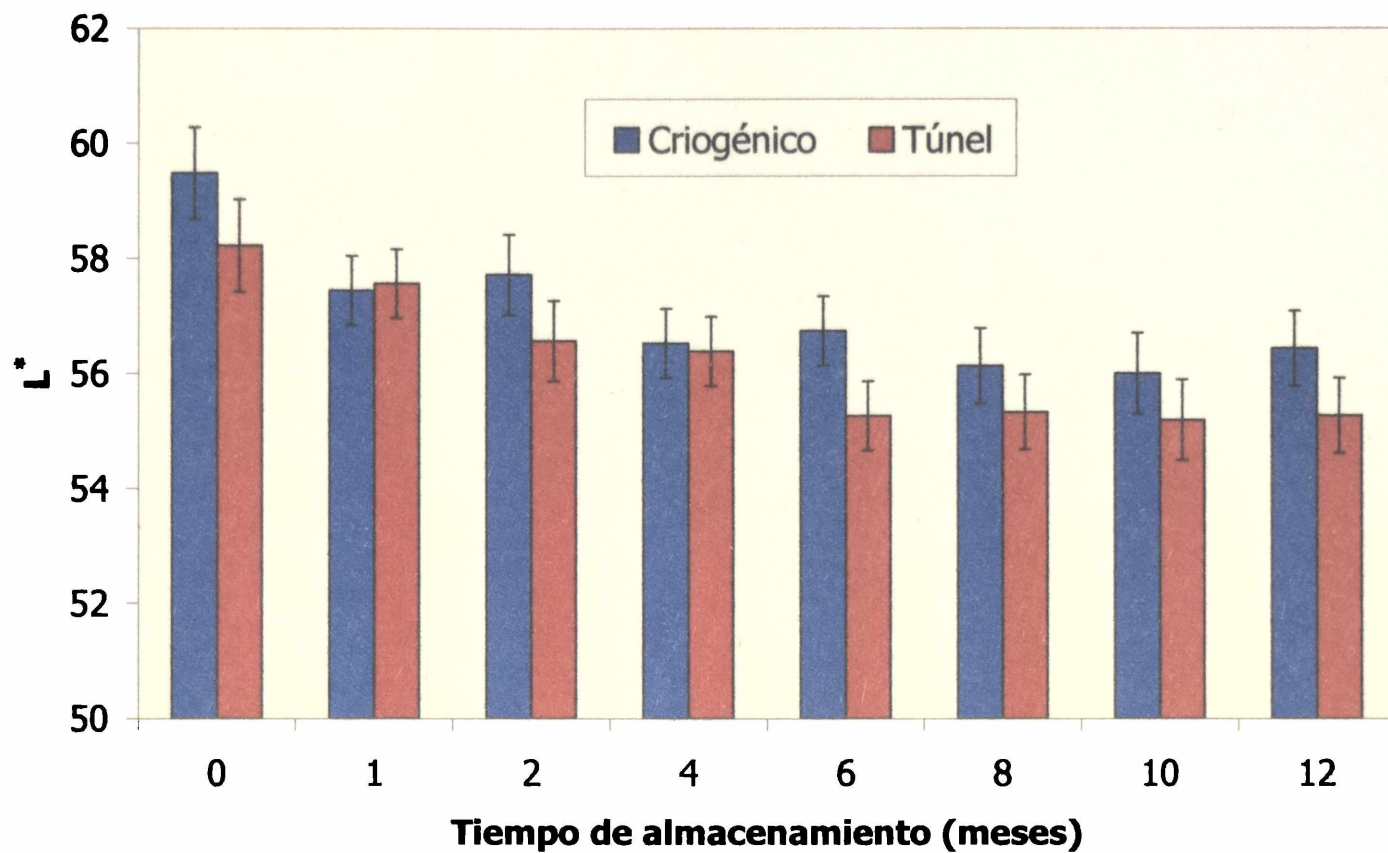


Figura 4.5. Variación de L^* de las cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

Tabla 4.1. Evolución del parámetro de color a^* durante el almacenamiento congelado.

Tiempo de almacenamiento (meses)	Tallarines		Lasagna	
	Criogénico	Túnel	Criogénico	Túnel
0	4.22 ^a	4.37 ^a	4.63 ^a	4.44 ^a
1	4.15 ^a	4.07 ^a	4.81 ^a	4.77 ^a
2	3.99 ^a	3.58 ^b	4.73 ^a	4.32 ^a
4	3.75 ^{ab}	3.54 ^b	4.39 ^a	4.47 ^a
6	3.62 ^b	3.50 ^b	4.42 ^a	4.37 ^a
8	3.65 ^b	3.66 ^b	4.38 ^a	4.48 ^a
10	3.54 ^b	3.55 ^b	4.54 ^a	4.31 ^a
12	3.53 ^b	3.62 ^b	4.42 ^a	4.50 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento ($\alpha = 0.05$)

Tabla 4.2. Evolución del parámetro de color b^* durante el almacenamiento congelado.

Tiempo de almacenamiento (meses)	Tallarines		Lasagna	
	Criogénico	Túnel	Criogénico	Túnel
0	20.89 ^a	21.48 ^a	19.86 ^a	19.69 ^a
1	20.13 ^a	20.45 ^a	18.53 ^b	20.10 ^a
2	19.48 ^a	19.25 ^a	19.33 ^a	19.73 ^a
4	19.15 ^a	19.08 ^a	20.08 ^a	19.42 ^a
6	18.76 ^b	17.86 ^a	20.29 ^a	20.03 ^a
8	19.22 ^{ab}	18.64 ^a	20.32 ^a	19.87 ^a
10	19.39 ^{ab}	18.02 ^a	20.02 ^a	19.58 ^a
12	19.31 ^{ab}	18.27 ^a	19.77 ^a	19.93 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempos de almacenamiento ($\alpha= 0.05$)

En forma similar a lo procedido con las pastas refrigeradas, en función de los valores L^* , a^* y b^* obtenidos se cuantifica la variación total del color de las pastas durante el almacenamiento congelado a partir del parámetro ΔE , el cual se calcula mediante la ecuación 2.1, considerando valores de referencia las magnitudes de L^* , a^* y b^* obtenidas para la pasta congelada a tiempo 0.

Las figuras 4.6 y 4.7 muestran la variación de color total, ΔE^* , de las pastas en función del tiempo de almacenamiento para las pastas tipo tallarines y para las pastas rellenas respectivamente. A partir de la clasificación Francis y Clydesdale (1975), mencionada en el capítulo 2, es esperable que las diferencias de color total durante el almacenamiento congelado de tallarines, independientemente del método de congelación, puedan ser detectadas por el consumidor. Asimismo, según los resultados obtenidos de ΔE^* para las cintas de lasagna, dicha variación puede no ser apreciada por el observador.

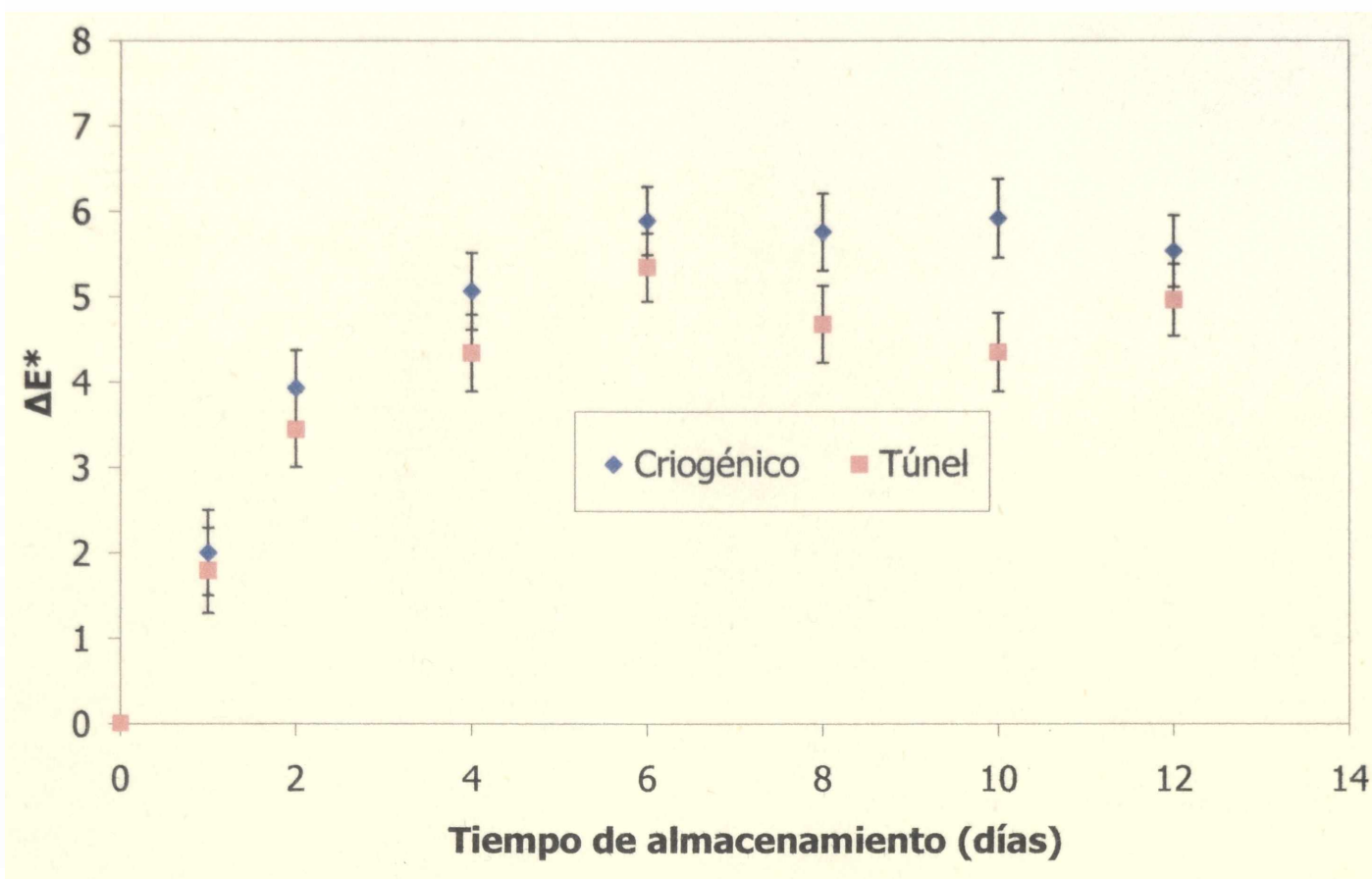


Figura 4.6. Evolución del color total, ΔE^* , de tallarines durante el almacenamiento congelado.

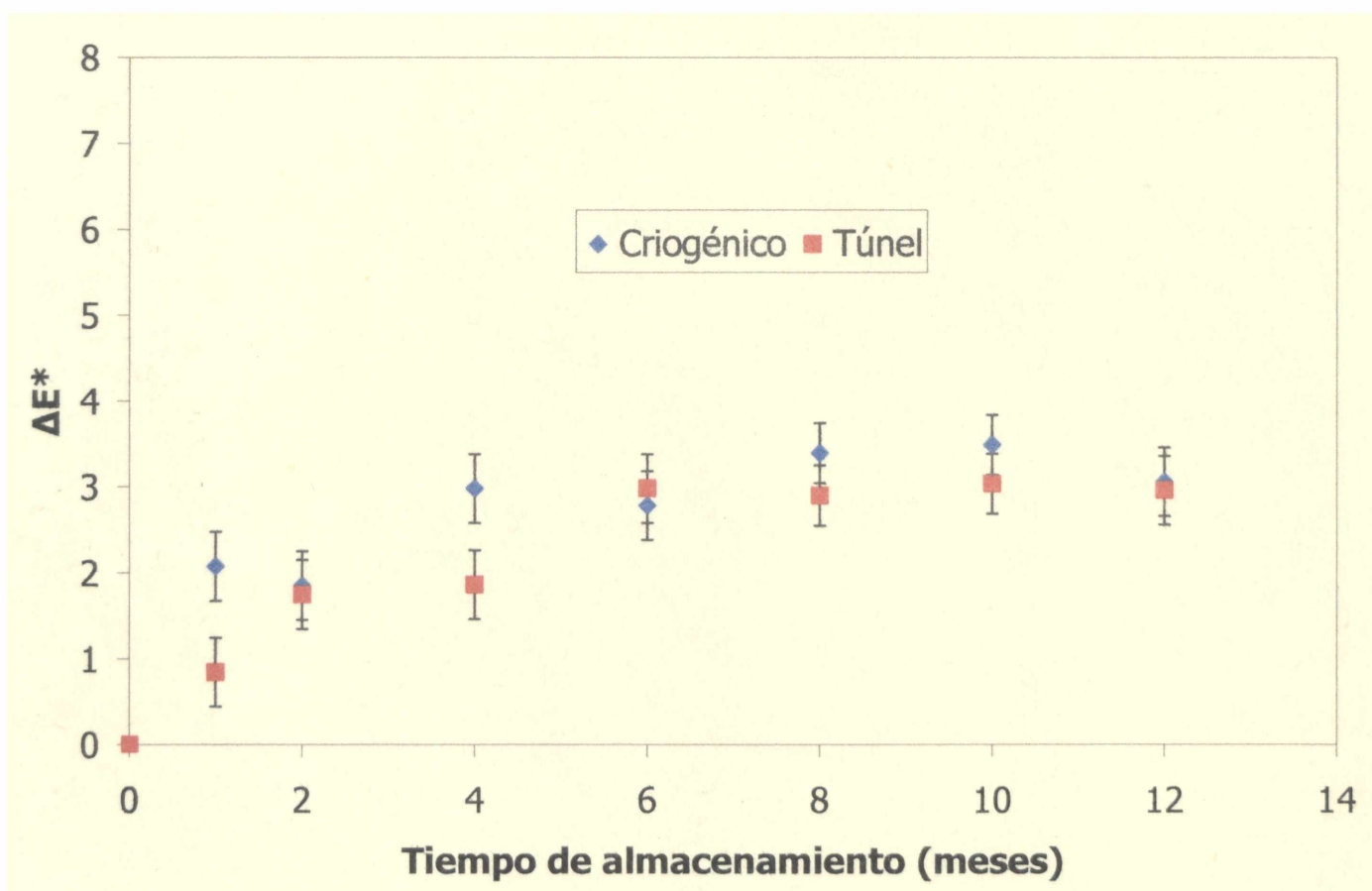


Figura 4.7. Evolución del color total, ΔE^* , de cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

4.3. Textura

4.3.1. Ensayo de cizalla

Como lo mencionáramos previamente en este ensayo el instrumento de corte, la sonda Volodkevich Bite Jaws, comprime la superficie del alimento hasta que la presión es suficiente para romperla, y la magnitud de la fuerza de corte se puede correlacionar directamente con la firmeza de las pastas ensayadas.

Tallarines

Los resultados de los ensayos de corte sobre las pastas tipo tallarines a los distintos tiempos de almacenamiento congelado y para las dos velocidades de congelación ensayadas se presentan en la figura 4.8. La fuerza máxima necesaria para cortar las cintas de tallarines disminuye durante primer mes de almacenamiento para luego mantenerse durante el resto del tiempo ensayado. Sólo en los primeros dos meses de almacenamiento se conservan las diferencias logradas con la congelación rápida. Estos resultados coinciden con las diferencias de contenido de humedad mencionada anteriormente (4.1). Hatcher (2004) informa una disminución de la fuerza máxima de corte en fideos instantáneos cocidos y almacenados congelados una semana.

Lasagna

En la figura 4.9 se presentan los resultados obtenidos a partir del ensayo de cizalla para las cintas que conforman el plato preparado lasagna. Se observa una importante disminución de la fuerza máxima de corte, la cual podría correlacionarse directamente con la firmeza de la pasta. Se puede observar que, nuevamente, la diferencia obtenida con la velocidad de congelación rápida se mantiene sólo hasta el primer mes de almacenamiento.

La pérdida de firmeza durante el almacenamiento de las cintas tiene explicación directa en el daño estructural que sufre la pasta al ser congelada, la recristalización durante el almacenamiento y en el aumento del contenido de humedad por tratarse de un alimento multicomponente (Creed, 2005; Zaritzky, 2005).

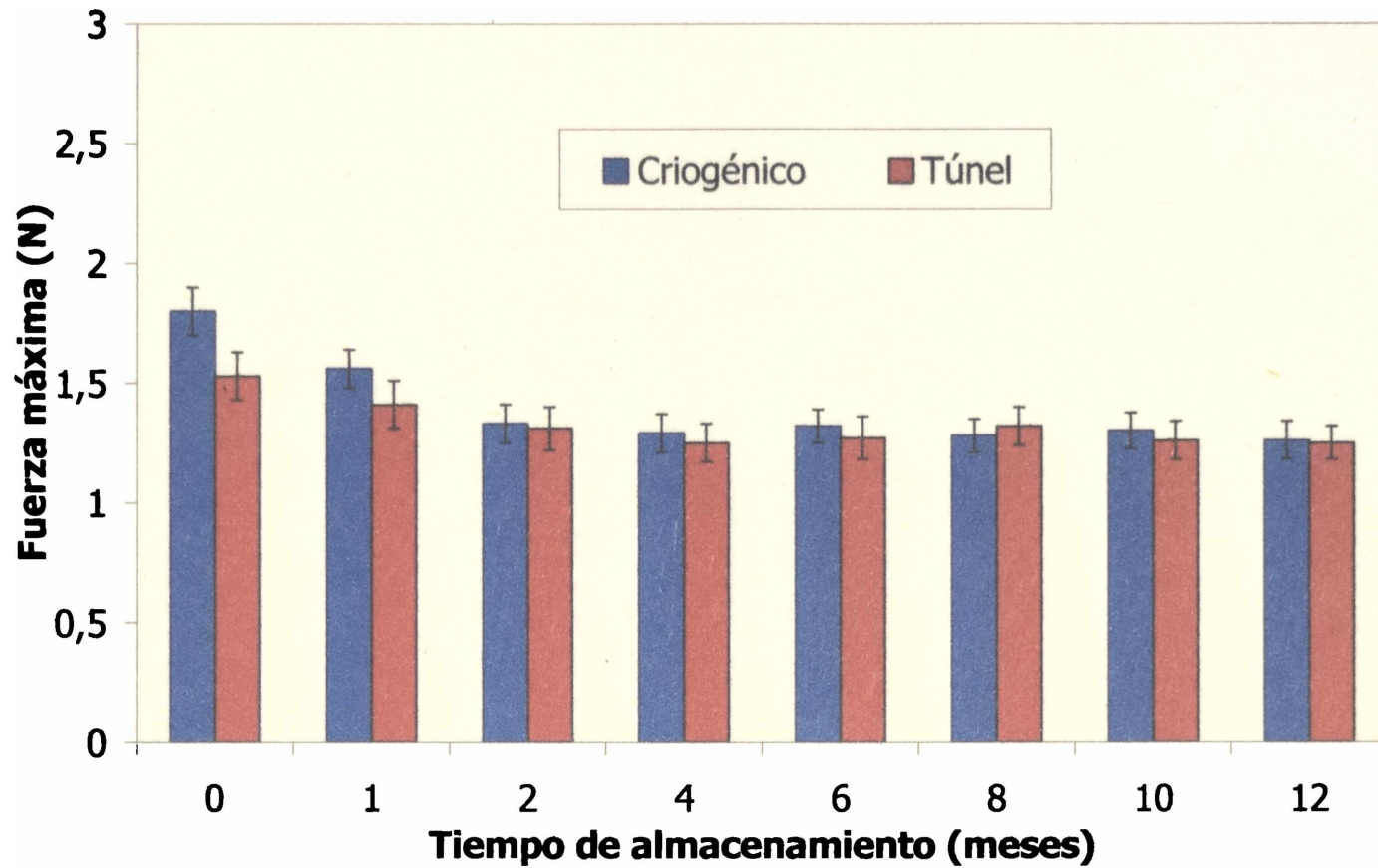


Figura 4.8. Evolución de la fuerza máxima de corte de la pasta tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

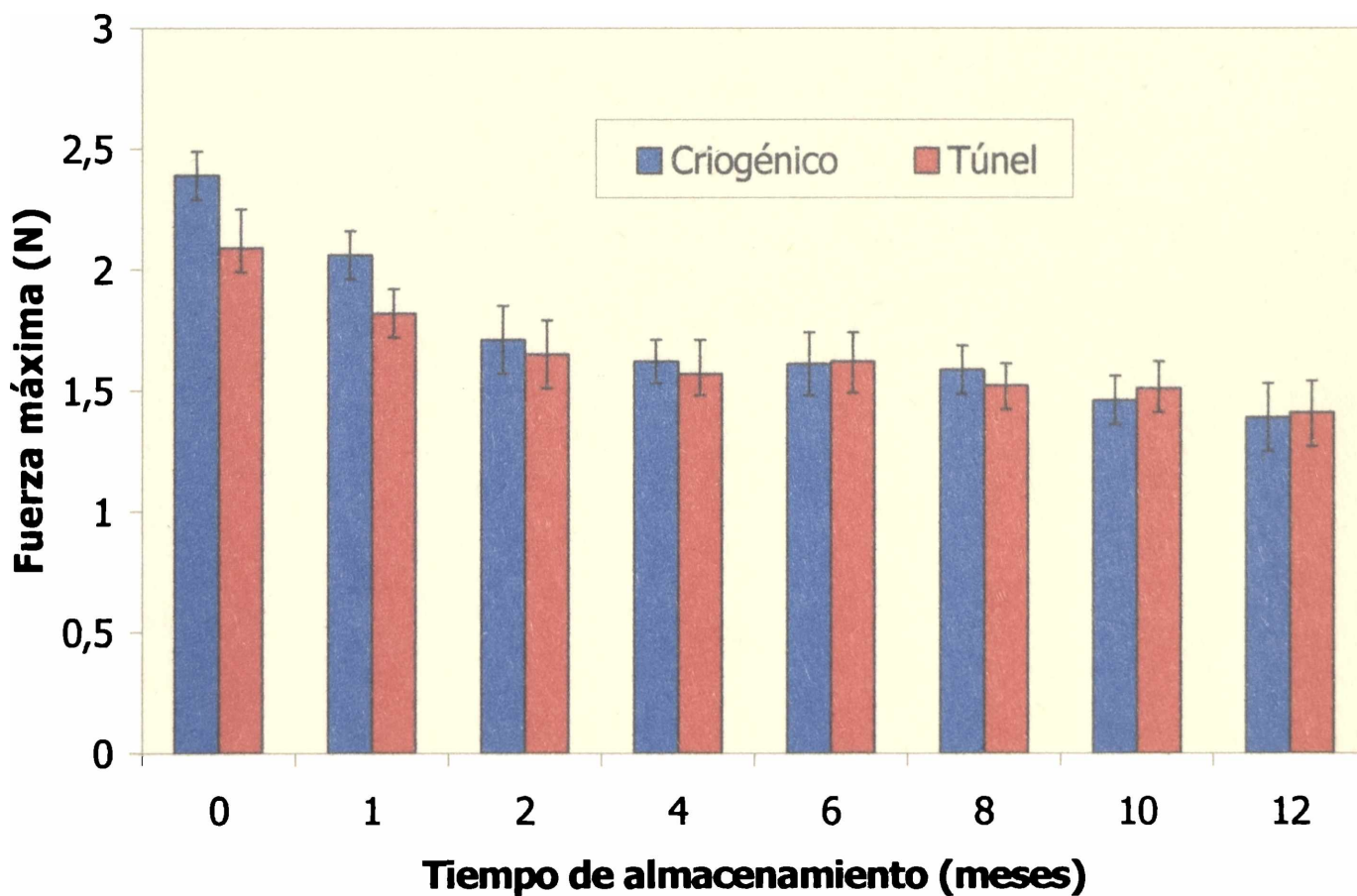


Figura 4.9. Evolución de la fuerza máxima de corte de las cintas de pastas rellenas durante el almacenamiento congelado.

4.3.2. Análisis de perfil de textura (TPA)

Al igual que como se procede en el almacenamiento refrigerado y en la congelación, a partir del análisis de las curvas fuerza vs. tiempo (o fuerza vs. distancia) obtenidas de las pastas almacenadas congeladas, se determinan los parámetros independientes dureza, consistencia, cohesividad, elasticidad, adhesividad, resistencia y el dependiente masticabilidad (Szczesniak, 1963; Bourne, 1978).

Tallarines

Las figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 muestran la evolución de los parámetros que presentaron diferencias significativas determinados con el ensayo TPA en función de los meses de almacenamiento congelado para las pastas tipo tallarines.

El parámetro dureza, figura 4.10, disminuye significativamente durante el almacenamiento congelado para ambas velocidades de congelación. Cabe destacar que a partir del segundo mes de almacenamiento congelado la dureza de las pastas tipo tallarines no presenta diferencias respecto al tipo de congelación. Por lo tanto, las pequeñas diferencias logradas en cuanto a la firmeza de las pastas con la velocidad alta de congelación (criogénica) se pierden durante el almacenamiento congelado.

Al principio del almacenamiento congelado la consistencia de los tallarines, figura 4.11, varía significativamente, a partir del primer mes de almacenamiento y hasta el final del tiempo ensayado, este parámetro no presenta diferencias significativas entre velocidades de congelación ni tiempos de almacenamiento. Similar comportamiento podemos ver en el parámetro cohesividad (figura 4.12).

Al evaluar la adhesividad de los tallarines, figura 4.13, este parámetro disminuye progresivamente hasta el sexto mes de almacenado congelado, probablemente por efecto de una deshidratación superficial. Con respecto al método de congelación, no se encontraron diferencias significativas durante el almacenamiento a -18°C.

La masticabilidad, figura 4.14, por ser un parámetro dependiente de la dureza, cohesividad y elasticidad, es coherente que siga la misma tendencia que se informa para la dureza.

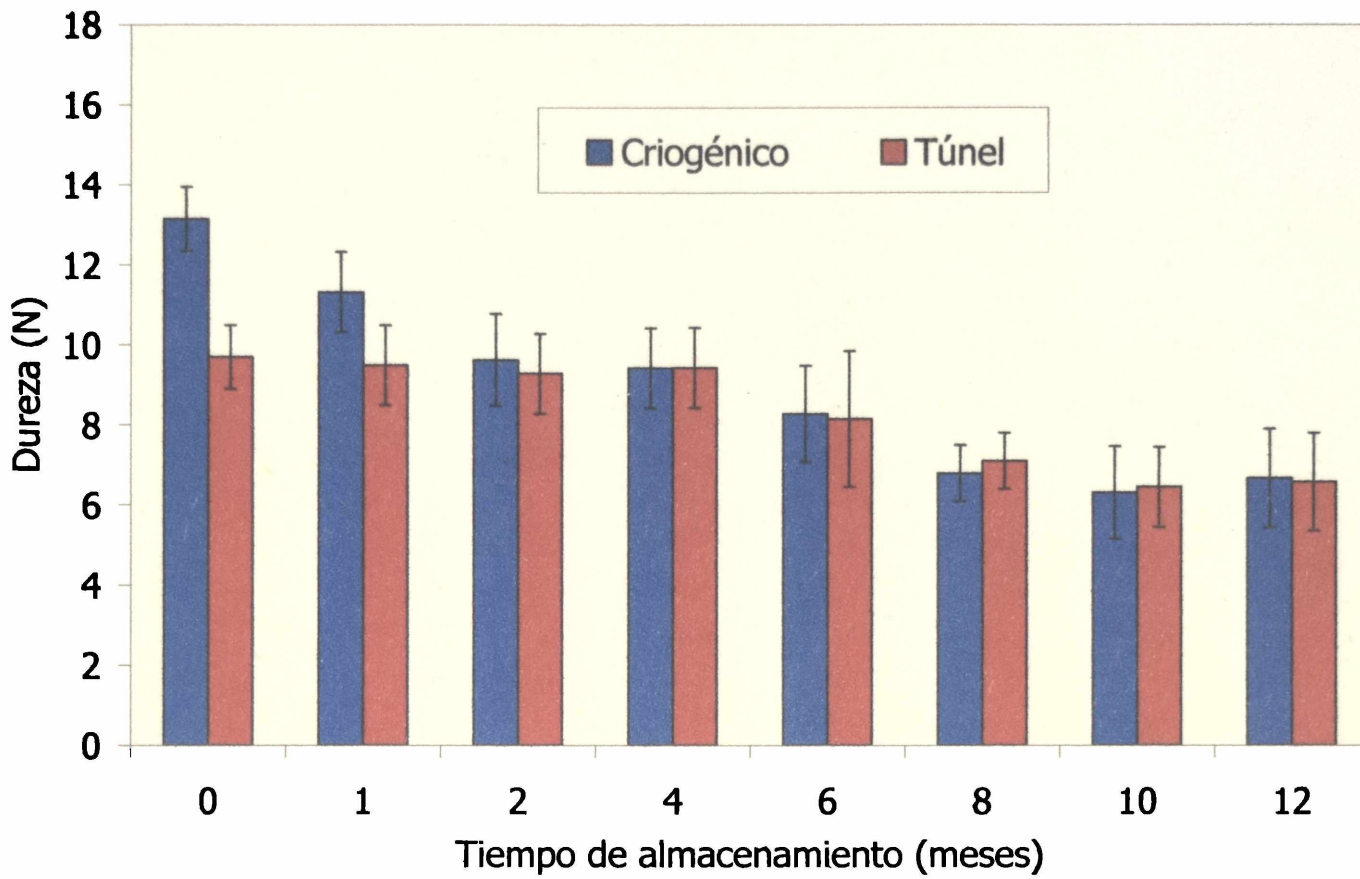


Figura 4.10. Evolución del parámetro dureza de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

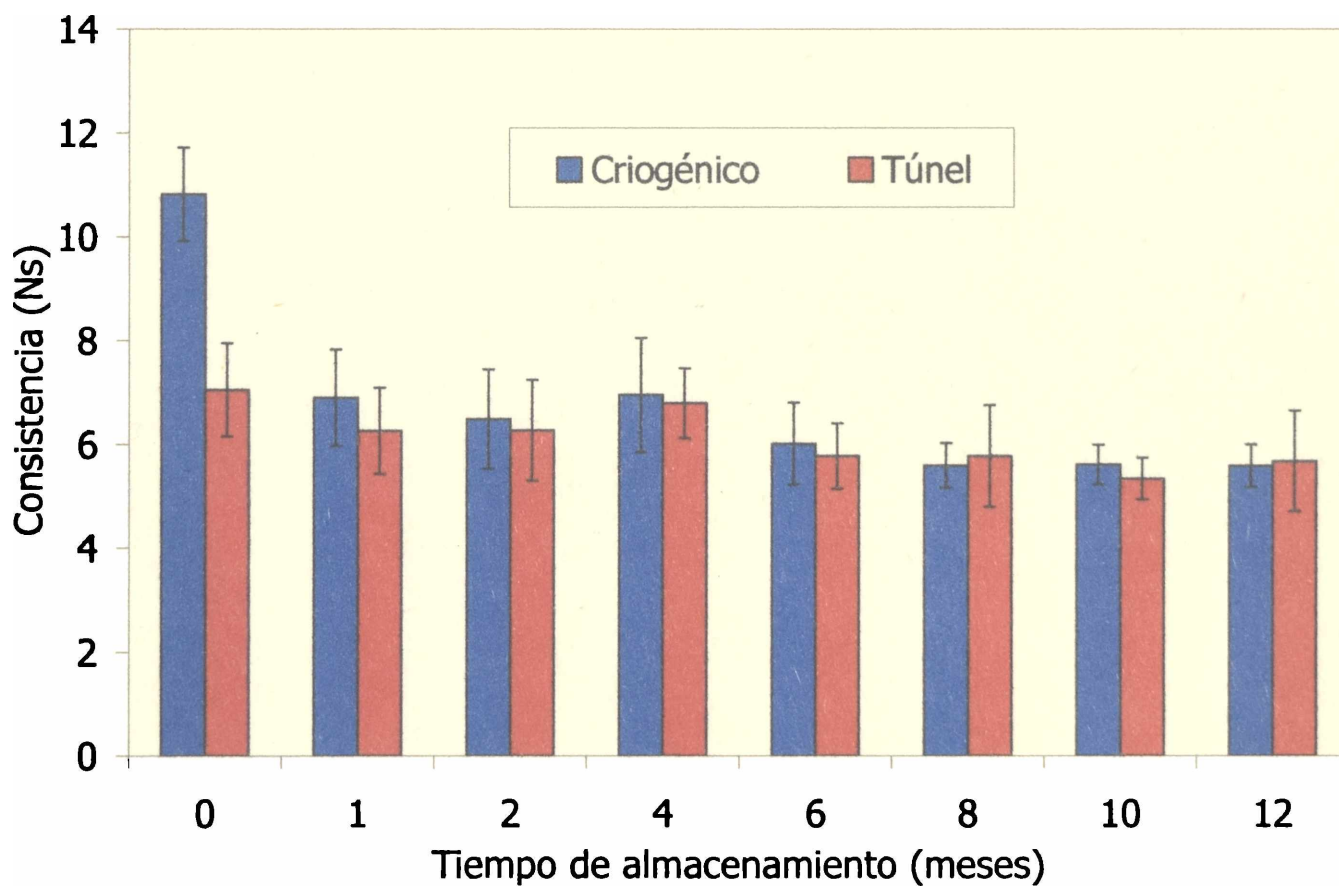


Figura 4.11. Evolución del parámetro consistencia de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

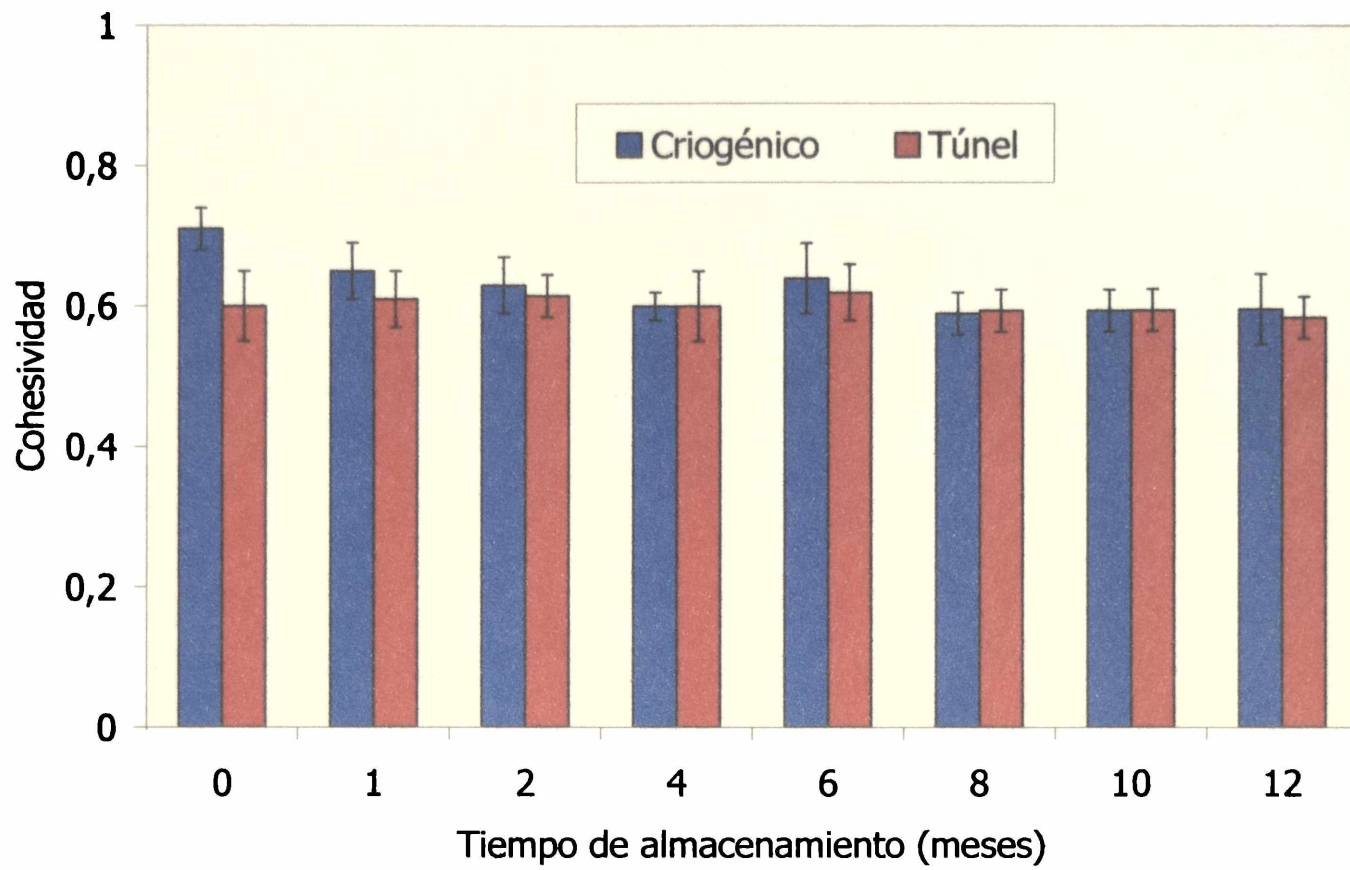


Figura 4.12. Evolución del parámetro cohesividad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

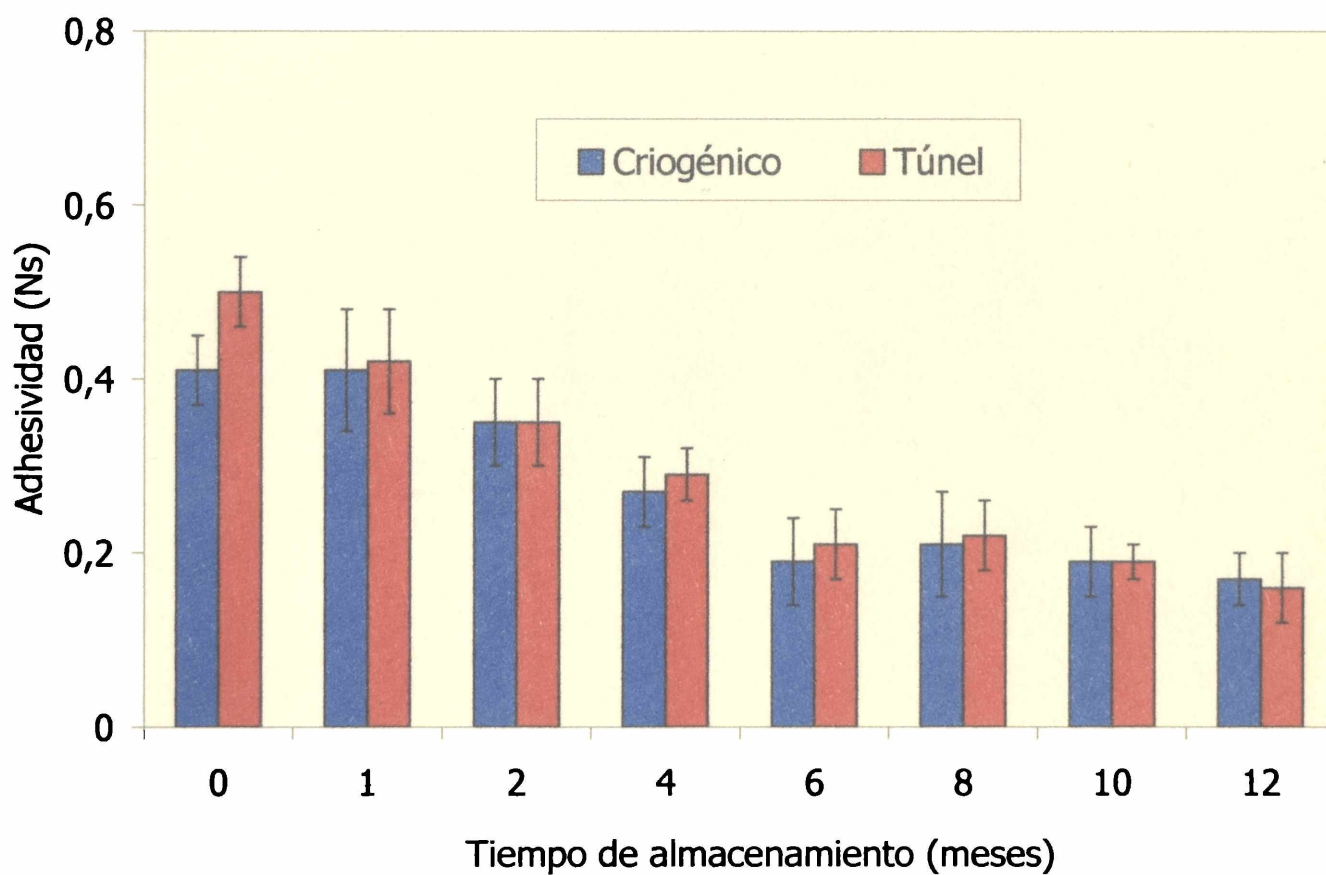


Figura 4.13. Evolución del parámetro adhesividad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

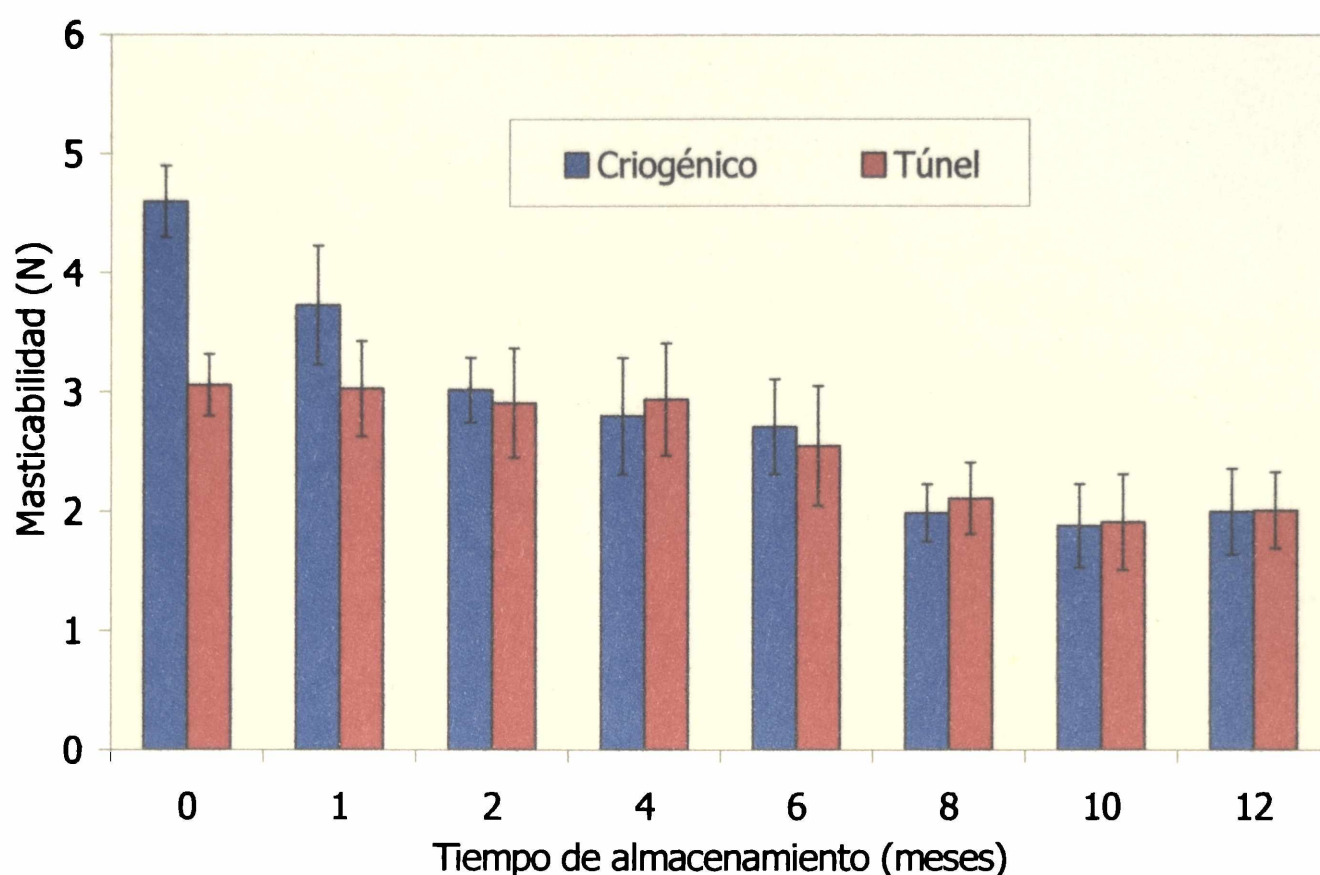


Figura 4.14. Evolución del parámetro masticabilidad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento refrigerado.

Los parámetros elasticidad y resistencia obtenidos mediante este ensayo, no varían durante el almacenamiento congelado, independientemente del método de congelación utilizado.

Lasagna

En las figuras 4.15 a 4.18 se presentan los parámetros dureza, consistencia, adhesividad y masticabilidad obtenidos a partir del ensayo TPA, correspondiente a las cintas de pasta que conforman el plato preparado lasagna durante el almacenamiento congelado.

La dureza y la consistencia de las cintas de pasta, figuras 4.15 y 4.16 respectivamente, presentaron comportamiento similar durante el almacenamiento, disminuyendo sólo el primer mes de almacenamiento, manteniéndose luego sin variación hasta el final del período ensayado (12 meses).

La cohesividad, la resistencia y la elasticidad no presentaron diferencias significativas, los dos últimos parámetros se comportaron igual que en el caso de las pastas sin relleno. Esto podría ser indicio de la poca sensibilidad del ensayo en cuanto a estos parámetros y este tipo de muestra.

Las cintas de pasta que conforman el plato preparado lasagna presentan un aumento en su adhesividad, figura 4.17, hasta el cuarto mes de almacenamiento congelado, tiempo al partir del cual dicho parámetro permanece constante hasta el final del periodo de almacenamiento ensayado.

Con respecto a la masticabilidad, este parámetro secundario, sigue la misma tendencia que la presentada por la dureza y la consistencia.

Nuevamente, podemos atribuir los cambios en la textura de las pastas durante el almacenamiento congelado a la recristalización del agua, en este sentido, Gormley y col. (2002) informan que la calidad de comidas preparadas almacenadas congeladas a largo plazo es afectada debido al crecimiento cristalino de hielo y a la migración de humedad.

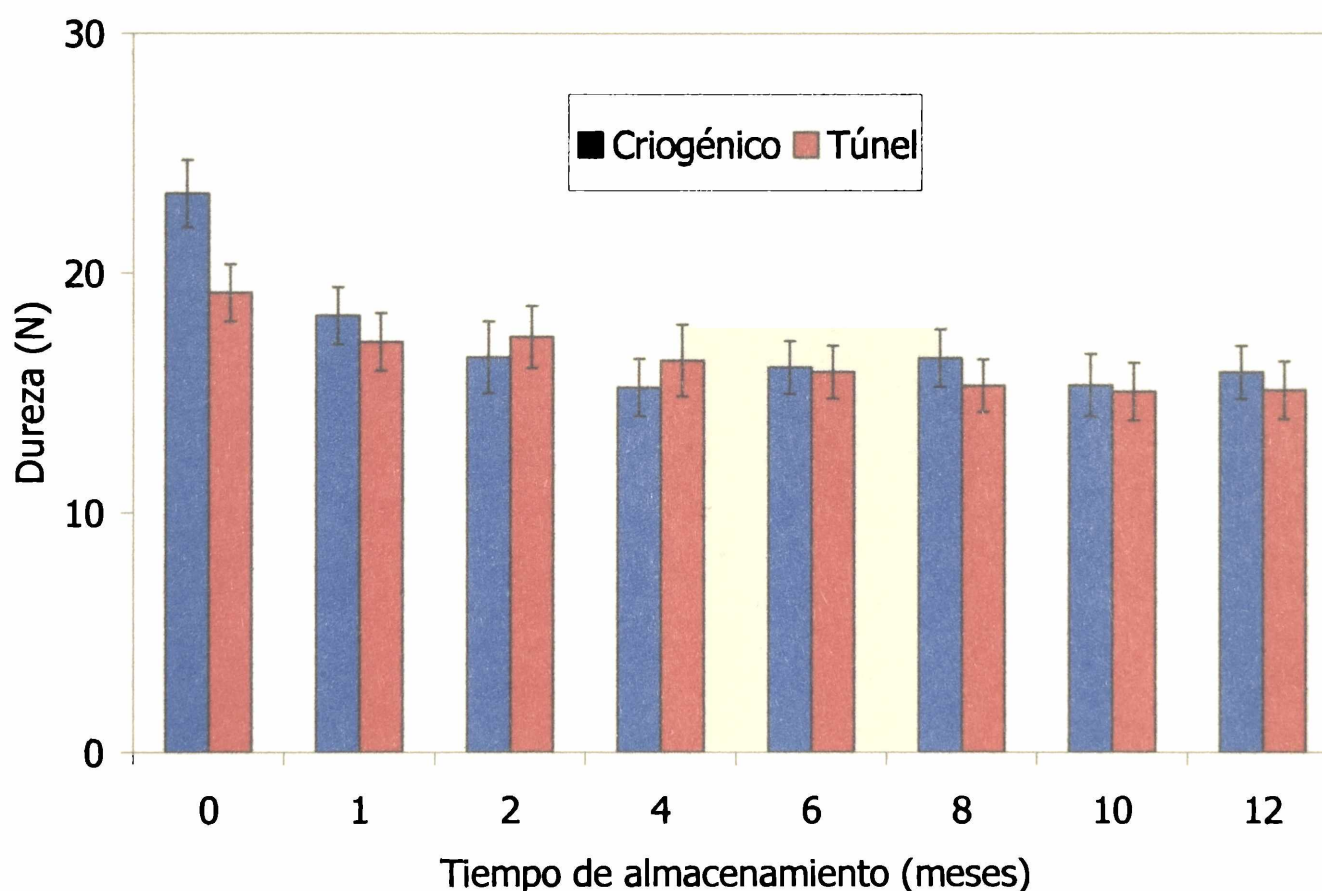


Figura 4.15. Evolución del parámetro dureza de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento congelado.

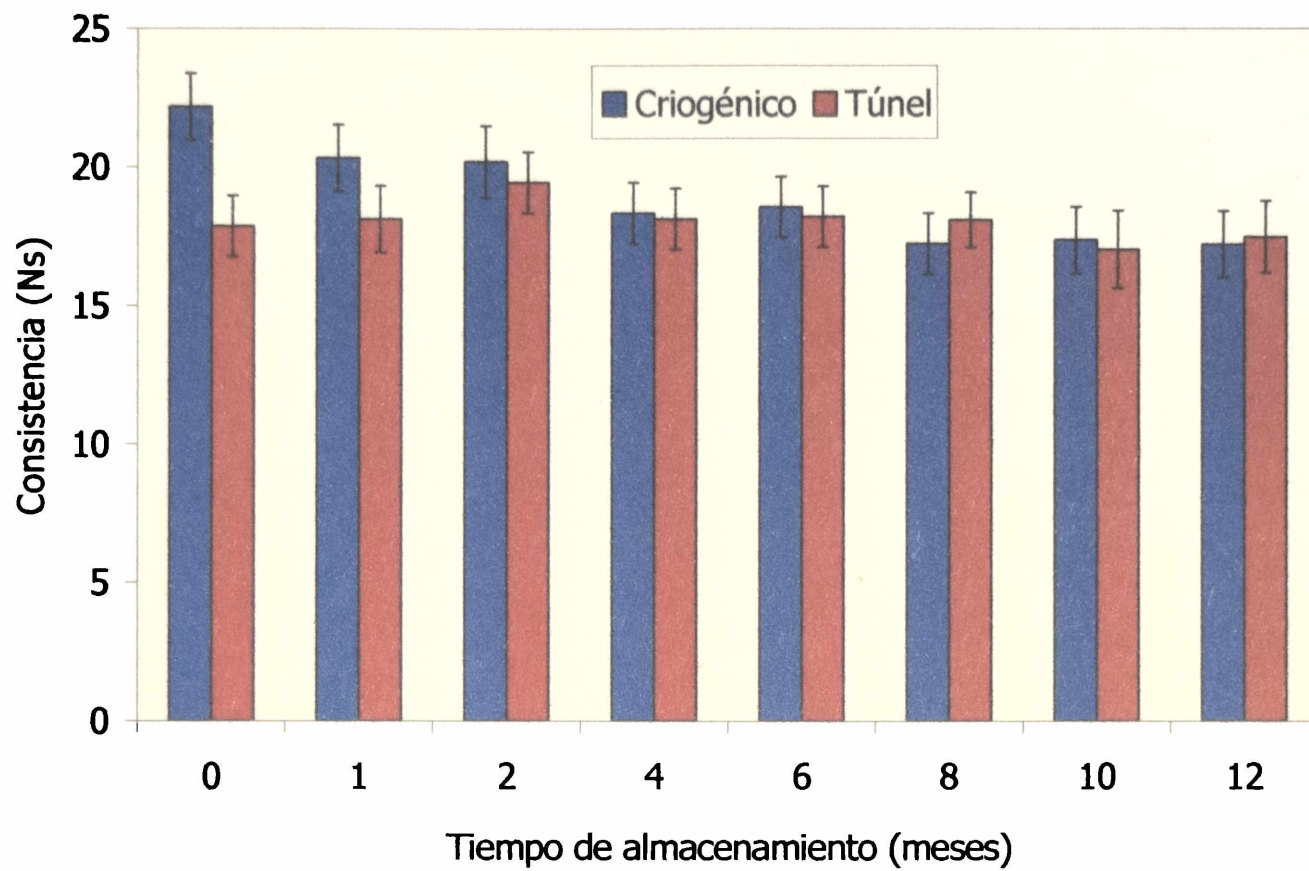


Figura 4.16. Evolución del parámetro consistencia de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento congelado.

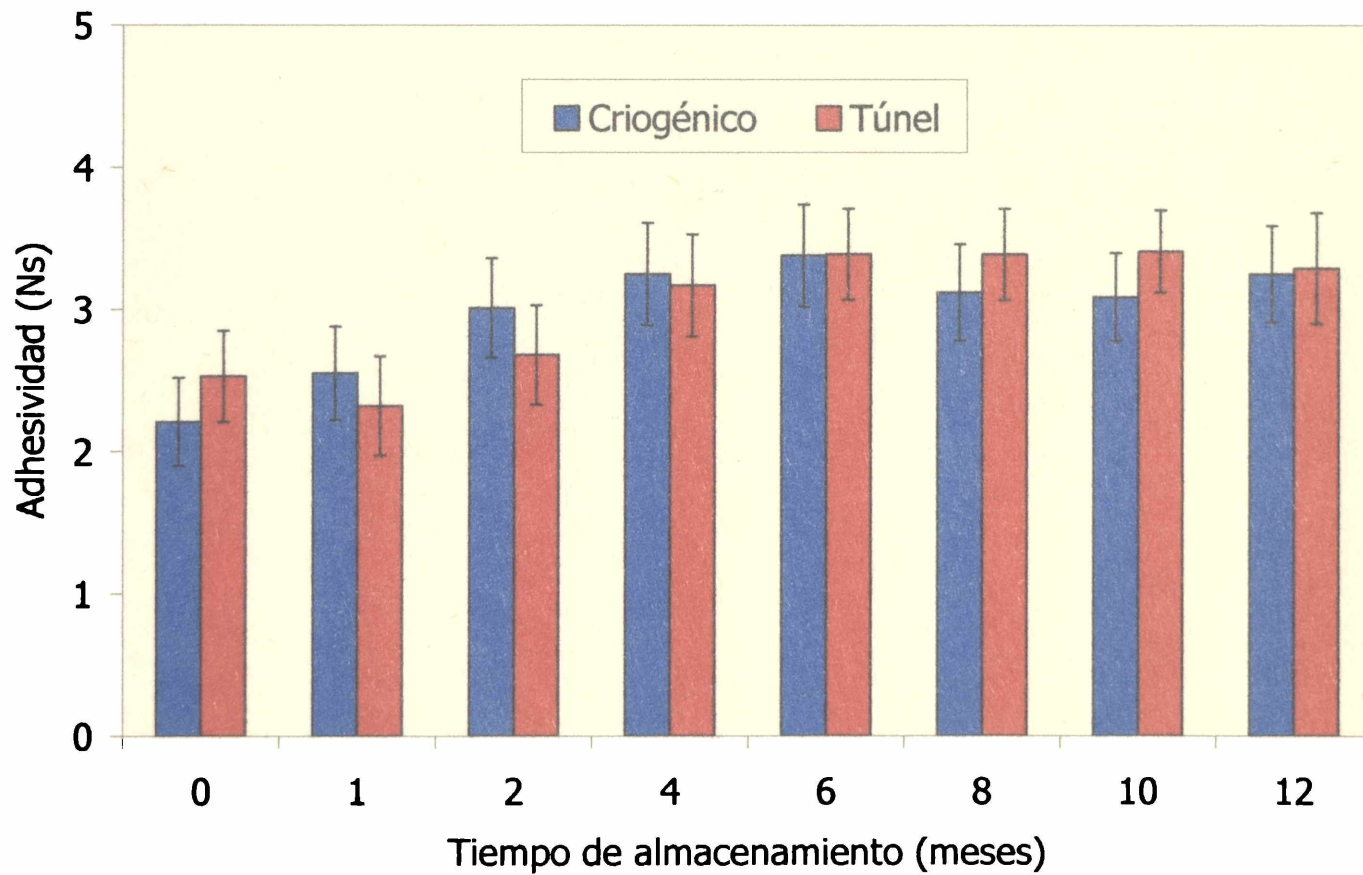


Figura 4.17. Evolución del parámetro adhesividad de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento congelado.

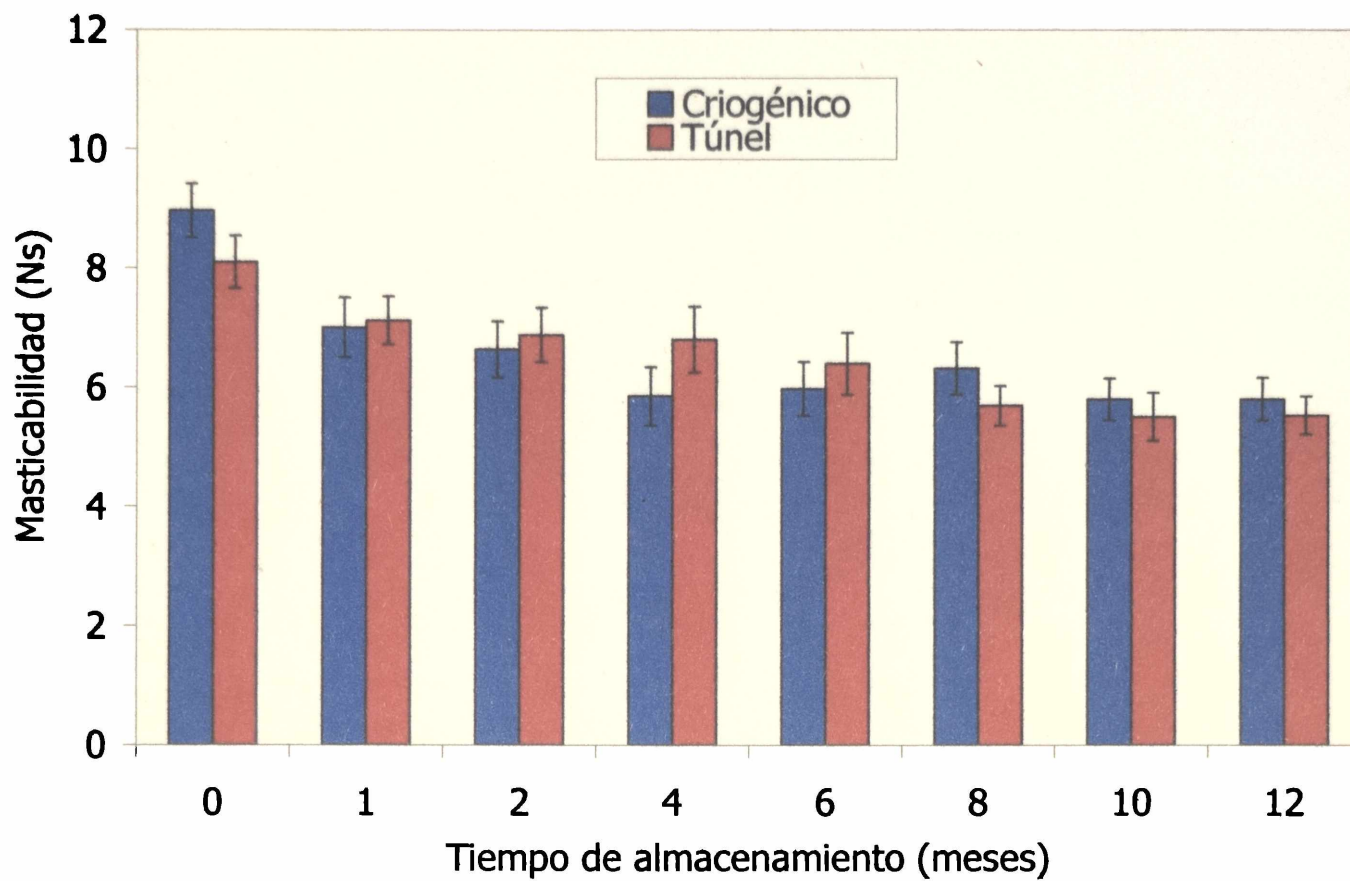


Figura 4.18. Evolución del parámetro masticabilidad de las cintas de pasta rellena durante el almacenamiento congelado.

4.4. Reología

Para cuantificar el comportamiento viscoelástico de la matriz alimentaria estudiada en este trabajo se realizaron ensayos cuasiestáticos (relajación) y dinámicos.

4.4.1. Ensayos de relajación

Al igual que en las experiencias de almacenamiento refrigerado y de congelación, los resultados del ensayo de relajación de las pastas congeladas se ajustaron mediante dos modelos matemáticos: el modelo de Maxwell generalizado y el modelo de Peleg.

Modelo de Maxwell Generalizado: en este caso, al igual que el de las pastas refrigeradas, se obtiene muy buen ajuste ($r^2 > 0.99$) considerando un elemento simple y dos elementos compuestos (ec. 2.2).

Tallarines

Las figuras 4.19 y 4.20 presentan los valores de las propiedades viscoelásticas módulos de elasticidad, E_1 y E_2 , y tiempos de relajación, τ_1 y τ_2 , respectivamente calculados a partir de los parámetros del modelo de Maxwell Generalizado para las pastas tipos tallarines en función del tiempo de almacenamiento.

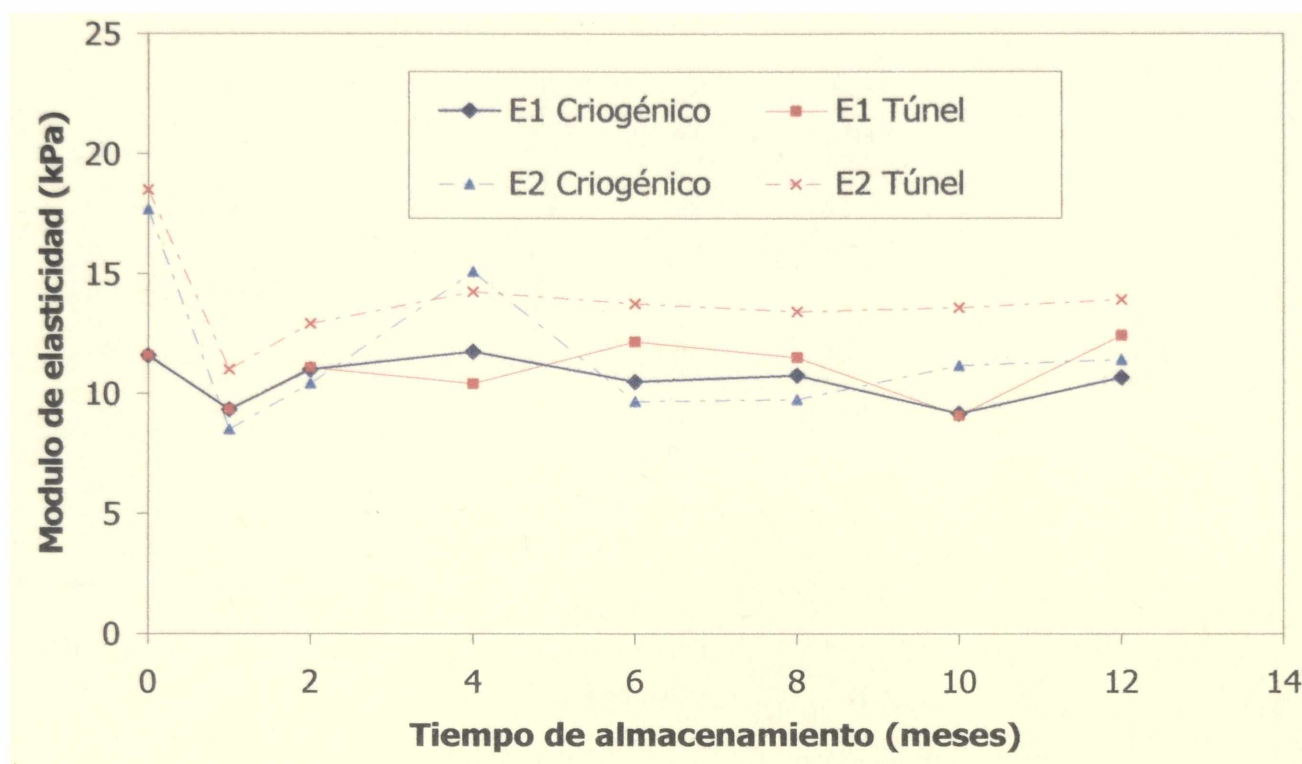


Figura 4.19. Evolución de los módulos de elasticidad de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

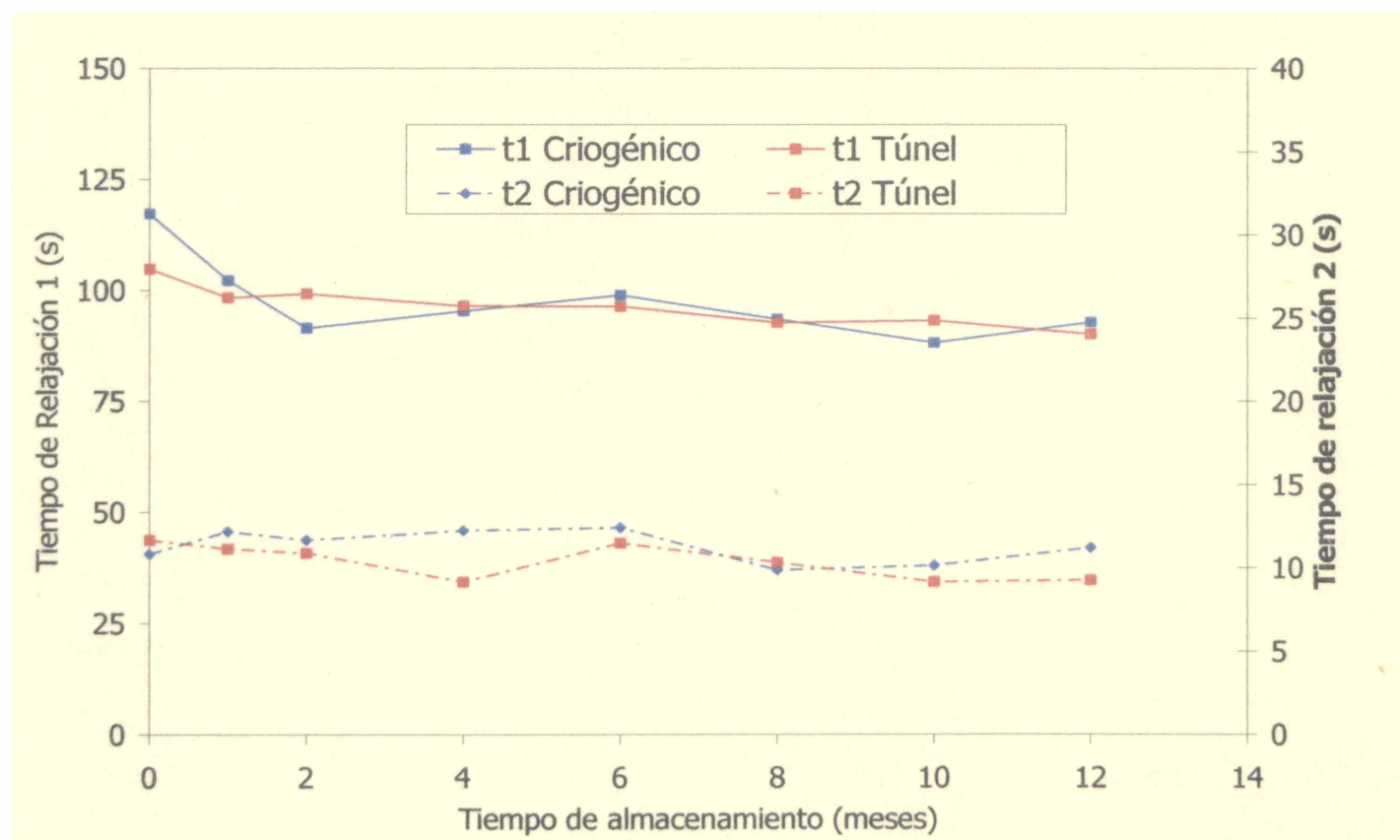


Figura 4.20. Evolución de los tiempos de relajación de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

Los valores de dichos parámetros disminuyen durante el almacenamiento congelado, siendo más notoria esta variación en los primeros tiempos de almacenamiento. Estos resultados reafirman los obtenidos en los ensayos de cizalla y TPA, es decir los tallarines presentan una disminución en la firmeza durante el almacenamiento congelado y esto puede ser causado por la recristalización durante el almacenamiento congelado que produce daño en la estructura del alimento (Zaritzky, 2005).

Lasagna

En las figuras 4.21 y 4.22 se presentan la evolución de los parámetros viscoelásticos obtenidos mediante el Modelo de Maxwell generalizado, módulos de elasticidad y tiempos de relajación, de las cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

Nuevamente, para ambos parámetros se observa una disminución al principio del almacenamiento congelado, primeros dos meses, para luego mantenerse constante hasta finalizado el período de almacenamiento ensayado.

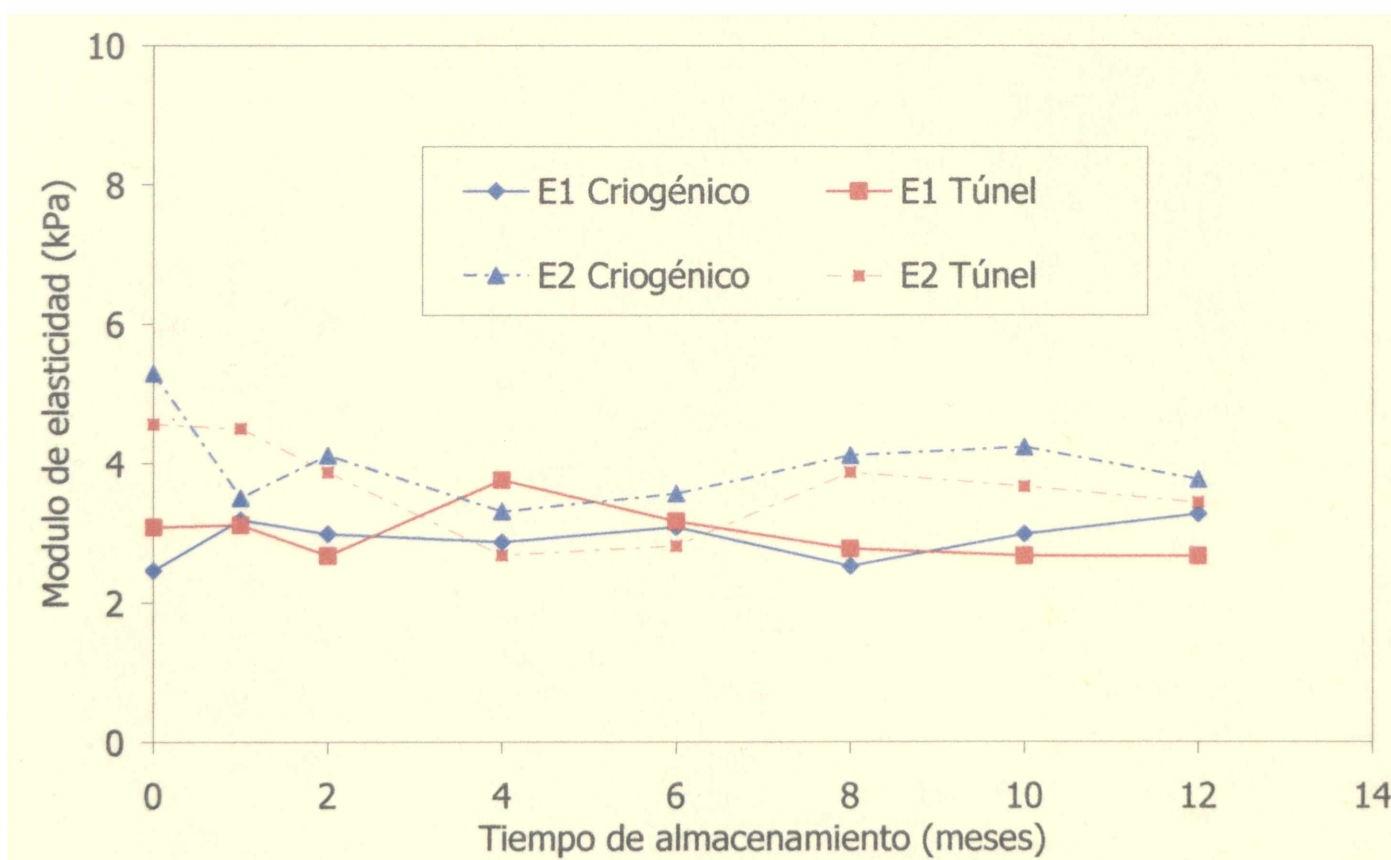


Figura 4.21. Evolución de los módulos de elasticidad de las cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

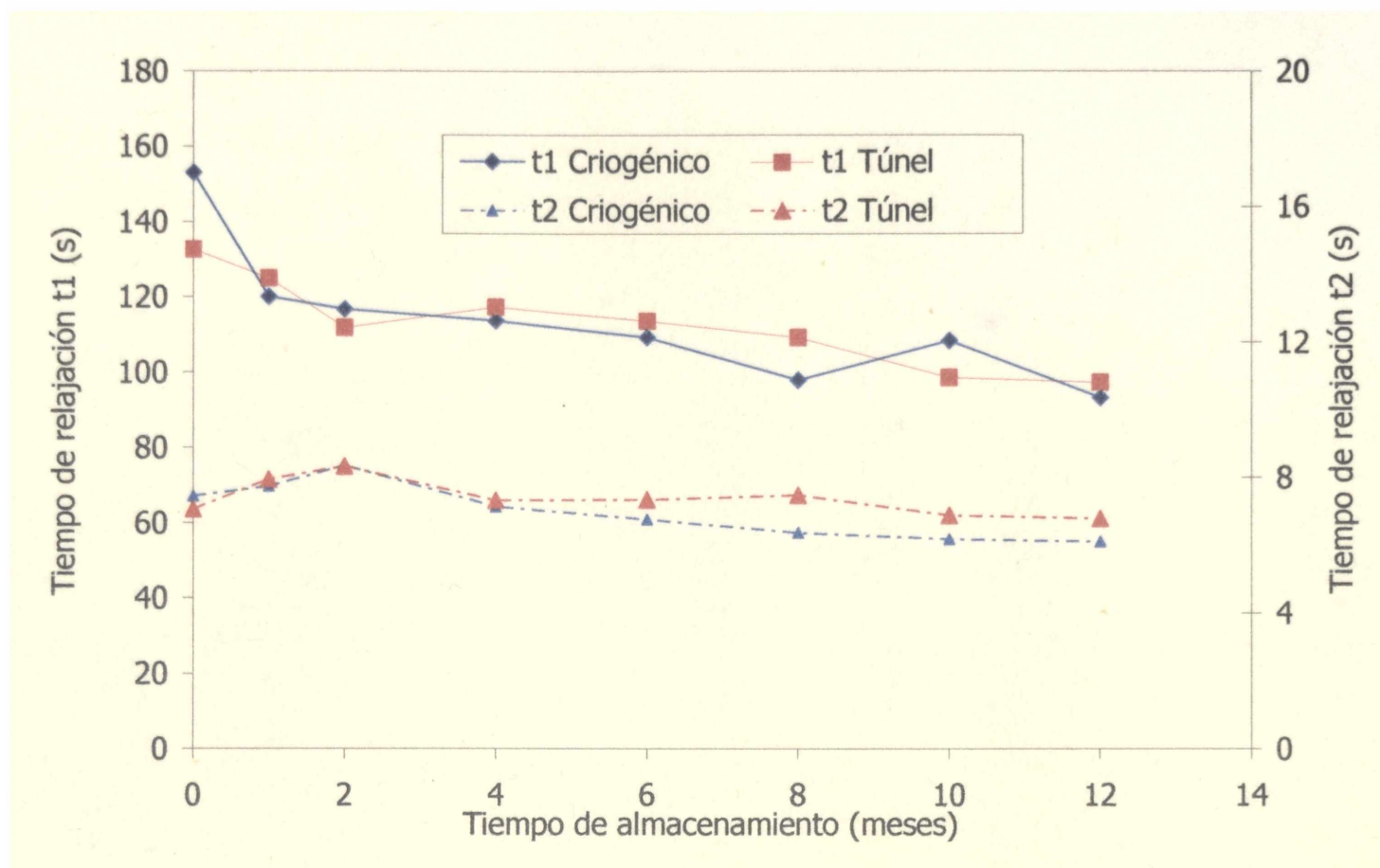


Figura 4.22. Evolución de los tiempos de relajación de las cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

Modelo de Peleg: En este caso las curvas obtenidas mediante el ensayo de relajación se linealizaron según la ecuación empírica presentada por Peleg (capítulo 1, ecuación 1.14).

En la figura 4.23 se presenta a modo de ejemplo el gráfico de los datos experimentales $F(t)/F_0$ vs. tiempo de almacenamiento y en eje secundario los datos elaborados mediante la ecuación de Peleg para cintas de lasagna almacenada durante 4 meses congelada.

En las tablas 4.3 y 4.4 se presentan los resultados de los parámetros de la ecuación de Peleg de pastas tipo tallarines y de las cintas de pastas rellena respectivamente, para los distintos tiempos de almacenamiento y para ambos métodos de congelación ensayados en el presente trabajo de tesis.

Tallarines

Según el modelo de Peleg, no hay variaciones significativas en lo que respecta a las características viscoelásticas de los tallarines durante su almacenamiento congelado, además, tampoco se encuentran diferencias significativas entre el producto

almacenado congelado en gabinete criogénico y el almacenado y congelado en túnel de aire forzado. Nuevamente, al igual que lo mencionáramos en el capítulo dos, debemos hacer hincapié que mediante el modelo de Maxwell generalizado sí se encontraron diferencias, aunque leves y sólo al principio del almacenamiento, donde por los ensayos de cizalla y TPA es más notorio el cambio de la textura de la pasta sin relleno.

Lasagna

En este caso, las cintas de pastas presentan valores que disminuyen durante el almacenamiento congelado, debido a que el inverso de este parámetro está relacionado con la velocidad de decaimiento inicial, un menor valor de k_1 indica un menor comportamiento elástico (Pollak y Peleg, 1980). En cuanto a los valores de las pendientes, k_2 , no se encuentran diferencias significativas para los tiempos almacenamiento ensayados. De esta manera, en el caso particular de la pasta rellena el aplicar el modelo de Peleg brinda similar información al modelo de Maxwell Generalizado, con la ventaja de ser más simple de calcular y con un número menor de parámetros (Sozer y Dalgic, 2007; Sozer y col., 2008).

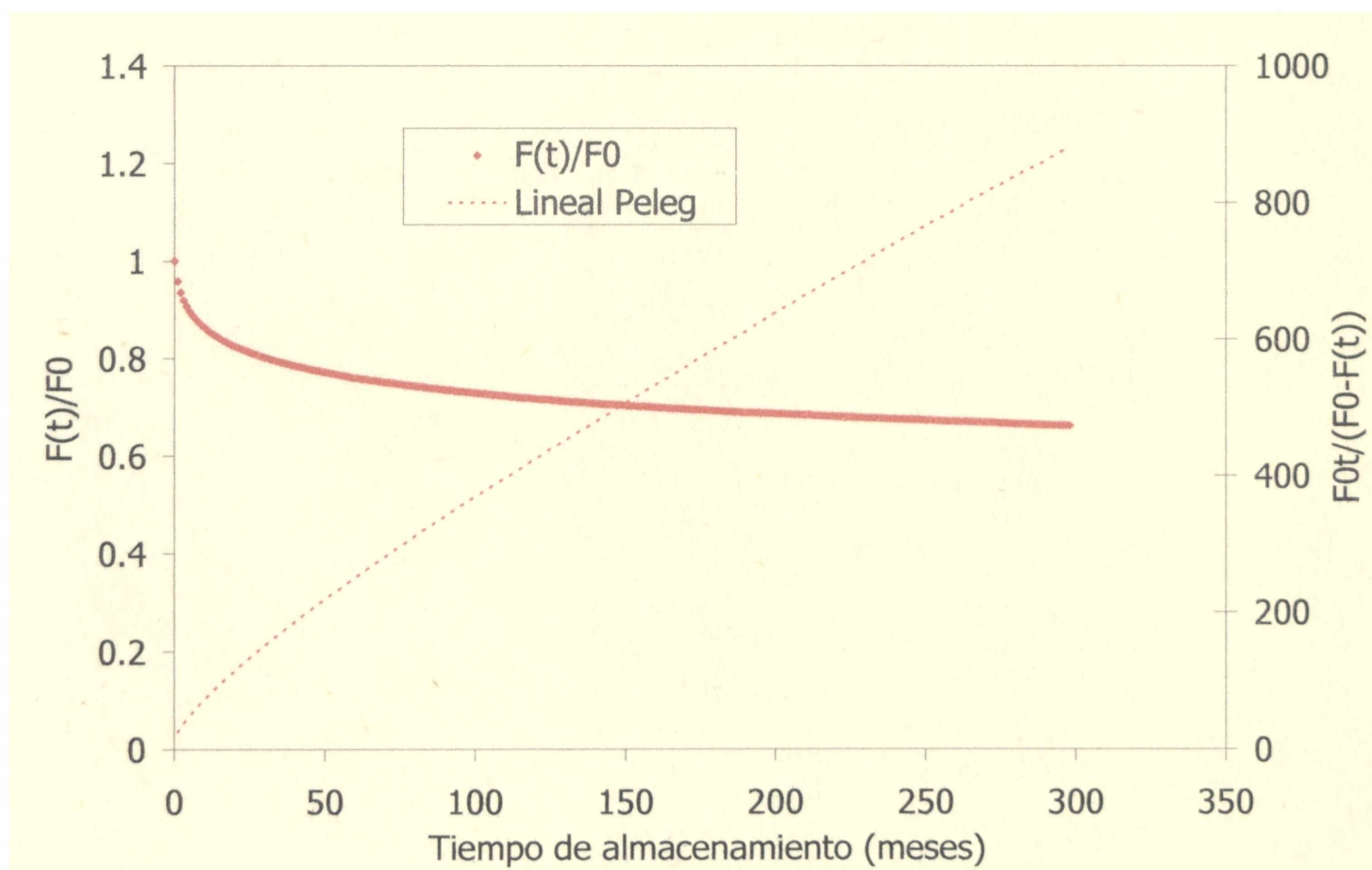


Figura 4.23. Datos experimentales del ensayo de relajación para cintas de lasagna almacenadas congeladas y linealizadas según el modelo de Peleg.

Tabla 4.3. Parámetros de la ecuación de Peleg para pastas tipo tallarines a distintos tiempos de almacenamiento.

Tiempo de almacenamiento (meses)	Criogénico		Túnel	
	k ₁	k ₂	k ₁	k ₂
0	64.54 ^a	2.40 ^a	64.20 ^a	2.58 ^a
1	65.85 ^a	2.34 ^a	78.87 ^a	2.48 ^a
2	68.93 ^a	2.39 ^a	74.64 ^a	2.75 ^a
4	74.37 ^a	2.49 ^a	61.33 ^a	2.48 ^a
6	65.32 ^a	2.74 ^a	58.90 ^a	2.78 ^a
8	59.57 ^a	2.52 ^a	62.66 ^a	2.77 ^a
10	65.37 ^a	2.38 ^a	64.48 ^a	2.44 ^a
12	67.40 ^a	2.65 ^a	50.37 ^a	2.32 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

Tabla 4.4. Parámetros de la ecuación de Peleg para las cintas de pastas rellenas a distintos tiempos de almacenamiento.

Tiempo de almacenamiento (meses)	Criogénico		Túnel	
	k ₁	k ₂	k ₁	k ₂
0	95.33 ^a	2.80 ^a	81.40 ^a	2.68 ^a
1	73.07 ^a	2.93 ^a	68.23 ^b	2.87 ^a
2	64.17 ^b	2.60 ^a	63.54 ^b	2.29 ^a
4	62.45 ^b	2.34 ^a	60.17 ^b	2.72 ^a
6	58.63 ^b	2.28 ^a	71.25 ^{ab}	2.18 ^a
8	61.35 ^b	2.54 ^a	62.53 ^b	2.79 ^a
10	57.22 ^b	2.83 ^a	68.17 ^a	2.49 ^a
12	65.28 ^b	2.72 ^a	62.31 ^b	2.45 ^a

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

4.4.2. Ensayos oscilatorios dinámicos

La figura 4.24 muestra la variación del módulo elástico durante el almacenamiento congelado de pastas tipo tallarines. Dicho parámetro presentó un descenso importante en los primeros tiempos del almacenamiento congelado, para el caso de las pastas congeladas en gabinete criogénico reconfirmando de esta forma que las ventajas conseguidas con las velocidades rápidas de congelación se pierden ya en los primeros meses de almacenamiento congelado. Esta disminución de la elasticidad da indicio de las modificaciones que sufre la estructura de las pastas por la formación de cristales de hielo y la recristalización (Laguerre y Flick, 2007). Al transcurrir el tiempo de almacenamiento ensayado no se encuentran diferencias significativas en el módulo elástico.

Asimismo, la variación de los módulos G' y G'' durante el almacenamiento se ve reflejada en la variación de la tangente del ángulo de deformación, $\tan \delta$, figura 4.25. Este parámetro es un indicador del carácter elástico del alimento, siendo menor cuanto mas fuerte sea la red. La $\tan \delta$ aumenta significativamente durante el almacenamiento congelado de las pastas tipo tallarines, independientemente del modo de congelación, reflejando de esta manera la pérdida de la estructura elástica debido al daño estructural por aumento del tamaño de cristales de hielo. Al final del almacenamiento duplica el valor inicial.

Al analizar los resultados obtenidos para las cintas de pastas de lasagna, rellenas, se puede ver en las figuras 4.26 y 4.27 que éstas se vuelven menos elásticas a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento independientemente del método de congelación. Este comportamiento se pone en evidencia en la disminución del valor de G' y en el aumento de la tangente del ángulo de desfase, además se puede inferir que la velocidad de cambio de los parámetros mencionados anteriormente es mayor en los primeros meses de almacenamiento, permaneciendo prácticamente constante a partir del cuarto mes de almacenamiento congelado. Esto podría estar directamente relacionado con la difusión de agua desde los distintos componentes del plato preparado hacia la pasta y con la recristalización del hielo y coincidiría con las variaciones de texturas determinadas anteriormente.

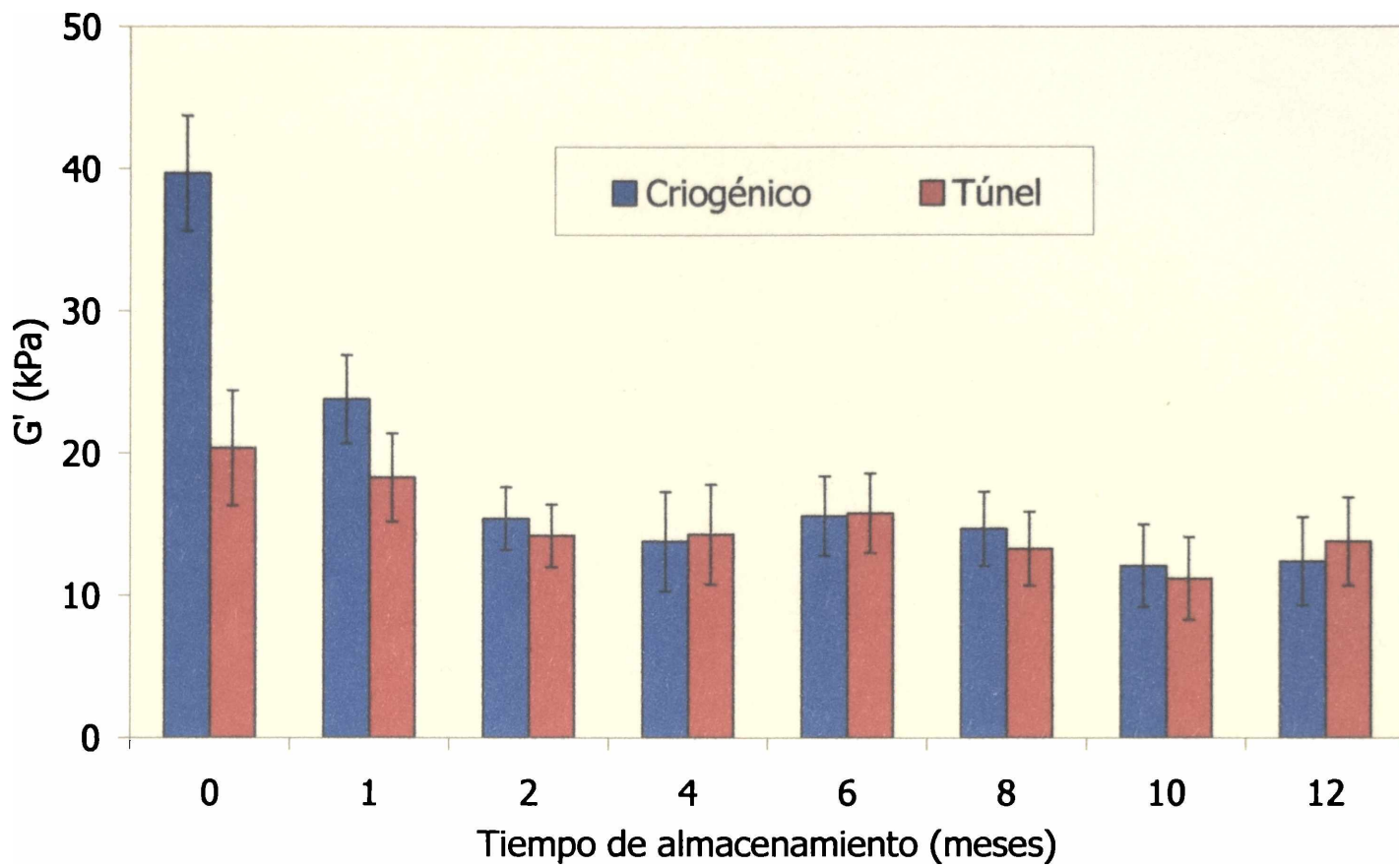


Figura 4.24. Variación del módulo G' durante de pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado.

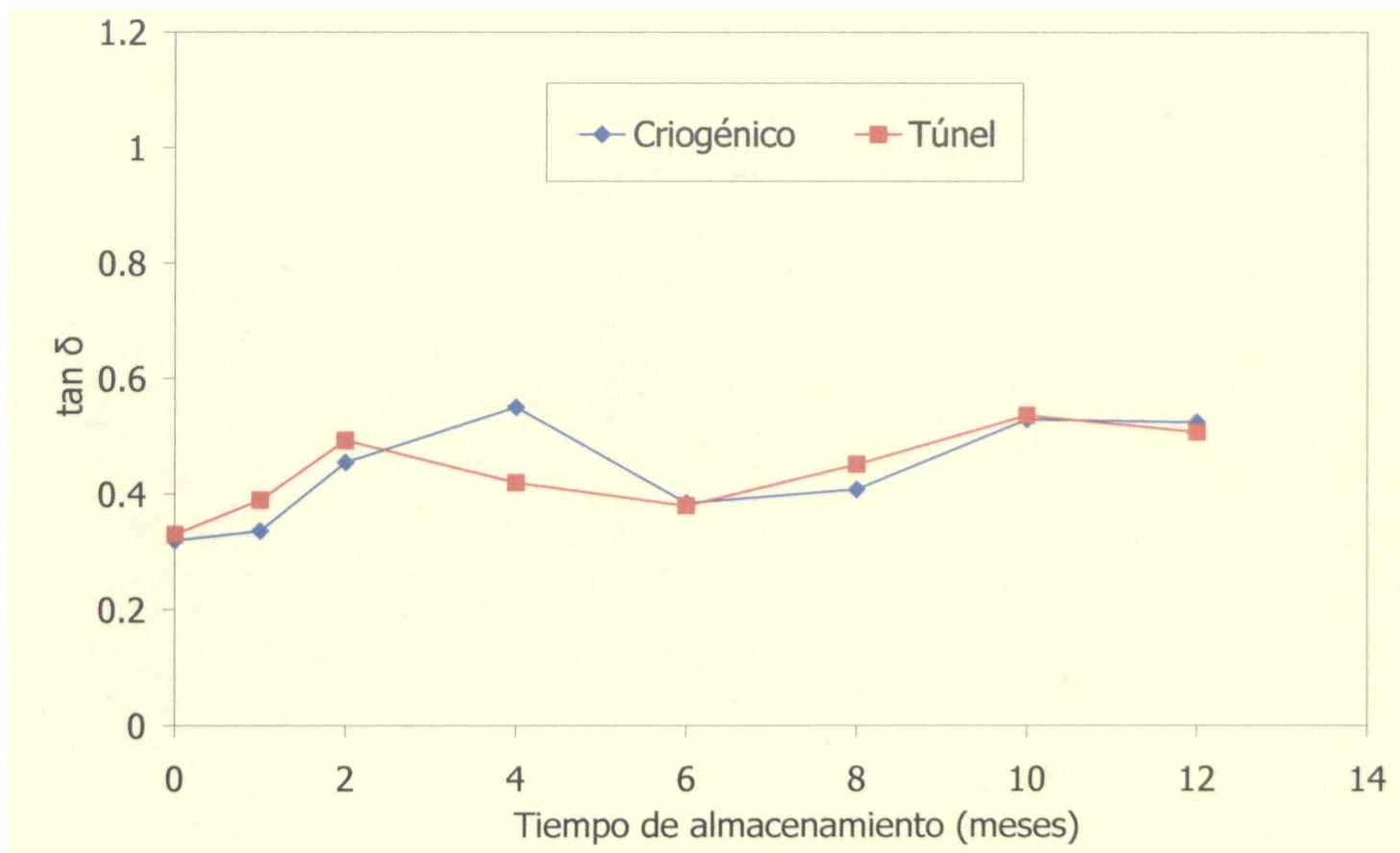


Figura 4.25. Variación de la tangente del ángulo de deformación, $\tan \delta$, durante el almacenamiento congelado de pastas tipo tallarines.

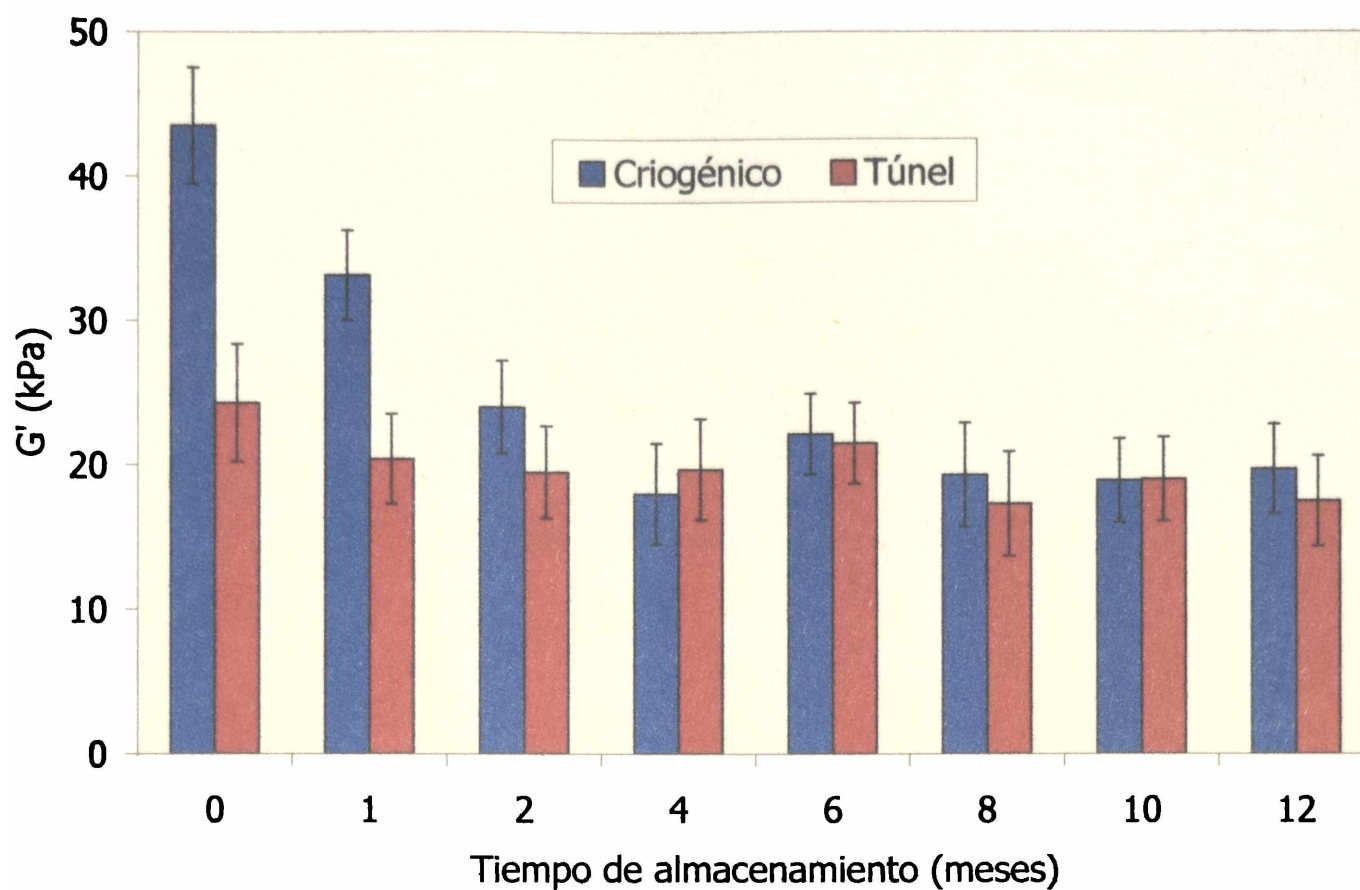


Figura 4.26. Variación del módulo G' de las cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

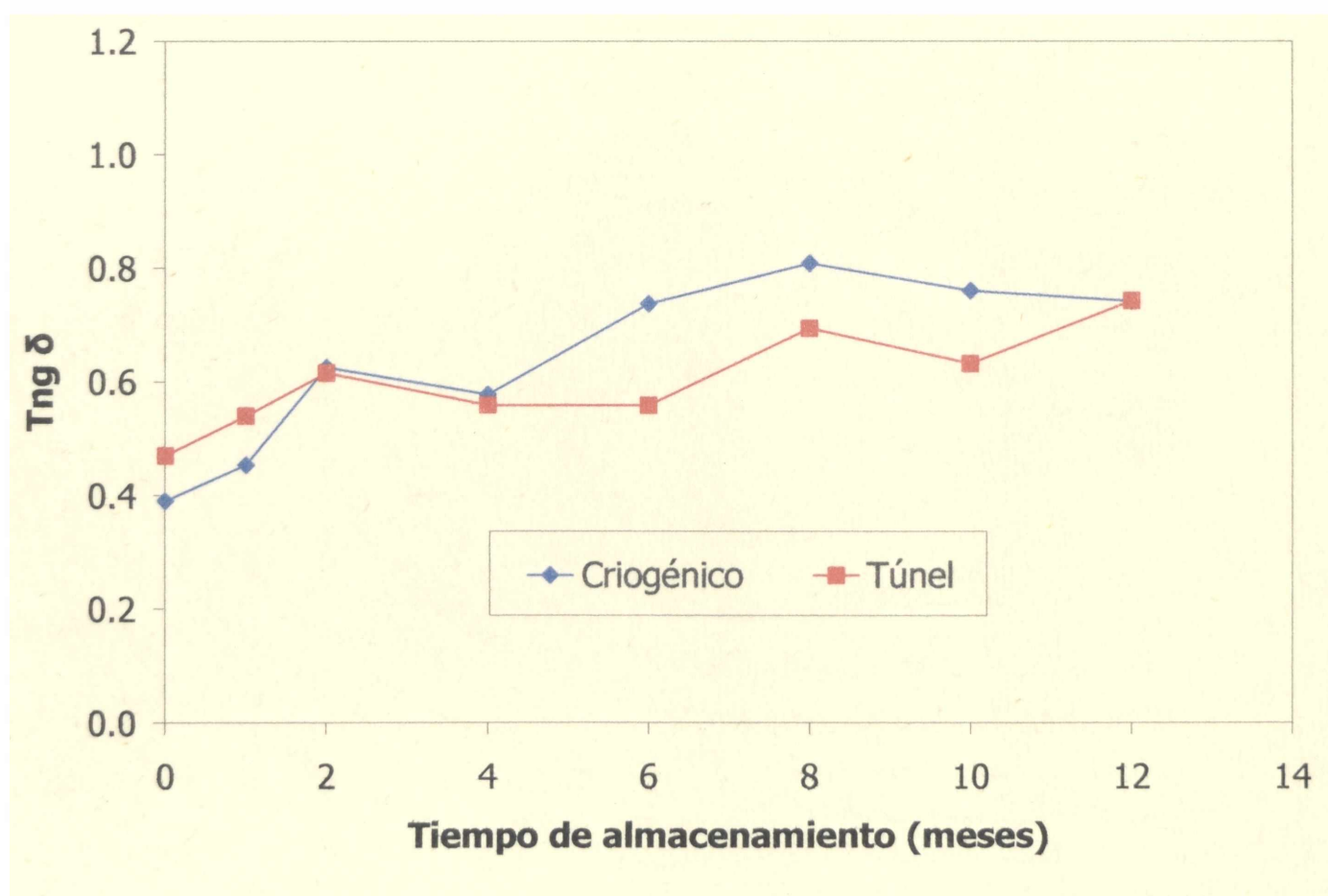


Figura 4.27. Variación de la tangente del ángulo de deformación, $\tan \delta$, de las cintas de lasagna durante el almacenamiento congelado.

4.5. Vida útil microbiológica

Al realizar los ensayos de microorganismos de deterioro, ya sea microorganismos mesófilas y hongos y levaduras, se obtuvo para todos los tiempos de almacenamientos congelado estudiados valores de log UFC/g menores a 4. Estos resultados son los esperados debido a que la congelación es el uno de los métodos de preservación más inhibitorio del crecimiento microbiano, según Gormley y col. (2002) ni las fluctuaciones de temperatura (siempre que se mantenga muy por debajo de 0 °C), ni la duración del tiempo de almacenamiento congelado tienen un efecto estadístico significativo sobre el total de microorganismos viables en distintos alimentos preparados (pizzas, salsas, pescados, cerdo).

Redmond y col. (2005) informan que el total de microorganismos viables no presenta diferencias significativas durante el almacenamiento congelado de Lasagna a largo plazo (12 meses), independientemente si el producto está o no envasado con atmósferas modificadas.

4.6. Aceptabilidad sensorial

Las tablas 4.5 y 4.6 muestran el porcentaje de aceptabilidad para cada atributo evaluado de la pasta tipo tallarines y de la pasta rellena tipo lasagna respectivamente, durante su almacenamiento congelado.

Tallarines

Al analizar los resultados del ensayo de aceptabilidad sensorial de tallarines podemos inferir que durante el almacenamiento congelado los consumidores encontraron diferencias significativas en todos los atributos evaluados.

La apariencia de las pastas resulta menos aceptable entre el segundo y el cuarto mes de almacenamiento, estos resultados coinciden con las variaciones de color medidas instrumentalmente. Hacia el final del almacenamiento nuevamente este atributo disminuye, esto podría tener que ver no sólo con los cambios en el producto sino también con cansancio o intuición en el evaluador (Meilgaard y col., 2006).

Según los consumidores, la diferencia encontrada entre métodos de congelación con respecto a la consistencia de los tallarines no es detectada a partir del primer mes de almacenamiento, demostrando nuevamente que las ventajas conseguidas por el método de congelación rápida se pierden durante el almacenamiento. La consistencia de los tallarines vuelve a disminuir entre el cuarto y el sexto mes de almacenamiento, manteniéndose luego constante hasta el final del período ensayado.

En cuanto al sabor y a la aceptabilidad global encontramos que ambos presentan un comportamiento similar al atributo consistencia.

Tabla 4.5. Resultados del ensayo de evaluación sensorial para las pastas tipo tallarines almacenadas congeladas.

Tiempo (meses)	Apariencia		Consistencia		Sabor		Aceptabilidad Global	
	CR	TU	CR	TU	CR	TU	CR	TU
0	75.9 ^a	74.4 ^a	73.3 ^a	65.9 ^b	77.8 ^a	71.8 ^b	76.3 ^a	71.1 ^b
1	75.3 ^a	75.1 ^a	64.8 ^b	63.1 ^b	63.6 ^b	62.5 ^b	65.3 ^b	64.4 ^b
2	74.8 ^a	74.9 ^a	62.8 ^b	64.0 ^b	62.4 ^b	65.1 ^b	63.1 ^b	64.2 ^b
4	67.3 ^b	65.8 ^b	63.0 ^b	62.8 ^b	52.3 ^c	54.8 ^c	63.7 ^b	62.3 ^b
6	64.6 ^b	65.1 ^b	52.4 ^c	55.1 ^c	52.5 ^c	50.9 ^c	55.4 ^c	53.9 ^c
8	66.3 ^b	64.5 ^b	50.3 ^c	48.5 ^c	55.0 ^c	53.7 ^c	53.6 ^c	52.7 ^c
10	60.2 ^c	57.4 ^c	49.2 ^c	50.6 ^c	53.3 ^c	52.8 ^c	54.2 ^c	55.5 ^c
12	58.7 ^c	59.4 ^c	50.5 ^c	51.1 ^c	52.4 ^c	52.1 ^c	55.3 ^c	53.2 ^c

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).

CR: criogénico, TU: túnel.

Lasagna

Al analizar los resultados que se detallan en la tabla 4.6 se puede observar que, al igual que para el caso de los tallarines, al realizar el análisis de aceptabilidad sensorial de las cintas de pasta que conforman el plato preparado lasagna, nuevamente los consumidores encontraron diferencias significativas con respecto al tiempo de almacenamiento congelado en todos los atributos evaluados.

La apariencia, aunque es el atributo que menos varía según los consumidores, presenta una disminución muy notoria entre el segundo y cuarto mes de almacenamiento congelado.

El cambio más brusco en el atributo consistencia es mayor entre el primer y segundo mes, y luego se mantiene prácticamente constante hasta el final del tiempo ensayado.

Con respecto al sabor, presenta el mismo comportamiento que la consistencia y como consecuencia ambos serán los determinantes para la cuantificación de la aceptabilidad global por parte de los consumidores.

Tabla 4.6. Resultados del ensayo de evaluación sensorial para las cintas de pastas que conforman la pasta rellena almacenadas congeladas.

Tiempo (meses)	Apariencia		Consistencia		Sabor		Aceptabilidad Global	
	CR	TU	CR	TU	CR	TU	CR	TU
0	73.8 ^a	76.2 ^a	60.5 ^a	61.4 ^a	62.3 ^a	61.4 ^a	63.5 ^a	62.7 ^a
1	75.1 ^a	73.2 ^a	62.4 ^a	63.1 ^a	63.6 ^a	63.4 ^a	66.5 ^a	63.7 ^a
2	75.2 ^a	75.1 ^a	55.9 ^b	56.3 ^b	63.4 ^a	62.7 ^a	63.2 ^a	63.8 ^a
4	66.8 ^b	65.3 ^b	57.0 ^b	56.4 ^b	57.4 ^b	55.9 ^b	63.5 ^a	62.1 ^a
6	64.7 ^b	65.2 ^b	55.7 ^b	55.4 ^b	55.1 ^b	53.5 ^b	55.5 ^b	55.1 ^b
8	64.0 ^b	66.3 ^b	54.8 ^b	56.1 ^b	54.0 ^b	53.7 ^b	54.7 ^b	56.4 ^b
10	63.5 ^b	64.5 ^b	55.9 ^b	56.3 ^b	55.3 ^b	56.1 ^b	56.0 ^b	55.1 ^b
12	64.6 ^b	64.0 ^b	55.0 ^b	53.7 ^b	54.7 ^b	56.2 ^b	53.9 ^b	54.1 ^b

Las diferentes letras indican diferencias significativas entre tiempo de almacenamiento ($\alpha = 0.05$).
CR: criogénico, TU: túnel.

Debemos notar que el plato preparado lasagna, a pesar de presentar cambios físicos del mismo orden que los tallarines, los cuales se cuantifican con los análisis de textura y reológicos instrumentales, y de obtener valores menores (respecto de los tallarines) de aceptabilidad global al inicio de la etapa de almacenamiento, presenta un porcentaje de aceptabilidad similar al cabo de los doce meses de almacenamiento. En parte, este resultado puede explicarse por el tipo de plato preparado: otros autores

también reportan diferencias en las exigencias o expectativas del consumidor en cuanto a calidad de pasta con y sin relleno (di Mónaco y col., 2004; Farley y Reed, 2005).

Como lo mencionáramos anteriormente, los valores de aceptabilidad de las pastas pueden atribuirse a las variaciones de textura que experimentan las pastas durante el almacenamiento congelado, aunque al correlacionar los valores instrumentales con los sensoriales sólo se logra un buen ajuste con los valores de G' versus la consistencia, en el caso de pastas tipo tallarines, con valores de r^2 del orden de 0.75. Las mencionadas correlaciones se presentan en las figuras 4.28 y 4.29 para el caso de tallarines congelados en gabinete criogénico y para congelado en túnel de aire forzado respectivamente, tomando las medidas realizadas a lo largo de doce meses de almacenamiento.

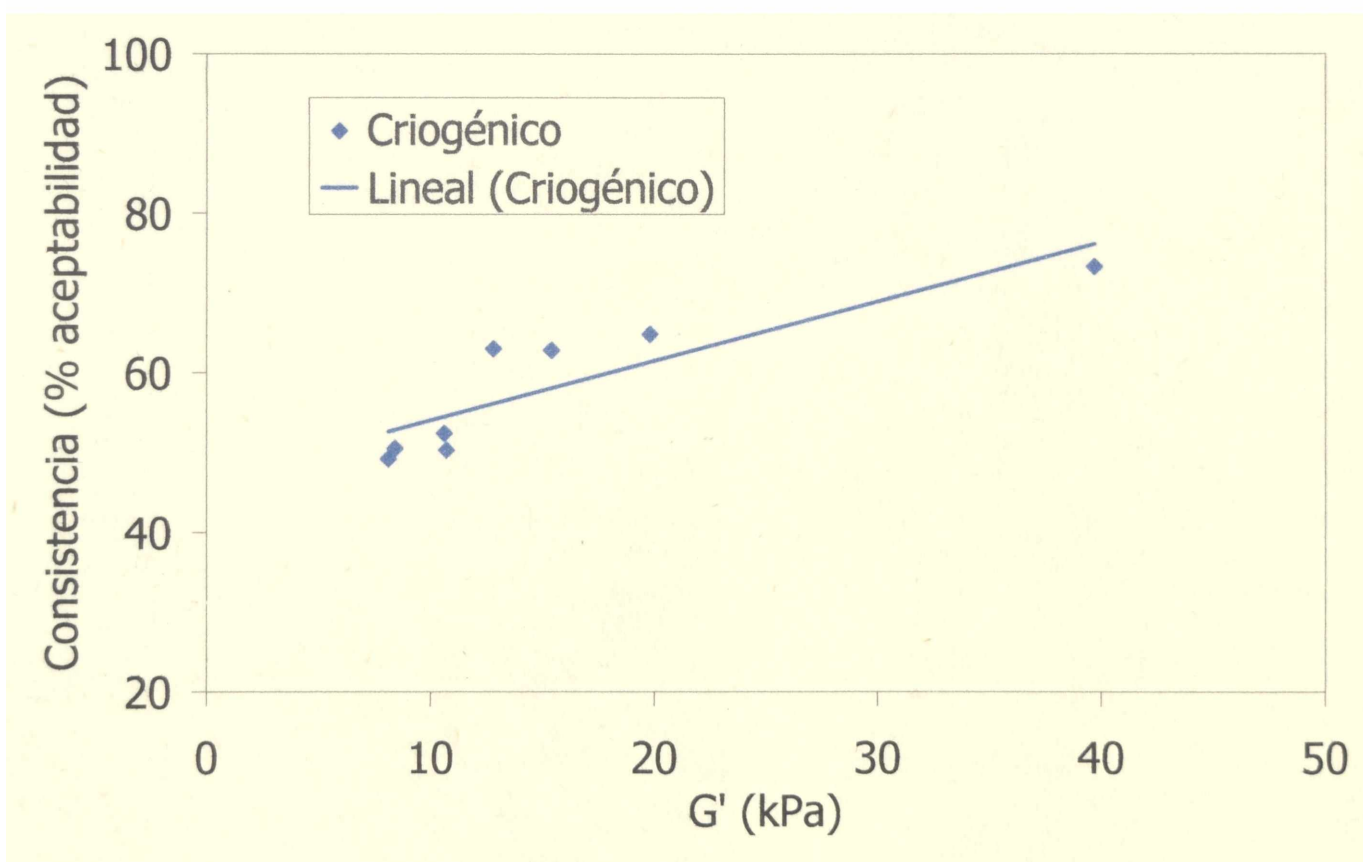


Figura 4.28. Correlación entre medidas instrumentales y sensoriales de textura de tallarines congelados criogénicos y almacenados.

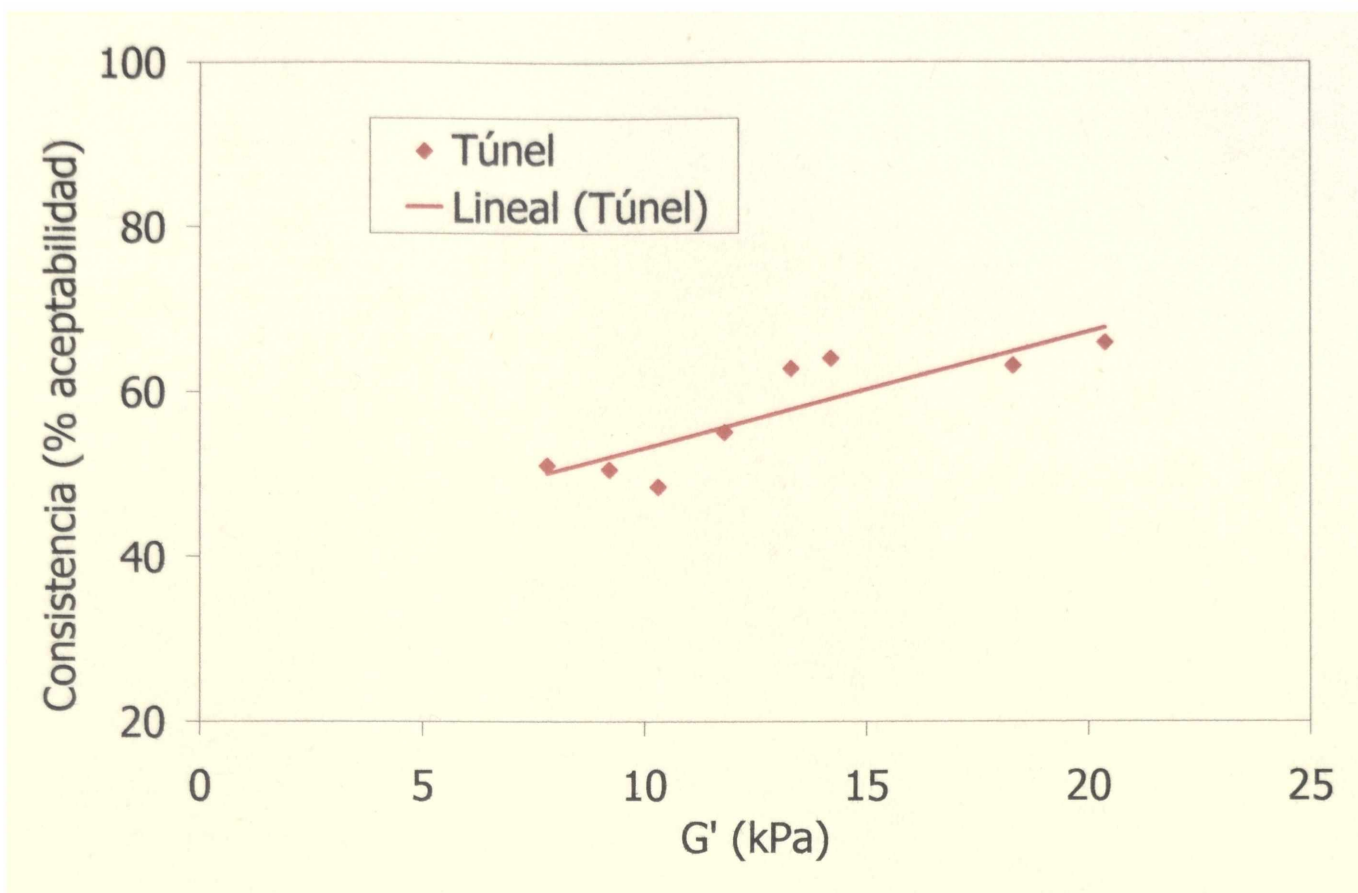


Figura 4.29. Correlación entre medidas instrumentales y sensoriales de textura de tallarines congelados en túnel y almacenados.

4.7. Vida útil sensorial

Los resultados de los ensayos de vida útil de las pastas tipo tallarines y lasagna almacenadas congeladas se presentan en las figuras 4.30 y 4.31 respectivamente. En dicha figura se grafican los porcentajes de rechazo en función del tiempo de almacenamiento congelado, se incluyen además las curvas obtenidas de la función rechazo, $F(t)$, mediante la aplicación de un modelo tipo logístico (ecuación 2.3)

A partir de las funciones rechazo, $F(t)$, obtenidas se calcula la vida útil sensorial para las pastas ensayadas teniendo en cuenta un 25% y un 50% de rechazo de los consumidores. Estos resultados se muestran en la tabla 4.7. Debemos hacer hincapié en que el porcentaje de rechazo define siempre una relación de compromiso entre la calidad del alimento y el tiempo de vida útil. Si se desea diseñar un producto Premium, con altas expectativas de calidad por parte del consumidor, el porcentaje de rechazo debe ser lo más bajo posible.

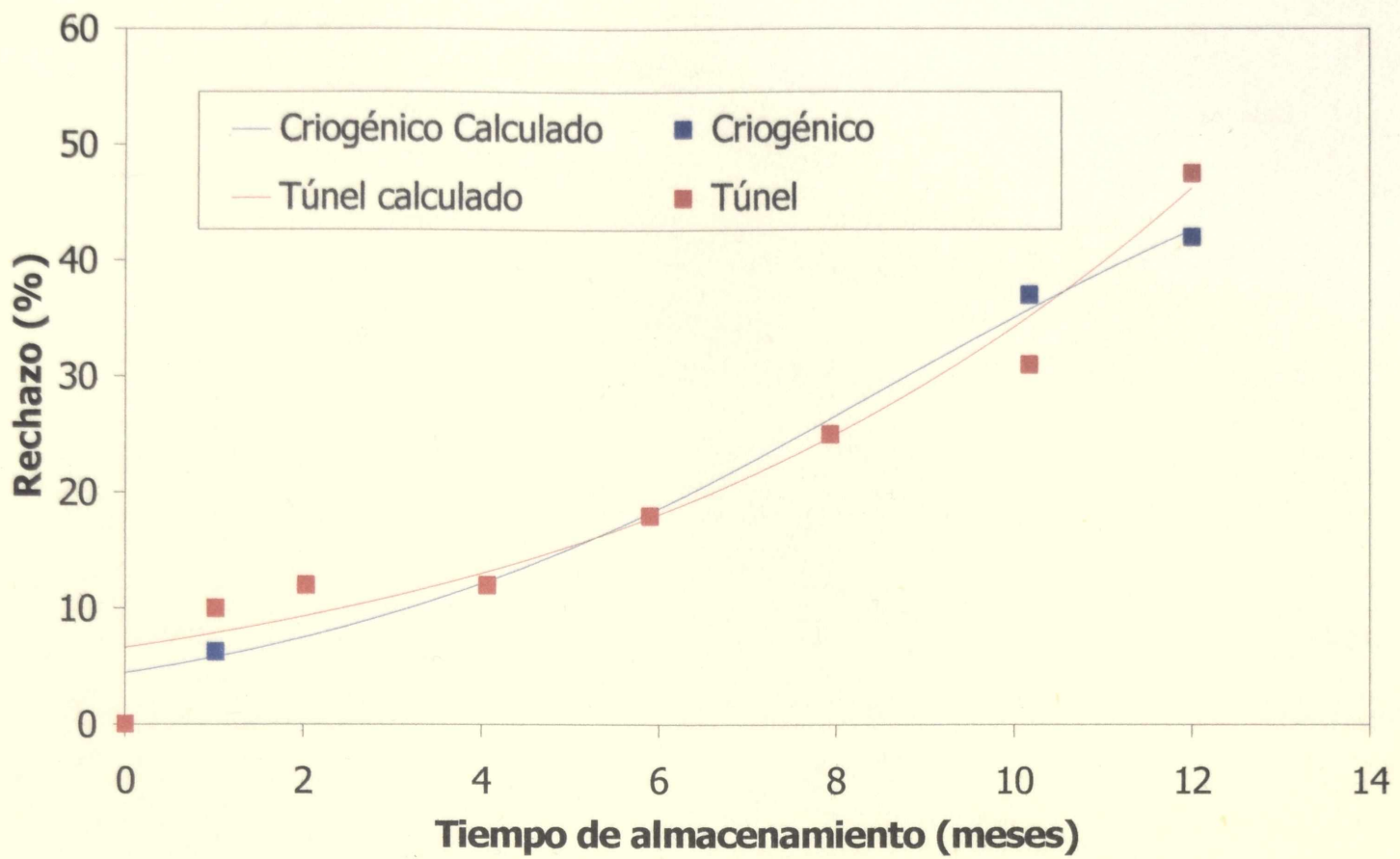


Figura 4.30. Porcentajes de rechazo dados por los consumidores en función del tiempo de almacenamiento congelado de tallarines.

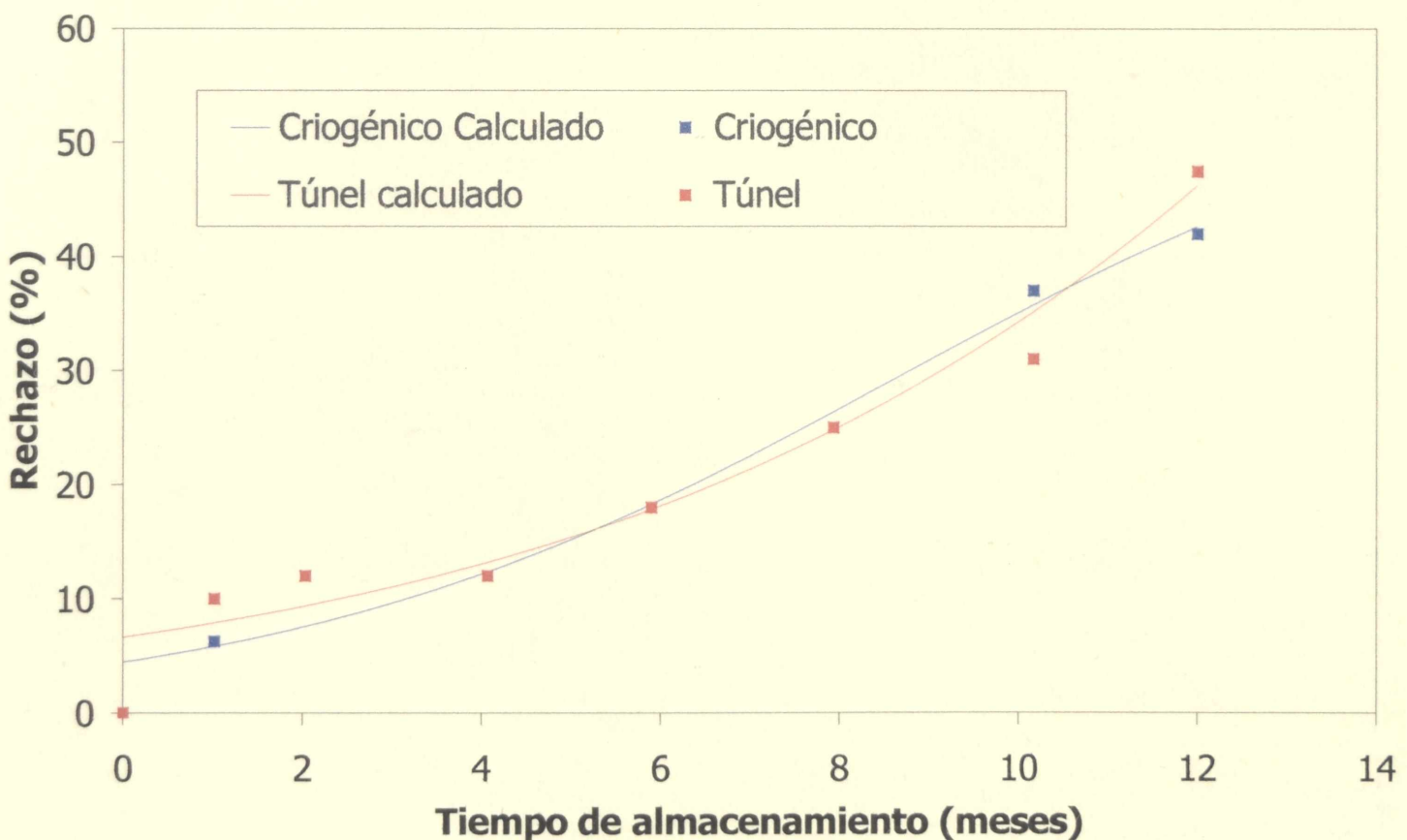


Figura 4.31. Porcentajes de rechazo dados por los consumidores en función del tiempo de almacenamiento congelado de pastas rellenas.

Tabla 4.7. Vida útil sensorial calculada a partir de la función de rechazo

	Criogénico		Túnel	
	25% de rechazo	50% de rechazo	25% de rechazo	50% de rechazo
Tallarines	5 meses	10.4 meses	4.8 meses	10 meses
Lasagna	7.6 meses	> 12 meses	8 meses	> 12 meses

De las curvas de rechazo (figuras 4.29 y 4.30) y de la tabla 4.7 podemos inferir que independientemente del porcentaje de rechazo que se seleccione para definir la vida útil sensorial, el método de congelación no influye en la vida útil sensorial de ambos platos preparado.

Con respecto al tipo de pasta podemos ver que la pasta sin relleno tiene menor vida útil sensorial. Esto puede deberse a las pérdidas de las características propias de una pasta "al dente", atributo que no es tan valorado en el caso de las pastas rellenas donde ya la migración de humedad en el producto fresco provoca la pérdida de estas características.

Al igual que en el caso del plato preparado refrigerado, se demuestra que mediante ensayos sencillos y directamente a partir de la opinión del consumidor se puede predecir el período de validez de estos productos.

4.8. Cinéticas de deterioro

A partir de los resultados obtenidos de variaciones del contenido de humedad, color, textura, reología y aceptabilidad sensorial de las pastas durante el almacenamiento congelado se analizaron y seleccionaron los atributos determinantes en la calidad final de dichos alimentos, y a partir, de esta selección se determinaron las cinéticas de deterioro correspondientes.

Tallarines

En el caso de las pastas tipo tallarines durante el almacenamiento congelado se observa que, al igual que las pastas almacenadas refrigeradas, de los parámetros

analizados, el que presenta la mayor variación es la firmeza, lo cual se pone en evidencia en los ensayos de textura y reológicos informados anteriormente. Además dichas diferencias fueron percibidas por el consumidor habitual e influyeron en su aceptabilidad. En base a estos resultados se selecciona este atributo de calidad como el crítico, mediante el cual calcular la cinética de deterioro durante el almacenamiento de este tipo de pasta.

Por lo tanto, a partir de los valores de textura instrumental y sensorial obtenidos se calculan las respectivas cinéticas de deterioro. Se encuentran en ambos casos, instrumental, determinado por los valores de dureza del ensayo de TPA, y sensorial, determinado por el atributo consistencia, que un comportamiento de primer orden es el que mejor ajusta a las determinaciones experimentales.

En las figuras 4.32 y 4.33 se presentan las cinéticas de dureza y aceptabilidad respectivamente. En ambos casos se presentan los valores experimentales y la curva predicha a partir de considerar una cinética de primer orden.

A partir de las ecuaciones de ajuste se obtienen los valores de las constantes cinéticas, k , las cuales se presentan en la tabla 4.23.

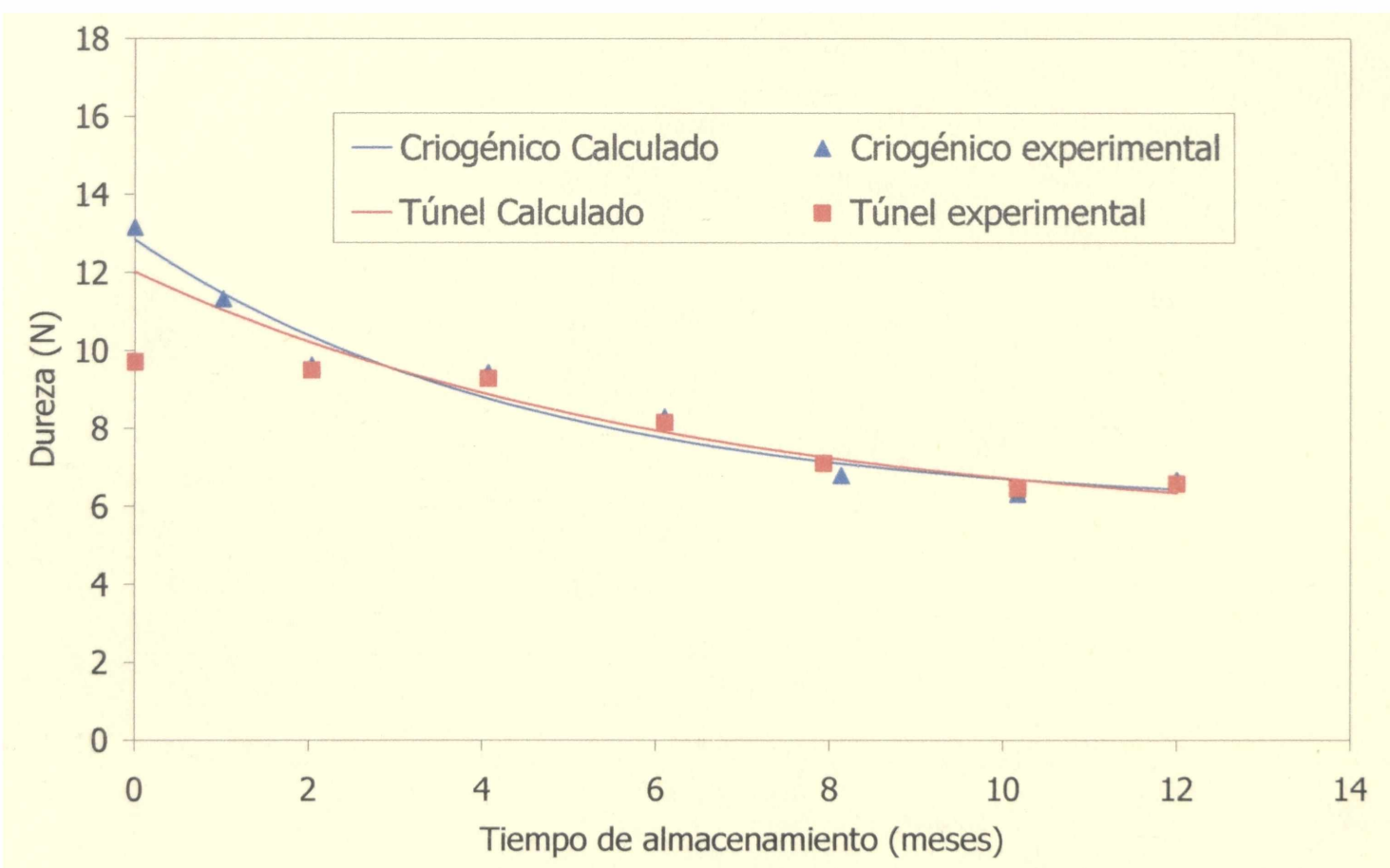


Figura 4.32. Cinética de pérdida de dureza de los tallarines almacenados congelados.

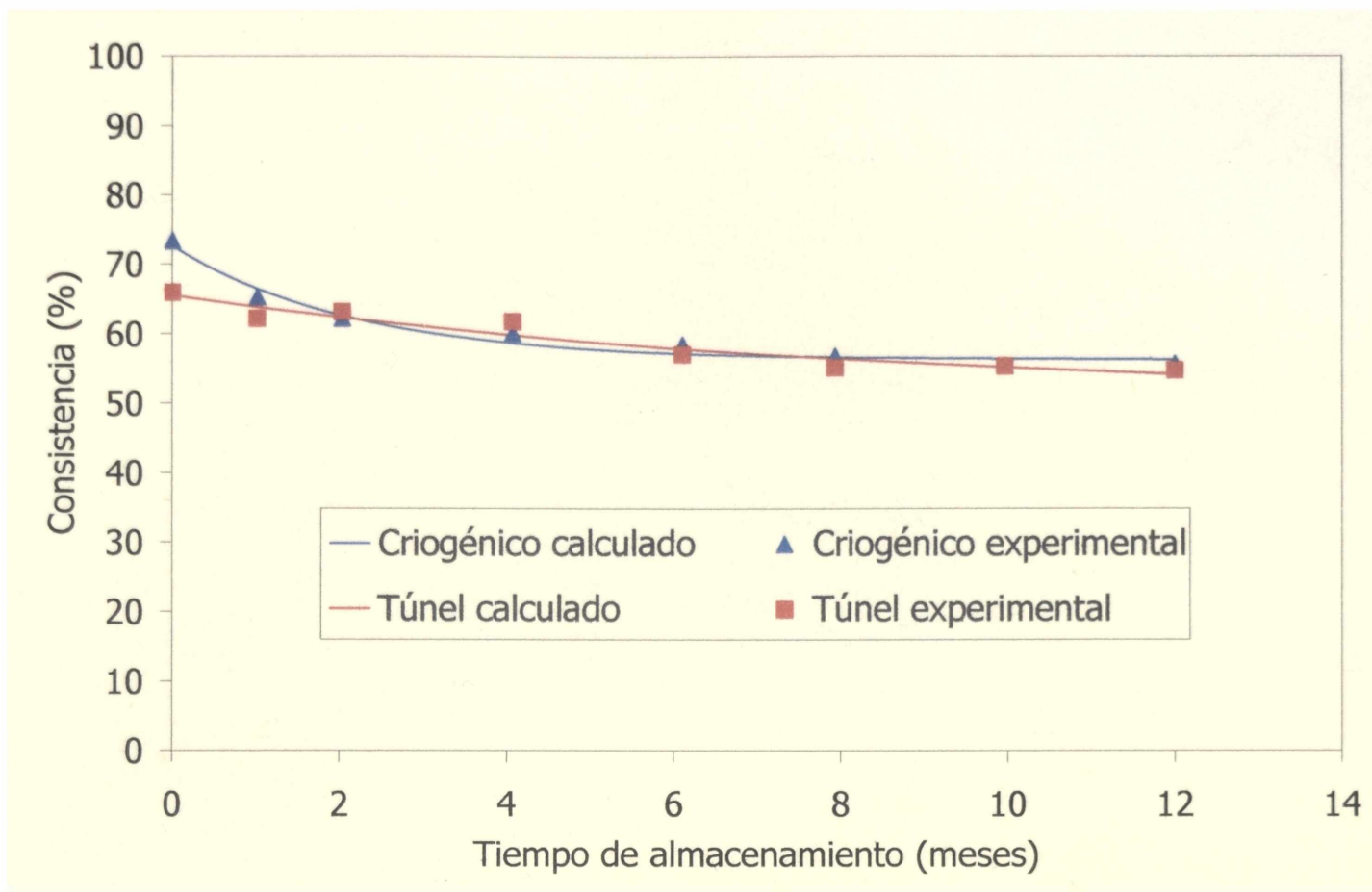


Figura 4.33. Cinética de consistencia sensorial de los tallarines almacenados congelados.

Tabla 4.8. Contantes cinéticas para tallarines almacenados congelados.

	Textura instrumental		Textura sensorial	
	CR	TU	CR	TU
k (día ⁻¹)	0.221	0.283	0.153	0.235
r ²	0.96	0.98	0.98	0.98

CR: criogénico, TU: túnel

Lasagna

En el caso de la pasta rellena, al igual que en el de los tallarines, el atributo de calidad más vulnerable durante el almacenamiento en las condiciones ensayadas es la textura, afirmación avalada no solamente por los ensayos instrumentales, sino también por los sensoriales.

Luego de analizar las distintas determinaciones realizadas se selecciona para evaluar la cinética de deterioro de la textura instrumental las medidas de dureza obtenidas a partir del análisis de perfil de textura, por ser el que presentó mayor variación durante el almacenamiento congelado y el que mejor ajustó a un determinado orden de reacción, en este caso primer orden.

En la figura 4.34 se presentan las curvas experimentales de medidas de textura instrumental de cintas de lasagna y las curvas predichas obtenidas mediante la aplicación de una cinética de primer orden. Análogamente en la figura 4.35 se presenta la cinética de pérdida de consistencia sensorial de cintas de pastas rellenas almacenadas congeladas.

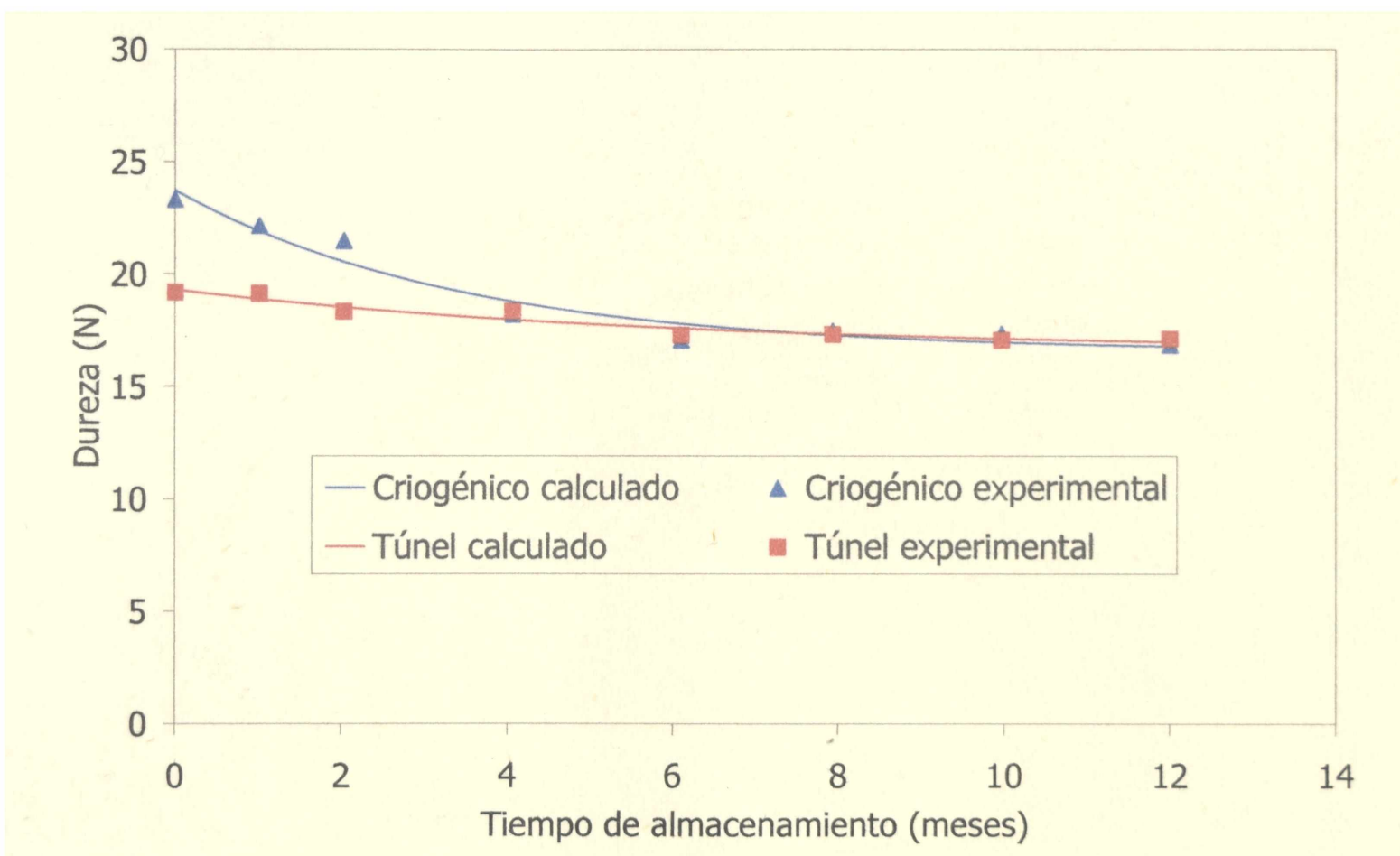


Figura 4.34. Curvas experimentales y predichas de textura instrumental de cintas de pastas rellenas almacenadas congeladas.

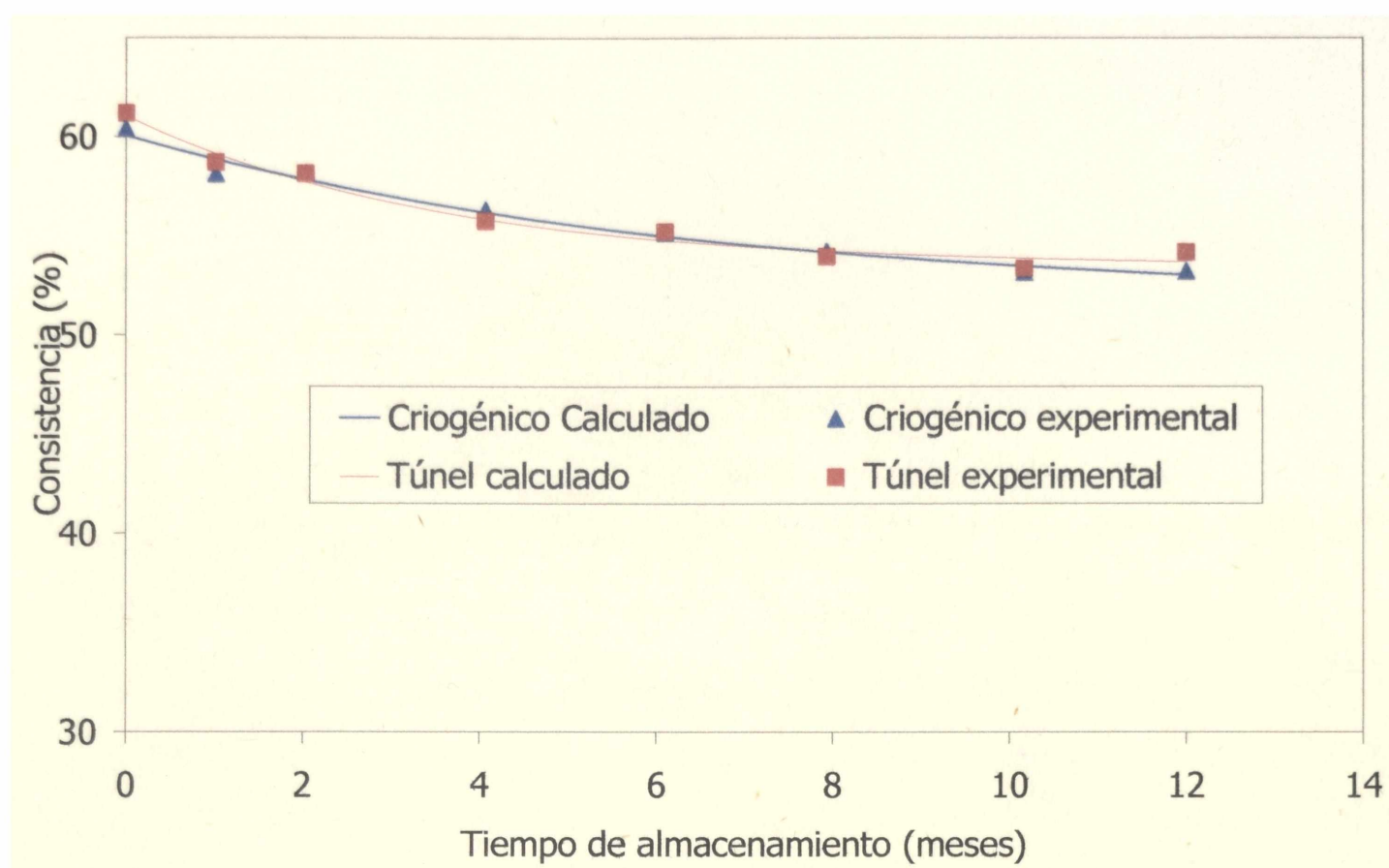


Figura 4.35. Cinéticas de pérdida de consistencia sensorial de cintas de pastas rellenas almacenadas congeladas.

A partir de las diferentes cinéticas determinadas se obtuvieron los valores de k . Los valores de los mencionados parámetros se presentan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Parámetros cinéticos de las cintas de pasta rellena almacenadas

	Textura instrumental		Textura sensorial	
	CR	TU	CR	TU
k (dia ⁻¹)	0.288	0.357	0.465	0.446
r^2	0.96	0.93	0.97	0.93

CR: criogénico, TU: túnel

4.9. Conclusiones

El contenido de humedad de las pastas tipo tallarines congeladas presenta una disminución significativa durante los primeros meses de almacenamiento, independientemente del método de congelación. En el caso de las pastas que conforman el plato relleno lasagna, el contenido de humedad presenta un aumento significativo, indicando que a pesar del estado congelado hay migración de agua desde el relleno hacia la pasta.

Al analizar las distintas magnitudes que cuantifican el color superficial, se puso en evidencia nuevamente, que la luminosidad de las pastas, independientemente si esta contenía relleno o no, es la coordenada que mayor sensibilidad presenta durante el almacenamiento congelado. Para los tallarines este índice aumento durante el almacenamiento. En contraposición, para la pasta almacenada con relleno de espinaca y salsa los valores de L^* disminuyeron significativamente, en este caso esta variación podría deberse a la difusión de jugos de los demás componentes del plato preparado.

El análisis de las características texturales de las pastas mostró que ambas pastas estudiadas disminuyeron su fuerza máxima de corte, dureza y consistencia durante el almacenamiento congelado, cambio que es más notorio al principio del almacenamiento congelado.

Las características viscoelásticas de las pastas estudiadas pudieron determinarse mediante modelos simples como el de Maxwell Generalizado y el de Peleg. En el caso del segundo modelo, se determina que resulta poco sensible para detectar cambios durante el almacenamiento congelado de las pastas tipo tallarines.

Los ensayos oscilatorios dinámicos ponen en evidencia la influencia del aumento del tamaño medio de los cristales de hielo durante todo el almacenamiento, a través de la disminución del módulo de almacenamiento G' y el aumento del ángulo de desfase, $\tan \delta$.

Como era previsible, el almacenamiento congelado no afecta la vida útil microbiológica de ambos platos preparados.

El análisis sensorial refleja que el almacenamiento congelado afecta negativamente la aceptabilidad de ambos platos preparados.

Los ensayos de vida útil sensorial permiten determinar el período de validez para el consumo del alimento almacenado congelado, pudiendo definir a través de un porcentaje de rechazo la calidad final del alimento.

Por último, se determinó el modelo matemático de pérdida de calidad instrumental y sensorial que mejor ajusta a los resultados experimentales. Este modelo correspondió a una cinética de primer orden para ambos tipos de pastas y metodologías de congelación.

Capítulo V

Conclusiones generales

En el presente trabajo de tesis se analizó la influencia de las tecnologías de preservación, refrigeración y congelación, en distintos parámetros de calidad de pastas cocidas preparados como plato listo para servir, en dos presentaciones: pasta tipo tallarines y pasta rellena (lasagna).

En ambos platos sólo se analizó la pasta cocida, en el caso del producto relleno se observó una notoria influencia de los ingredientes del relleno, indicando que las tendencias encontradas podrían variar si cambia la composición del mismo.

Durante el almacenamiento refrigerado se cuantificó la variación de humedad, color superficial, textura y reología de las pastas en función del tiempo y la temperatura de almacenamiento. Además se determinó la vida útil microbiológica y a partir de ésta, la aceptabilidad sensorial y la vida útil sensorial.

Según los resultados experimentales obtenidos las medidas de textura tanto instrumental como sensorial son los parámetros críticos que determinan la cinética de

pérdida de calidad. En los casos específicos analizados en el presente trabajo de tesis, correspondió a una cinética de primer orden para ambos tipos de pasta excepto para la consistencia sensorial de pastas rellenas que siguió una cinética de orden cero.

Los análisis de textura y reológicos dan indicio que la velocidad de congelación influye en la calidad de las pastas congeladas. Estos ensayos confirman que la congelación produce daños estructurales en estos alimentos, en este sentido, condiciones de congelación más rápidas producen pastas de una calidad similar a la del producto fresco. Estas diferencias también se pusieron en evidencia en los ensayos sensoriales realizados. A pesar de éstas, ambos platos preparados congelados obtuvieron un alto índice de aceptabilidad por parte de los consumidores habituales que conformaron el panel de evaluación sensorial.

En cuanto a la influencia del tiempo de almacenamiento y del método de congelación en la calidad del plato preparado, se determinó mediante los ensayos texturales y viscoelásticos que las pequeñas diferencias obtenidas por el método de congelación en gabinete criogénico se perdieron durante el almacenamiento congelado de ambas pastas.

El análisis de las características texturales, viscoelásticas y sensoriales de las pastas mostró que ambas pastas estudiadas disminuyeron su fuerza máxima de corte, dureza y consistencia durante el almacenamiento congelado, cambios que fueron más notorios al principio del almacenamiento congelado y pueden atribuirse a la recristalización de hielo.

Los ensayos de vida útil sensorial permitieron determinar, en función de un porcentaje de rechazo predeterminado, el período de validez para el consumo del alimento almacenado congelado.

Por último, se determinó el modelo matemático de pérdida de calidad instrumental y sensorial que mejor ajusta a los resultados experimentales. Este modelo correspondió a una cinética de primer orden para ambos tipos de pastas y ambas metodologías de congelación.

Bibliografía

Adams, M., Moss, M. (1997). *Microbiología de los alimentos*. Editorial Acribia, Zaragoza (España).

American Association of Cereal Chemists (AACC). (1995). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 9th Ed., Método 16-50. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN (EEUU).

Andrés, S., Garcia, M., Zaritzky, N., Califano, A. (2006). Storage stability of low-fat chicken sausages. *Journal of Food Engineering*, 72, 311–319.

Andrieu, J., Stamatopoulos, A. (1986). Durum wheat pasta drying kinetics. *Lebensmittel Wissenschaft Technologie*, 19, 6, 448-456.

- Angioloni, A., Balestra, F., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. (2008). Small and large deformation tests for the evaluation of frozen dough viscoelastic behaviour. *Journal of Food Engineering*, 87, 527–531.
- ANMAT: Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (2004). *Código Alimentario Argentino*.
- Anzaldúa-Morales, A., Brusewitz, G., Anderson, J. (1999). Pecan texture as affected by freezing rates, storage temperature, and thawing rates. *Journal of Food Science*, 64, 2, 332-335.
- AOAC. (1995). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*, 5th ed.; Helrich K, ed; AOAC: Washington DC (USA).
- Baixauli, R., Salvador, A., Fiszman, S. (2008). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *Europe Food Research Technology*, 226, 523–530.
- Barret, A., Cardello, A., Maguire, P., Peleg, M. (2005). Moisture redistribution and textural changes in stored model sandwiches. *Journal of Texture Studies*, 36, 569–588.
- Batte, M., Hooker, N., Haab, T., Beaverson, J. (2007). Putting their money where their mouths are: consumer willingness to pay for multi-ingredient, processed organic food products. *Food Policy*, 32, 2, 145–159.
- Bertola, N. (1992). Vinculación entre modificaciones estructurales y microestructura durante la maduración de quesos en películas plásticas. Tesis doctoral, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
- Boer M, McCarthy M, Cowan C, Ryan I. (2004). The influence of life style characteristics and beliefs about convenience food on the demand for convenience foods in the Irish market. *Food Quality and Preference*, 15,155–65.
- Bourne, M. (1978). Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62–66, 72.
- Brennan, C., Tudorica, C. (2007). Fresh pasta quality as affected by enrichment of nonstarch polysaccharides. *Journal of Food Science*, 72, 659- 665.
- Brosnan, T., Sun, D.-W. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of Food Engineering*, 61, 3-16.

- Brown, M.H., (1991). Microbiological aspects of frozen foods. En: *Food Freezing: Today and tomorrow*. Ed. Bald, W.B, Springer, Londres (UK), 15-25.
- Buchanan, R. (1993). Predictive microbiology. *Trends in Food Science & Technology*, 4, 6-11.
- Cafieri, S., Chillo, S., Mastromatteo, M., Suriano, N., Del Nobile, M.A. (2008). A mathematical model to predict the effect of shape on pasta hydration kinetic during cooking and overcooking. *Journal of Cereal Science*, 48, 857–862.
- Cardelli, C., Labuza, T. (2001). Application of Weibull hazard analysis to the determination of the shelf life of roasted and ground coffee. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 34, 273–278.
- Cauvain, S. P. (1998). Improving the control of staling in frozen bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 56-61.
- Cavallera, M. (2008). Exquisiteces argentinas. *Alimentos Argentinos*, 40, 32-34.
- Chevalier, D., Sequeira-Munoz, A, Le Bail, A., Simpson, B., Ghoul, B. (2001). Effect of freezing conditions and storage on ice crystal and drip volume in turbot *Scophthalmus maximus*/ Evaluation of pressure shift freezing vs. air-blast freezing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1, 193-201.
- Clubbs, E., Vittadini, E., Shellhammer, T. Vodovotzd, Y. (2008). Effects of storage on the physico-chemical properties of corn tortillas prepared with glycerol and salt. *Journal of Cereal Science*, 47, 162–171.
- Cole, M.E. (1991). Review: Prediction and measurement of pasta quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 26, 133-151.
- Collar, C., Santos, E., Rosell C. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 820–826.
- Costa, A., Schoolmeester, D., Dekker, M., Jongen, W. (2007). To cook or not to cook: A means-end study of motives for choice of meal solutions. *Food Quality and Preference*, 18, 77–88.
- Costell, E., Fiszman, S. M., Durán, L. (1997). Propiedades físicas I. Reología de sólidos y textura. En *Temas en tecnología de alimentos*. Ed. J.M. Aguilera. CYTED-IPN (México).

- Creed, P. (2001). Chilling and freezing of prepared consumer foods. En: *Advances in food refrigeration*. Ed. Da-Wen Sun. Leatherhead Publishing.
- Creed, P. (2005). Quality and safety of frozen ready meals. En *Handbook of frozen food processing and packaging* Ed. Da-Wen Sun. CRC Press.
- Cunningham, S., McMin, W., Magee, T., Richardson, P. (2007). Modelling water absorption of pasta during soaking. *Journal of Food Engineering*, 82, 600–607.
- Curia, A., Aguerri, M., Langohr, K., & Hough, G. (2005). Survival analysis applied to sensory shelf life of yogurts. I: Argentine formulations. *Journal of Food Science*, 70, 442–445.
- Dalmendray Gómez, N. (2000). Almacenamiento de alimentos congelados. Efecto de las oscilaciones de temperatura en la calidad. Tesis de Magister en Ingeniería, UNLP.
- Damasio, M., Capilla, C., Costell E., Durán L., (1990). Influencia de la composición de las propiedades mecánicas de geles mixtos de kappa-carragenano, goma garrofín y goma guar. Resistencia al corte. *Revista Agroquímica de Tecnología de Alimentos*, 30, 109–121.
- De Kock S., Minnaar A., Berry D., Taylor J. R. N. (1995). The effect of freezing rate on the quality of cellular and non-cellular par-cooked starchy convenience foods. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28, 87-95.
- Del Nobile, M.A., Chillo, S., Mentana, A., Baiano, A. (2007). Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. *Journal of Food Engineering*, 78, 978–983.
- Del Torre, M., Stecchini, M., Braconnier, M., Peck, M. (2004). Prevalence of Clostridium species and behaviour of Clostridium botulinum in gnocchi, a REPFED of italian ori. *International Journal of Food Microbiology*, 96, 115–131.
- Di Monaco, R., Cavella, S., Di Marzo, S., Masi, P. (2004). The effect of expectations generated by brand name on the acceptability of dried semolina pasta. *Food Quality and Preference*, 15, 429–437.
- Dobraszczyk, B., Morgensten, M. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, 38, 229-245.
- Doyle, M., Beuchat, L., Montville, T., (2000). *Microbiología de los alimentos. Fundamentos y fronteras*. Editorial Acribia. Zaragoza (España).

- Edwards, N., Izydorczyk, M., Dexter, J., Biliaderis, C. (1993). Cooked pasta texture: Comparison of dynamic viscoelastic properties to instrumental assessment of firmness. *Cereal Chemistry*, 70, 122-126.
- Edwards, N., Mulvaney, S., Scanlon, M., Dexter, J. (2003). Role of gluten and its components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry*, 80, 755–763.
- Escalada Pla, M., Ponce, N., Stortz, C., Gerschenson, L., Rojas, A. (2007). Composition and functional properties of enriched fiber products obtained from pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poiret). *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 40, 1176–1185.
- Farley, H., Reed, Z. (2005). An integrated sensory study of selected chilled lasagne ready meals. *Food Service Technology*, 5, 35–45.
- Feillet, P., Autran, J., Icard Vernière, C. (2000). Pasta brownness: an assesment. *Journal of Cereal Science*, 32, 215-233.
- Fizman S. M., Costell E. y Durán L., (1983a). Medida del comportamiento reológico de los alimentos sólidos. 1. Bases teóricas. *Revistas Agroquímica de Tecnología de Alimentos*, 23, 164-172.
- Fizman S. M., Costell E. y Durán L., (1983b). Medida del comportamiento reológico de los alimentos sólidos. 2. Métodos fundamentales. *Revista Agroquímica de Tecnología de Alimentos*, 23, 303-310.
- Fizman S., Costell E., Serra, P., Durán L., (1986). Relajación de sistemas viscoelásticos. Comparación de metodos de analisis de las curvas experimentales. *Revista Agroquímica de Tecnología de Alimentos*, 26, 63–71.
- Foster, C. (2000). *Hanbook of organic food processing & production*, 2nd Edition, Wright & Mc Crea.
- Francis, F., (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, 6, 149-155.
- Francis, F., Clydesdale, F. (1975). *Food Colorimetry: theory and applications*. The AVI Publishing Company Inc., Westport.
- Gámbaro, A., Fizman, S., Gimenez, A., Varela, P., Salvador, A. (2004a). Consumer acceptability compared with sensory and instrumental measures of white pan

- bread: Sensory shelf-life estimation by survival analysis. *Journal of Food Science*, 69, 401-405.
- Gámbaro, A., Gimenez, A., Varela, P. (2004b). Sensory shelf-life estimation of alfajor by survival analysis. *Journal of Sensory Studies*, 19, 500–509.
- Geeroms, N., Verbeke, W., Van Kenhove, P. (2008). Consumers' health-related motive orientations and ready meal consumption behaviour. *Appetite*, 51, 704–712.
- Giborau, A., Cuvelier, G., & Launay, B. (1994). Rheological behaviour of three biopolymer/water systems, with emphasis on yield stress and viscoelastic properties. *Journal of Texture Studies*, 25, 119-137.
- Golden, D., Arroyo-Gallyoun, L. (1997). Relationship of frozen food quality to microbial survival. En: *Quality in frozen food*. Eds. M. Erickson y Y. Houngh. Chapman and Hall.
- Gombas, D., Chen, Y., Clavero, R., Scott, V. (2003). Survey of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. *Journal of Food Protection*, 66, 559-569.
- Gonzalez, J. McCarthy, K. McCarthy M. (2000). Textural and structural changes in lasagna after cooking. *Journal of Texture Studies*, 31, 93-108.
- Gonzalez, R., Woods, R. (2002). *Digital Image Processing*, 2nd Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey (USA).
- Gormley, T., Walshe, T., Hussey, K., Butler, F. (2002). The effect of fluctuating vs. constant frozen storage temperature regimes on some quality parameters of selected food products. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 35, 190-200.
- Gray, J. A., Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Technology*, 2, 1-21.
- Guarda, A., Rosell, C., Benedito, C., Galotto, M. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*, 18, 241–247.
- Gunasekaran, S. (1996). Computer vision technology for food quality assurance. *Trends in Food Science & Technology*, 7, 245-256.
- Gunasekaran, S., Mehmet, M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods—selected applications. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 115–127.

- Hatcher, D. W. (2004). Influence of frozen noodle processing on cooked noodle texture. *Journal of Texture Studies*, 35, 429-444.
- Hereda, R., Bowles, L., Teague, W. (1990). Development in enzymes for retarding staling of baked goods. *Cereal Foods World*, 35, 444-457.
- Hough, G., Fiszman, S. (2005). *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos*. Ed: Programa CYTED, Valencia (España).
- Hough, G., Garitta, L., Gomez, G. (2006). Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference*, 17, 468-473.
- IFOAM: International Federation of Organic Agriculture Movements (2005). The world of organic agriculture. Statistics and future prospects.
- Indrani, D., Jyothsna Rao, S., Udaya Sankar, K., Venkateswara Rao, G. (2000). Changes in the physical-chemical and organoleptic characteristics of parotta during storage. *Food Research International*, 33, 323-329.
- International Institute of Refrigeration (1986). *Recommendations for the processing and handling of frozen foods*, 3rd ed. (32-39). IIR, Paris (Francia).
- Iturreaga, L. (2001). Estudio de las propiedades fisicoquímicas de almidón y su relación con la adhesividad de grano de arroz cocido de siete genotipos argentinos. Tesis doctoral, UNLP.
- Jaya, S., Durance, T. (2008). Stress relaxation behavior of microwave-vacuum-dried alginate gels. *Journal of Texture Studies*, 39, 183-197.
- Joshi, P., Primelow, C. (2002). Colour measurement of food by colour reflectance. En: *Colour in food*. Ed. D. B. MacDougall. Woodhead Publishing Limited and CRC Press, LLC.
- Khouryieh, H., Herald, T., Aramouni, F. (2006). Quality and sensory properties of fresh egg noodles formulated with either total or partial replacement of egg substitutes. *Journal of food science*, 71, 433-437.
- Kihlberg, I., Johansson, L., Langsrud, O., Risvik, E. (2005). Effects of information on liking of bread. *Food Quality and Preference*, 16, 25-35.
- Kilcast, D., Subramoniam, P. (2000). *The stability and shelf life of foods*. CRC Press.

-
- Kindt, M., Lercker, G., Mazzaracchio P., Barbiroli, G. (2006). Effects of lipids on the quality of commercial frozen ready pasta meals. *Food Control*, 17, 847-855.
- Kindt, M., Mazzaracchio, P., Barbiroli, G. (2008). Quality factors and grades for the classification and standardisation of complex ready pasta meals. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1645–1656.
- Kleiman, E., (2008). Comidas manufacturadas industrialmente. Disponible en la página de la Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentación de la República Argentina: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>. Último acceso: 01/12/2008.
- Klein, J., Moeschberger, M. (1997). *Survival analysis, techniques for censored and truncated data*. Springer-Verlag, Nueva York (USA).
- Kleinbaum, D. (1996). *Survival analysis, a self-learning text*. Springer-Verlag, Nueva York (USA).
- Knott, M. (2006). Chilled fresh foods turn up the heat on frozen. Disponible en http://www.foodmanufacture.co.uk/news/fullstory.php/aid/4192/Chilled_fresh_frn_up_the_heat_on_frozen.html
- Kordonowy, R., Youngs, V. (1985). Utilization of durum bran and its effect on spaghetti. *Cereal Chemistry*, 62, 301–308.
- Kumari, M., Urooj, A., Prasad, P. (2007). Effect of storage on resistant starch and amylose content of cereal–pulse based ready-to-eat commercial products. *Food Chemistry*, 102, 1425–1430.
- Labuza T.P., Hyman C.R. (1998). Moisture migration and control in multi-domain foods. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 47-55.
- Labuza, T. P. (1982). *Shelf-Life Dating of Foods*. Food and Nutrition Press, Westport, CN (USA).
- Laguerre, O., Flick, D. (2007). Frost formation on frozen products preserved in domestic freezers. *Journal of Food Engineering*, 79, 124–136.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. Biliaderis, C. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033–1047.

- Limanond, B., Castell-Perez, M., Moreira, R. (2002). Modeling the kinetics of corn tortilla staling using stress relaxation data. *Journal of Food Engineering*, 53, 237-247.
- Llano, K., Haedo, A., Gerschenson, L., Rojas, A. (2003). Mechanical and biochemical response of kiwifruit tissue to steam blanching. *Food Research International*, 36, 767–775.
- Lodi, A., Vodovotz, Y. (2008). Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. *Food Chemistry*, 110, 554–561.
- Löndahl, G., Göransson, S., Sundstén, S., Andersson, A. & Tornberg, E. (1995). Quality differences in fast freezing. En: Proceedings of the Nineteenth International Congress of Refrigeration, (Vol. I, pp. 197-204), Le Hague (Netherlands).
- MAPA, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, España. (2005). La alimentación en España. Resumen de datos, Disponible en: <http://www.mapa.es/es/alimentacion/pags/consumo/resumen.htm>
- Martinez, C., Ribotta, P., Leon, A., Añon, C. (2007). Physical, sensory and chemicals evaluation of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies*, 38, 666-683.
- Martino, M., Zaritzky, N. (1989). Ice recrystallization in a model system and in frozen muscle tissue. *Cryobiology*, 26, 138-148.
- Martins, E., Leal Germano, P. (2008). Microbiological indicators for the assessment of performance in the hazard analysis and critical control points (HACCP) system in meat lasagna production. *Food Control*, 19, 764–771.
- Mascheroni, R., Salvadori, V. (2005). Household refrigerators and freezers. En *Handbook of frozen food processing and packaging* Ed: Da-Wen Sun. CRC Press.
- McAteer, N., Grant, I., Patterson, M., Stevenson, H., Weatherup, C. (1995). Effect of irradiation and chilled storage on the microbiological and sensory quality of a ready meal. *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 757 – 771.
- McCarthy, K., Gonzalez, J., McCarthy, M. (2002). Change in moisture distribution in lasagna pasta post cooking. *Journal of Food Science*, 67, 1785-1789.
- Meeker, W., Escobar, L. (1998). *Statistical methods for reliability data*. John Wiley & Sons, Nueva York (USA).

-
- Meilgaard M., Civille, G., Carr, B. (2006). *Sensory Evaluation Techniques*. 4ta Edition. CRC Press, Boca Raton, Florida (USA).
- Mintel (2002). The ready meals market. Disponible en <http://www.food.gov.uk/news/newsarchive/2003/jun/readymealsmarket>.
- Mitcham, B., Cantwell, M., Kader, A. (1996). Methods for determining quality of fresh commodities. *Perishables Handling Newsletter*, 85, 1-5. Disponible en http://postharvest.ucdavis.edu/pubs/PHQ_85_methods_for.pdf.
- Navarro, A., Martino, M., Zaritzky, N. (1995). Effect of freezing rate on the rheological behaviour of systems based on starch and lipid phase. *Journal of Food Engineering*, 26, 481-495.
- Nussinovitch, A., Peleg, M., Normand, M. (1989). A modified Maxwell and a nonexponential model for characterization of the stress relaxation of agar and alginate gels. *Journal of Food Science*, 54, 1013–1016.
- Olivera, D. F. (2005). Desarrollo de lasagna orgánica. Tesis Magister en Tecnología e Higiene de Alimentos. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.
- Olivera, D., Salvadori, V. (2006). Textural characterisation of lasagna made from organic whole-wheat. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 63-69.
- Oguido, A., Takamatsu, E., Kikuchi, F. (1998). Metabolic balance of fibers from cereal bran in the diabetic rats. En: *Temas en tecnología de los alimentos*. Ed: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), Alfaomega Grupo Editor, México DF (México), 2, 199–205.
- Pacheco de Delahaye, E., Jimenez, P., Perez, 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, 1–7.
- Pangloli, P., Collins, J., Penfield M. (2000). Storage conditions affect quality of noodles with added soy flour and sweet potato. *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 235–242.
- Paraskevopoulou, A., Kiosseoglou, V. (1997). Texture profile analysis of heat-formed gels and cakes prepared with low cholesterol egg yolk concentrates. *Journal of Food Science*, 62, 208-211.

- Pascual Anderson, M., Calderón y Pascual, V. (1999). *Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas*. 2^{da} Edition, Ediciones Díaz de Santos (España).
- Peleg, M. (1980). Linearization of Relaxation and Creep Curves of Solid Biological Materials. *Journal of Rheology*, 24, 451-463.
- Pollak, N., Peleg, M. (1980). Early indications of failure in large compressive deformation of solid foods. *Journal of Food Science*, 45, 425-430.
- Pomeranz, Y. (1985). Carbohydrates: Starch. En: *Functional Properties of Food Components*. Academic Press, Inc. Orlando, Florida (USA).
- Poulsen, K. P. (1977). The freezing process under industrial conditions. Freezing, frozen storage and freeze-drying. Meeting of IIR Commissions C1, C2, Karlsruhe (GDR). Section 6, 347-353.
- Prim, M., Gustafsson, I., Hall, G. (2007). The appropriateness of ready meals for dinner. *Journal of Food Service*, 18, 238-250.
- Rahman, M., Guizani, M., Al- Khaseibi, M., Al- Hinai, S., Al- Maskri, S., Al- Hamhami, K. (2002). Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing. *Food Hydrocolloids*, 16, 653-659.
- Raid, D.S. (1998). Overview of physical/chemical aspect of freezing. En *Quality of Frozen Foods*, Eds. M.C. Erickson, Y-C Hung, Chapman Hall, London (UK), 10-28.
- Redmond, G., Gormley, T., Butler, F. (2005). Effect of short- and long-term frozen storage with MAP on the quality of freeze-chilled lasagne. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 38, 81-87.
- Reed, Z, McIlveen-Farley, H., Strugnell, C. (2003). Factors affecting consumer acceptance of chilled ready meals on the island of Ireland. *International Journal of Consumer Studies*, 27, 2-10.
- Ribotta, P., Perez, G., León, A., Añón, M. C. (2004). Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids*, 18, 305-313.
- Ross, A. (2006). Instrumental measurement of physical properties of cooked asian wheat flour noodles. Review. *Cereal Chemistry*, 83, 42-51.

- Secretaría de agricultura, ganadería, pesca y alimentos de la Republica Argentina (SAGPyA) (2008). <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>
- Seetharaman, K. Chinnapha, N. Waniska, R., White, P. (2002). Changes in textural, pasting and thermal properties of wheat buns and tortillas during storage. *Journal of Cereal Science*, 35, 215–223.
- SENASA (2008). Situación de la Producción Orgánica en la Argentina durante el año 2007. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria - Dirección Nacional de Fiscalización Agroalimentaria - Coordinación de Productos Ecológicos.
- Singh Gujral, H., Singh, G., Rosell, C. (2008). Extending shelf life of chapatti by partial baking and frozen storage. *Journal of Food Engineering*, 89, 466–471.
- Singh, R. P. (2000). Scientific principles of shelf life evaluation. En *Shelf life evaluation of foods*. Editores D. Man y A. Jones. AN Aspen Publication.
- Sozer, N., Dalgic, A. (2007). Modelling of rheological characteristics of various spaghetti types. *Europe Food Research Technology*, 225,183–190.
- Sozer, N., Kaya, A. (2003). Changes in cooking and textural properties of spaguetti with different levels of salt in the cooking water. *Journal of Texture Studies*, 34, 381-390.
- Sozer, N., Kaya, A., Dalgic, A. (2008). The effect of resistant starch addition on viscoelastic properties of cooked spaghetti. *Journal of Texture Studies*, 39, 1–16.
- Spiess, W. E. L. (1980). Impact of freezing rates on product quality of deep-frozen foods. En: *Food Process Engineering, Volume 1: Food Processing Systems*, Eds. P. Linko, Y. Malkki, J. Olkku & J. Larinkari,. Applied Science Publishers LTD, London (UK), 689-694.
- Spiess, W. E. L. (1988). Physical and chemical changes in food during freezing and frozen storage of freezing rates on product quality of deep-frozen foods. Regional Seminar Cold Chain Development in Latin America. Buenos Aires, (Argentina).
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food processing engineering*, 2nd Edition. Freeman Press, MI.

- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28, 385–389.
- Szczesniak, A. S. (1987). Relationship of texture to food acceptance and nutrition. En *Food acceptance and nutrition*, Eds. J. Solms, D. A. Booth, R. M. Pangborn, & O. Raunhardt, Academic Press, New York (USA), 157–172
- Szczesniak, A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 4, 215-225.
- Tabilo, G., Flores, M., Fiszman, S., Toltra, F. (1999). Postmortem meat quality and sex affect textural properties and protein breakdown of dry- cured ham. *Meat Science*, 51, 255-260.
- Tang, J., Tung, M. A., Zeng, Y. (1998). Characterization of gellan gels using stress relaxation. *Journal of Food Engineering*, 38, 279– 295.
- Taoukis PS, Labuza TP. (1989a). Applicability of time-temperature indicators as shelf life monitors of food products. *Journal Food Science*, 54, 783–788.
- Taoukis PS, Labuza TP. (1989b). Reliability of time-temperature indicators as food quality monitors under non-isothermal conditions. *Journal Food Science*, 54, 789–792.
- Tyrer, H., Ainsworth, P., Ibanoglu, S., Bozkurt, H. (2004). Modelling the growth of *Pseudomonas fluorescens* and *Candida sake* in ready-to-eat meals. *Journal of Food Engineering*, 65, 137–143.
- Van Boekel, C. (2008). Kinetic modeling of food quality: A critical review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 7, 144-158.
- Venkateswara Rao, G., Leelavathi, K., Haridas Rao, P., Shurpalekar, S. (1986). Changes in the quality characteristics of chapati during storage. *Cereal Chemistry*, 63, 131–135.
- Villeneuve, S., Gélinas, P. (2007). Drying kinetics of whole durum wheat pasta according to temperature and relative humidity. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 40, 465-471.
- Wilkinson y Coward (2000). SYSTAT® 10. SPSS Inc. Chicago, Illinois (USA).
- Zaritzky, N. (1997). Congelación de alimentos. En *Temas en tecnología de alimentos*. Ed. J.M. Aguilera. CYTED-IPN, México DF (México).

- Zaritzky, N. (2005). Physical-Chemical principles in freezing. En *Handbook of frozen food processing and packaging* Ed. Da-Wen Sun. CRC Press.
- Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F.M., Van't Riet, K. (1990). Modelling of the bacterial growth curve. *Applied Environmental Microbiology*, 56, 1875-1881.

ANEXO I

I)- Composición harina empleada

En la tabla I se presentan los valores de humedad, cenizas, proteínas, lípidos (determinados como extracto etéreo) y fibra bruta obtenidos para las harinas utilizadas. Los hidratos de carbono distintos de fibra se calcularon por diferencia respecto del 100% de los valores determinados experimentalmente (humedad, proteínas, lípidos, cenizas y fibras), teniendo en cuenta que los resultados obtenidos de esta manera están afectados por el arrastre de errores de todas las determinaciones.

Tabla I. Composición porcentual de la harina empleada

Componente	Contenido
Humedad (%)	14.20
Cenizas (%)	1.45
Proteínas (%)	12.10
Lípidos (%)	1.81
Fibras (%)	0.88
Hidratos de carbono (%)	69.56

Humedad: de la harina se determinó de acuerdo a la Norma IRAM 15850-1, de manera indirecta, midiendo la pérdida de peso que sufre la muestra, por evaporación de agua.

Cenizas: Para su determinación se procedió de acuerdo a la Norma IRAM 15851

Proteínas: se cuantifica mediante la determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl–Arnold-Gunning, utilizando un digestor BUCHI 425 y un destilador BUCHI 320. En los cálculos para convertir N a proteínas se utilizó el factor 5.7.

Lípidos: de las harinas utilizadas se determinó como extracto etéreo por el método de Soxhlet.

El contenido de **fibra bruta** en las harinas se determinó por el método de filtración única (C.A.A. Metodología Analítica Oficial pág. 212).

II)- Contenido de gluten de la harina orgánica

Gluten húmedo y gluten seco: se determinó empleando un Glutomatic según la Norma IRAM 15864.

Tabla II. Contenido de gluten

Componente	Contenido
Gluten húmedo (%)	26.5
Gluten seco (%)	13.2

III)- Composición de la masa y de la pasta

En la tabla III se presentan los valores de humedad, cenizas y proteínas de la masa y de la pasta cocida.

Los valores de cenizas y proteínas corresponden al promedio de dos determinaciones.

Tabla III.

Muestra	Humedad %	Cenizas %	Proteínas %
Masa	31.09 (0.83)	1.28	12.43
Pasta	62.97 (1.87)	0.7	6.78

Anexo II**Barridos de esfuerzo**

En este anexo se presentan ejemplos de los gráficos obtenidos a partir de los ensayos de barridos de esfuerzo de las pastas ensayadas.

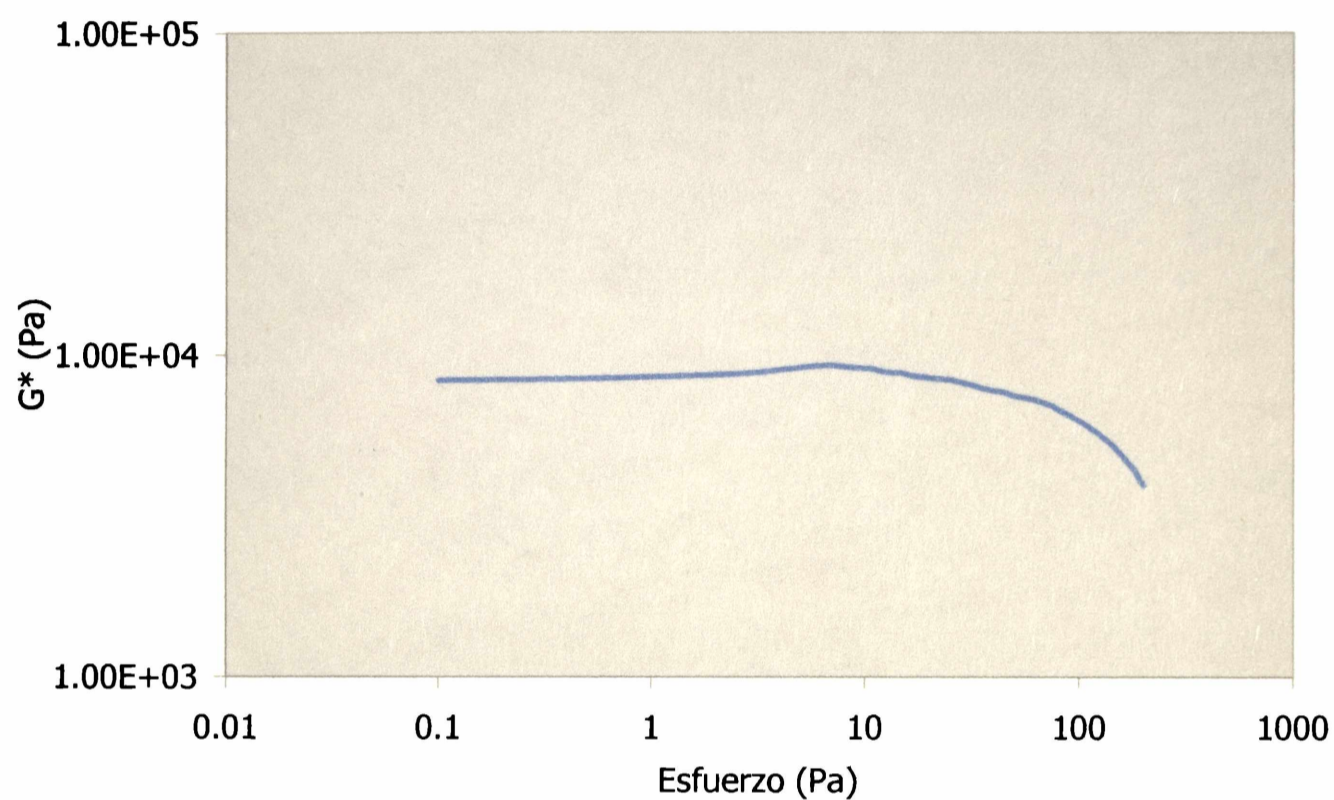


Figura I. Barrido de esfuerzo a 20 °C y frecuencia fija (1Hz) de las pastas tipo tallarines frescas

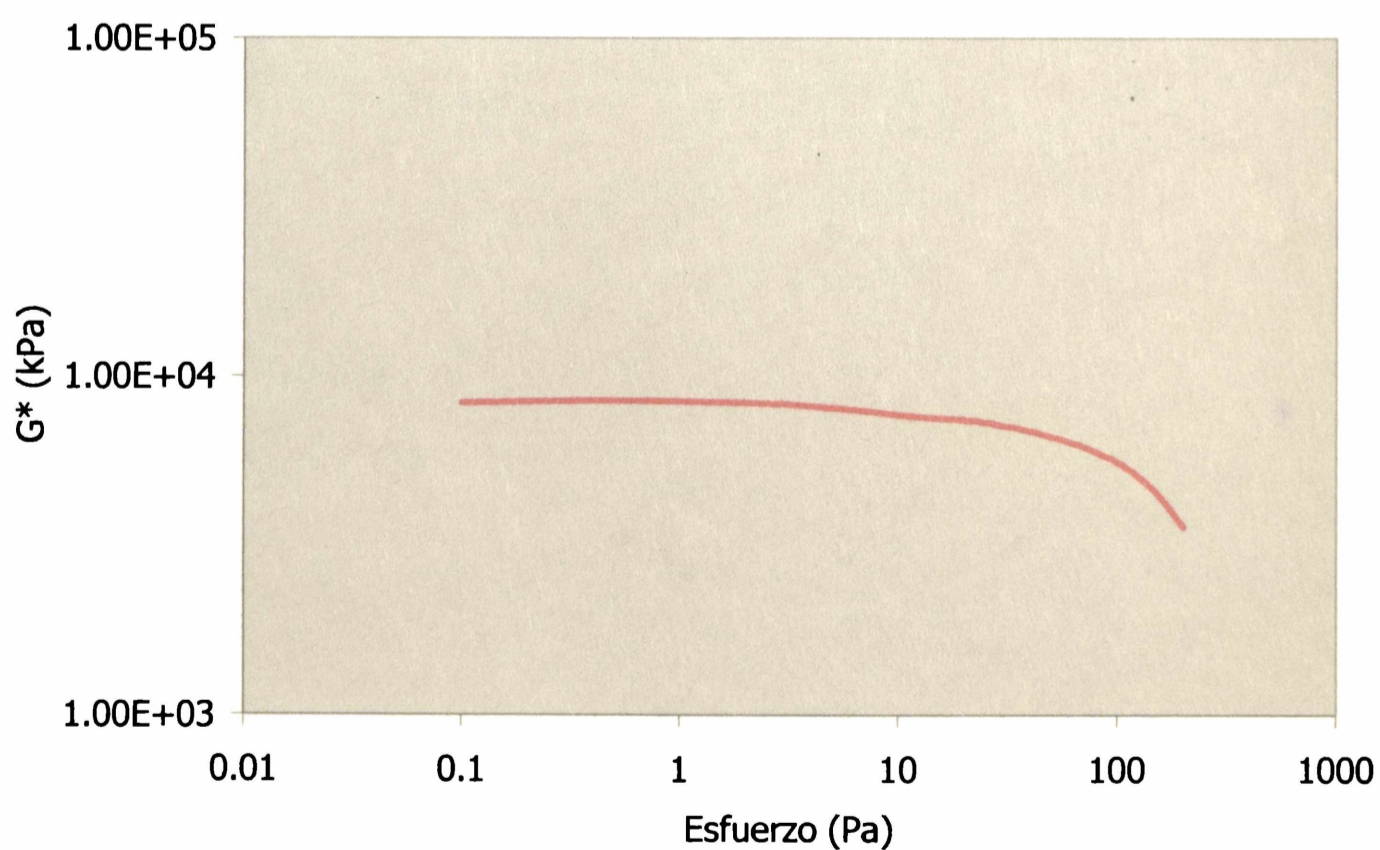


Figura II. Barrido de esfuerzo a 20 °C y frecuencia fija (1Hz) de las cintas de pastas de lasagna.

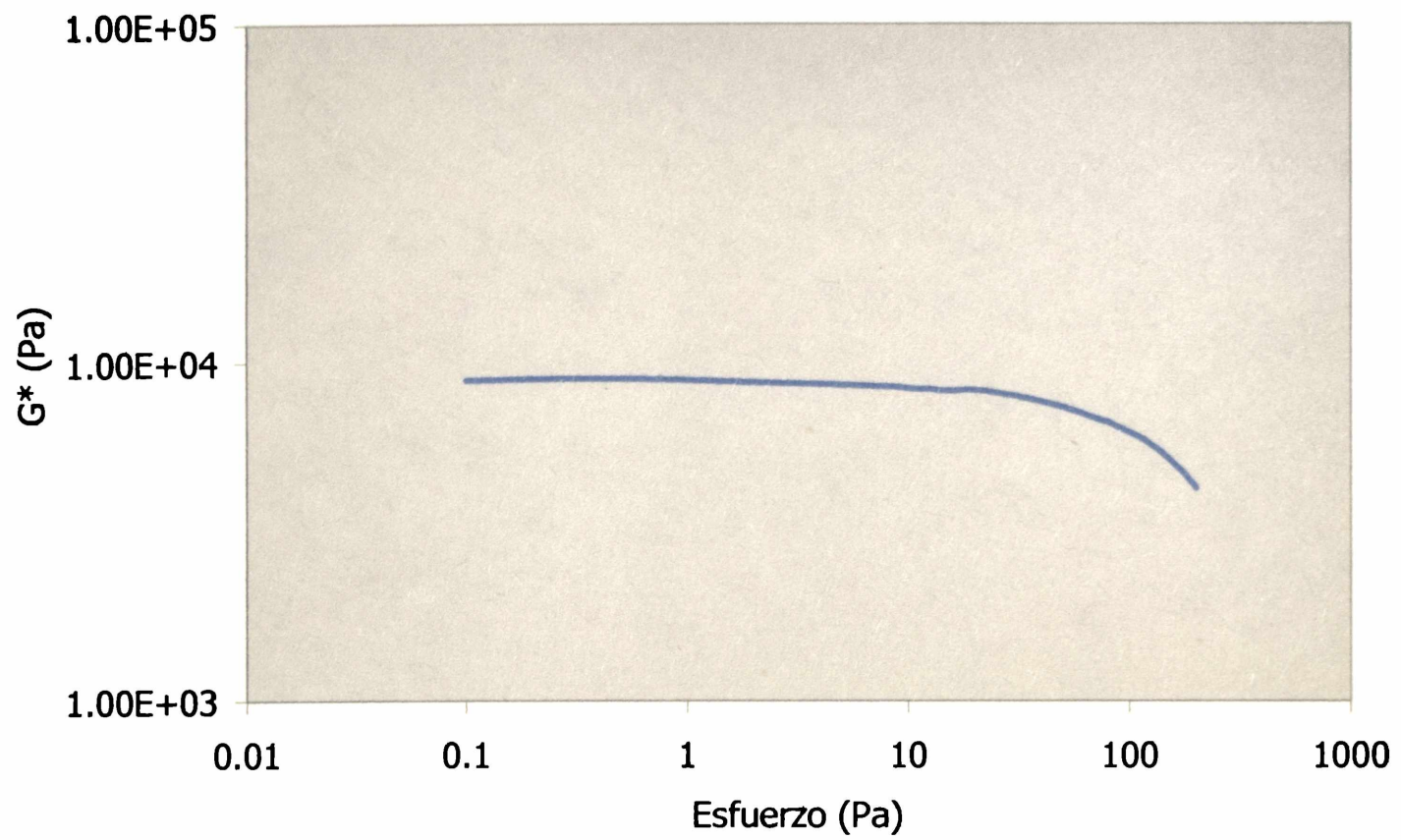


Figura III. Barrido de esfuerzo a 20 °C y frecuencia fija (1Hz) de las pastas tipo tallarines almacenados congelados.

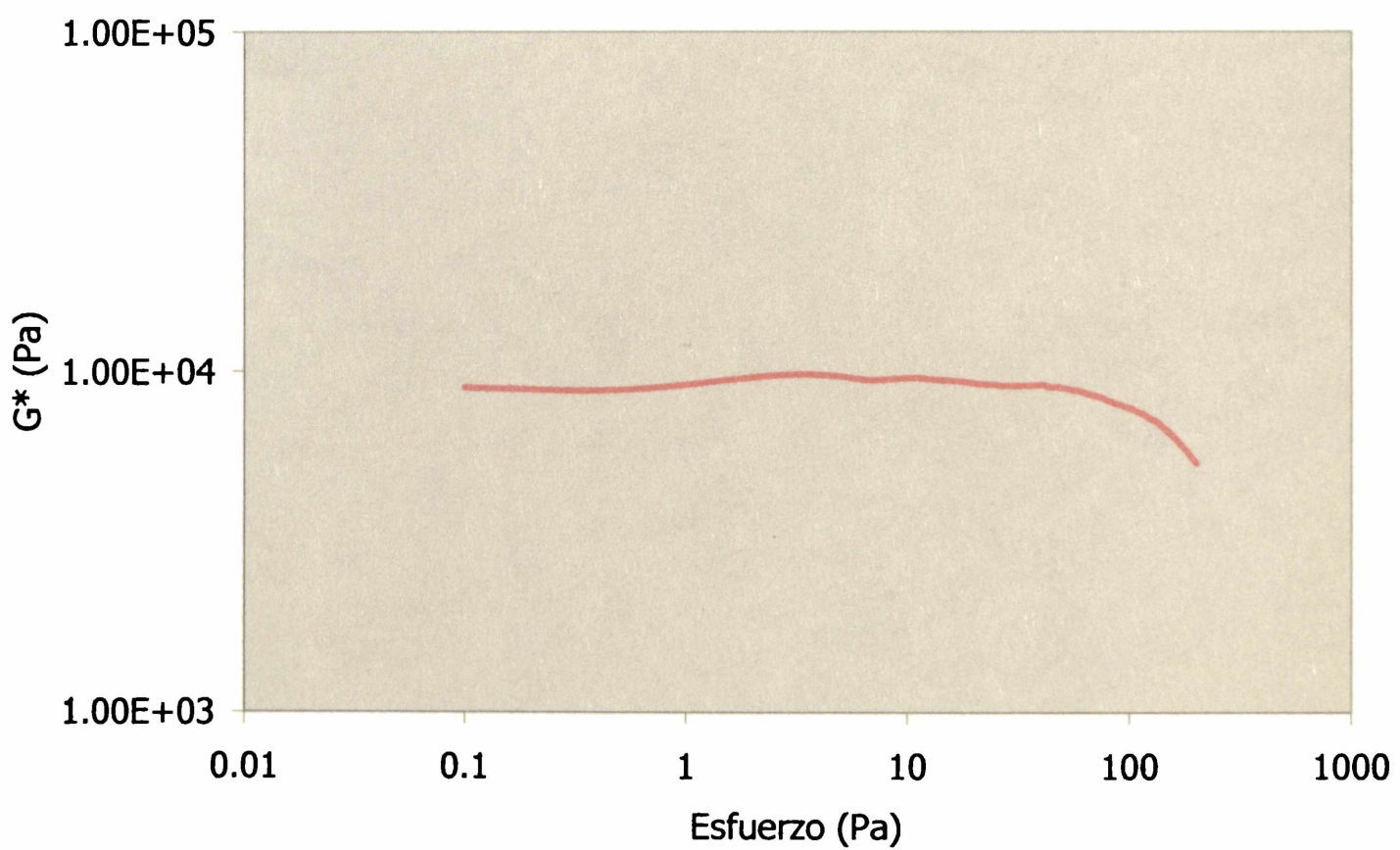


Figura IV. Barrido de esfuerzo a 20 °C y frecuencia fija (1Hz) de las cintas de pastas de lasagna almacenadas congeladas.

