



SABER DE MIS HIJOS
PARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos
Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad en Almacenamiento y Procesamiento de Granos

**Utilización del Método de Compresión Uniaxial con Lubricación
Para Evaluar la Viscosidad en Pasta Cocida**

TESIS

que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Alma Guadalupe Cota Gastelum

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
Generalidades de la Pasta	4
Materias Primas en la Elaboración de la Pasta	4
Tipos de Pasta	6
Proceso Comercial de la Pasta	6
Mezclado	7
Extrusión	8
Secado	9
Calidad de la Pasta	11
Apariencia de la Pasta	11
Cocimiento de la Pasta	13
Tiempos de Cocimiento Mínimo, Óptimo y Máximo	13

CONTENIDO (Continuación.....)

	Página
Absorción de Agua Durante el Cocimiento	14
Textura del Producto Cocido	14
Condiciones de la Superficie	14
Aroma y Sabor	14
Microestructura de la Pasta	14
Cambios Estructurales que Suceden Durante el Cocimiento	15
Cambios que Ocurren Después del Cocimiento	17
Métodos para Evaluar la Calidad de la Pasta Cocida	18
Tiempo de Cocimiento	19
Peso de la Pasta Cocida	19
Pérdida de Sólidos en el Cocimiento	20
Materia Orgánica Total (MOT)	20
Contenido de Amilosa	21
Prueba de Textura	23
Medición Subjetiva de Textura en Pasta Cocida	24
Medición Objetiva de Textura en Pasta Cocida	26
Evaluación de Firmeza	26
Evaluación de Compresibilidad	29
Medición de Adhesividad	32

CONTENIDO (Continuación....)

	Página
Propiedades Reológicas en Pasta Cocida	34
Método de Compresión Uniaxial con Lubricación	35
MATERIALES Y MÉTODOS	42
Materia Prima	42
Análisis Químico y Físico en Pasta Seca	42
Análisis Químico	42
Determinación de Color	42
Estimación del Tiempo de Cocimiento de la Pasta	43
Análisis Químico y Físico en Pasta Cocida	44
Índice de Absorción de Agua de la Pasta	44
Determinación de Sólidos Totales	44
Materia Orgánica Total (MOT)	45
Determinación de Amilosa	45
Medición de Firmeza en Spaghetti Cocido	46
Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida	47
Cocimiento de la Pasta	47
Reposo de la pasta.	49
Molienda de la Pasta	49

CONTENIDO (Continuación.....)

	Página
Moldeo de la Pasta	49
Medición de Viscosidad Extensional	50
Cálculo de la Viscosidad Extensional	50
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
Análisis Químico y Físico en Pasta Seca	53
Análisis Químico	53
Determinación de Color	53
Estimación del Tiempo de Cocimiento	55
Análisis Químico y Físico en Pasta Cocida	56
Índice de Absorción de Agua de la Pasta	56
Determinación de Sólidos Totales	59
Materia Orgánica Total	61
Determinación de Amilosa	63
Medición de Firmeza en Spaghetti Cocido	65
Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida	70
Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Viscosidad Extensional ..	70

CONTENIDO (Continuación.....)

	Página
Efecto del Tiempo de Reposo en la Viscosidad Extensional.....	77
Correlación Simple entre la Viscosidad Extensional Biaxial y la Medición de Firmeza	85
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Evaluación de la Calidad de Spaghetti Cocido Según la Determinación de Materia Orgánica Total (TOM).....	22
2. Escala de Valores Usados en la Evaluación Sensorial del Spaghetti Cocido.....	25
3. Parámetros de Color Medidos en el Spaghetti	54
4. Análisis de Varianza de Absorción de Agua, Sólidos Totales, Materia Orgánica Total y Contenido de Amilosa en Pasta Cocida.....	58
5. Efecto del Tiempo de Cocimiento y de Reposo en la Firmeza del Spaghetti Cocido Expresado en Tres Formas distintas.....	66
6. Análisis de Varianza de Firmeza en Pasta Cocida.....	69
7. Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo	78
8. Análisis de Varianza de Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida.	79
9. Correlaciones simples (r) entre la Viscosidad Extensional Biaxial y Algunas Mediciones Físicas y Químicas en Pasta Cocida a tres Diferentes Tiempos.....	87

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Curva Obtenida en La Medición de Firmeza en Spaghetti Cocido.....	29
2. Valores Derivados de la Curva de Compresibilidad en Spaghetti Cocido.	31
3. Diagrama de Flujo de la Elaboración del Disco de Pasta Cocida.....	48
4. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Absorción de Agua en Spaghetti Cocido.....	57
5. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Pérdida de Sólidos Totales en Spaghetti Cocido.....	60
6. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Materia Orgánica Total en Spaghetti Cocido.....	62
7. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Concentración de Amilosa Presente en el Agua Cocimiento del Spaghetti.....	64
8. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Firmeza del Spaghetti	67
9. Viscosidad Extensional Biaxial vs Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida a tres Tiempos sin Reposo Después del Cocimiento	71

LISTA DE FIGURAS (Continuación.....)

Figura	Página
10. Viscosidad Extensional Biaxial vs Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida a tres Tiempos con 2 horas de Reposo Después del Cocimiento.....	72
11. Viscosidad Extensional Biaxial vs Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida a tres Tiempos con 5 horas de Reposo Después del Cocimiento.....	73
12. Viscosidad Extensional Biaxial vs Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida por 9.5 min con tres Tiempos de Reposo.....	80
13. Viscosidad Extensional Biaxial vs Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida por 12.5 min con tres Tiempos de Reposo.....	81
14. Viscosidad Extensional Biaxial vs Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida por 15.5 min con tres Tiempos de Reposo	82

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue investigar la efectividad del método de compresión uniaxial con lubricación (MCU), en la medición de viscosidad en pasta sometida a diferentes tiempos de cocimiento y reposo; determinando además la relación de la viscosidad extensional biaxial con las características físicas y químicas de la pasta cocida. La pasta utilizada fue tipo spaghetti cocida a tres tiempos: 9.5, 12.5 y 15.5 min, y sometida a tiempos de reposo (0,2 y 5 h). Para implementar el MCU con lubricación en la medición de viscosidad extensional biaxial, primeramente se determinó el manejo al que se sometió la pasta para posteriormente realizar la medición. Simultáneamente fue realizada la prueba de firmeza en la pasta cocida. El índice de absorción de agua fue medido en la pasta cocida, mientras que las determinaciones de sólidos totales, materia orgánica total (MOT) y concentración de amilosa fueron realizadas en el agua de cocimiento. Se observó que la viscosidad extensional biaxial disminuyó significativamente por efecto del tiempo de cocimiento y reposo al que estuvo expuesto la pasta. Por lo que el método de compresión uniaxial con lubricación fue capaz de discriminar muestras de pasta cocida a diferentes condiciones especialmente a la velocidad de deformación de 0.3 mm/min. Las pruebas fisicoquímicas mostraron diferencias en la pasta cocida producto del tiempo de cocimiento. Así mismo la firmeza en la pasta se vio afectada tanto por el tiempo de cocimiento como por el reposo recibido. La viscosidad extensional biaxial presentó correlación altamente significativa

con la firmeza, así mismo con absorción de agua, concentración de amilosa, sólidos totales y materia orgánica total.

INTRODUCCIÓN

El trigo cristalino por sus características es considerado el más conveniente para usarse en la elaboración de productos tales como spaghetti, lasaña, macarrones, a los cuáles nos referimos como pasta. El trigo cristalino le brinda a la pasta características únicas, de color, sabor y calidad de cocimiento, características que definen su calidad y por lo tanto la aceptabilidad del consumidor (Ames *et al.*, 1999; Marconi *et al.*, 2002).

La calidad de la pasta es juzgada tanto por el industrial como por el consumidor. Al industrial le interesa una pasta seca que sea atractiva, lo suficientemente fuerte y elástica para resistir todo el manejo posterior a su elaboración, además que conserve su original integridad física cuando es sometida a procesos adicionales para ser enlatada o congelada. Mientras que al consumidor le interesa que la pasta tenga buena apariencia y textura después del cocimiento (Dick y Matsuo 1988).

Se han realizado medidas reológicas en semolina que proporcionan información de sus características, usando equipos tales con el farinógrafo y alveógrafo y son usadas para predecir la calidad de la pasta. Sin embargo la evaluación final de la calidad de la pasta está basada en la evaluación de la textura de la pasta cocida (Hahn, 1990).

La textura de la pasta cocida es el principal criterio para evaluar su calidad y por ende su aceptabilidad general. La evaluación de textura involucra una serie de parámetros importantes a evaluar, siendo firmeza, adhesividad compresibilidad los que han sido evaluados mayormente en la pasta cocida mediante métodos instrumentales (Hahn, 1990).

Otra propiedad relacionada con la textura e importante a considerar en la pasta cocida es la viscosidad. El alimento cuando es consumido se deforma y fluye, bajo esas condiciones se perciben características como: elasticidad, pegajosidad y viscosidad (Rosenthal, 1999).

El método de compresión uniaxial es uno de los métodos que se ha utilizado en la medición de propiedades reológicas, en alimentos semisólidos y/o altamente viscosos, el cuál permite medir viscosidad con facilidad y los resultados pueden ser expresados en términos de viscosidad extensional biaxial (Ramírez, 1989; Corradini *et al*, 2000). Este método ha demostrado ser muy sensible, debido a que detecta cambios en el comportamiento reológico de algunos alimentos (Osorio *et al.*,2003), siendo además sencillo de realizar, por lo que puede ser una buena alternativa en la medición de la viscosidad en pasta cocida. Esta prueba podría ser considerada en la caracterización de las propiedades reológicas de la pasta, en la selección de variedades de trigo, así como en el proceso de manufactura de la misma, con la finalidad de obtener pasta de mejor calidad.

Es importante mencionar que la industria utiliza pruebas subjetivas para evaluar la calidad final de la pasta, careciendo de metodología objetiva que le brinde la reproducibilidad que requiere, por lo que este método ofrecería una opción en la medición de la calidad de la pasta.

OBJETIVOS

General

Evaluar la efectividad del método de compresión uniaxial en la medición de viscosidad y relacionarlo con las características fisicoquímicas en pasta cocida.

Específicos

Determinar la viscosidad en pasta sometida a diferentes tiempos de cocimiento y reposo, utilizando el método de compresión uniaxial con lubricación.

Evaluar la reproducibilidad del método de compresión uniaxial con lubricación en pasta cocida utilizando diferentes tiempos de cocimiento y reposo.

Determinar las características fisicoquímicas de la pasta cocida a diferentes tiempos.

Correlacionar los resultados de viscosidad extensional con las mediciones fisicoquímicas en pasta cocida.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Generalidades de la Pasta

El uso de productos de pasta data de siglos atrás, donde al parecer fueron desarrollados a la vez en Italia, China y/o Japón, Lo cierto es que Italia es el país con el cuál son identificados los productos de pasta (Donnelly, 1991). Hoy en día, no solo en Italia sino en el resto del mundo la pasta ocupa una posición básica en los hábitos alimenticios de la población, siendo un alimento integral en la dieta diaria (Mariani-Costantini,1988).

El hecho de que el consumo de pasta se haya extendido a través del mundo muy probablemente es debido a su simple formulación, a la relativa facilidad de procesamiento y almacenamiento, a su relativo bajo costo en relación a otros alimentos, así como a su versatilidad, ya que se encuentra en diferentes tamaños y formas, brindándole al consumidor diferentes maneras de consumo. (Feillet y Dexter, 1996; Dick y Matsuo, 1988).

Materias Primas en la Elaboración de la Pasta

La pasta de calidad es elaborada con 100% de semolina de trigo cristalino, sin embargo por varias razones la industria utiliza harinas obtenidas de moliendas de

diferentes variedades de trigos cristalinos, suaves, maíz y varios cereales (Marconi *et al.*, 2002). Sin embargo, el producto elaborado con mezclas de estos materiales y semolina generalmente presenta una deficiencia ya sea en el color o en la calidad de cocimiento.

El grado con el cuál es practicado este tipo de mezclas, generalmente depende de la disponibilidad y precio de la materia prima, así como de la competitividad y de la aceptabilidad del consumidor en cierto mercado (Donnelly, 1991; Baroni, 1988).

La materia prima llega a la industria con las especificaciones correctas para producir la pasta con deseables características, misma que debería de desarrollar las siguientes funciones: permitir que la pasta pueda ser formada por extrusión mediante el uso de dados; producir un producto seco, flexible y duro, libre de agrietamientos, con buena tolerancia al empaclado y a la estabilidad de almacenamiento; producir un producto terminado, con las características de calidad de una superficie clara y suave, libre de pecas y con un color amarillo ámbar brillante; producir una pasta que cuando esté cocida sea firme, resilente, no pegajosa con agradable sabor y aroma, y con una buena contribución nutricional.

Los trigos cristalinos son las materias primas preferidas para el procesamiento de la pasta, aunque los trigos comunes también pueden usarse en la elaboración de pasta, dando un producto menos satisfactorio (Feillet y Dexter, 1996; Debbouz y Doetkott, 1996).

Tipos de Pasta

Pasta o pastas alimenticias son términos que describen un gran número de productos extruidos que generalmente son elaborados con trigo cristalino (Hoseney, 1991). Una de las razones de la popularidad de la pasta es el gran número de formas y tamaños de pasta que son manufacturados, así como los numerosos métodos de preparación. Siendo el spaghetti y los macarrones los productos más populares.

La pasta puede ser categorizada en tres principales tipos: pasta larga el cual incluye productos como el spaghetti, vermicelli y linguine. Para elaborar este tipo de pasta la cabeza del extrusor y del dado son rectangulares; la pasta corta incluye coditos macarrones, rigatoni y ziti, utilizando para su elaboración cabeza y dados circulares. El tercer tipo es la pasta de especialidades como la lasagna, manicotti, conchas jumbo y pastas rellenas

El nombre de una pasta específica denota el grosor, tamaño o figura del producto. La pasta puede encontrarse empacada en forma seca, enlatada y congelada (Dick y Matsuo, 1988; Sorenson, 2003).

Proceso Comercial de la Pasta

El objetivo del proceso de la pasta es el de transformar una masa poco compacta en una mezcla con una estructura homogénea capaz de mantener una forma en particular, la cuál es estabilizada por un secado (Dalbon *et al*, 1996).

En la práctica comercial los productos de pasta son elaborados usando semolina, harina de trigo cristalino y harina de trigo fuerte como materias primas, y son formados por extrusión en grandes líneas altamente automatizadas, las cuáles desarrollan varias operaciones (Smewing, 1997).

Mezclado

El objetivo del mezclado es distribuir el agua lo más uniforme posible por toda la semolina, promoviendo así su hidratación (Dalbon *et al.* 1996).

En esta operación el agua es adicionada a la semolina alcanzando un contenido de humedad de 28-31 %. La proporción de agua-semolina es determinada por el operador del extrusor. Dependiendo de la apariencia de la mezcladora, de la pasta fresca y la carga sobre el motor del extrusor, el operador determina el nivel del agua.

El tiempo de mezclado depende principalmente del tamaño de partícula. El tamaño de partícula óptimo de la semolina es entre 488 y 142 μ . El mezclado solo humedece las partículas de semolina y no cambia significativamente la microestructura de la mezcla. Con la humedad disponible la energía proporcionada por la mezcladora es insuficiente para desarrollar las interacciones del gluten (Hahn, 1989).

Las prensas modernas están equipadas con cámaras de vacío, para remover las burbujas de aire de la masa previo a la extrusión, si el aire no es removido, se pueden formar pequeñas burbujas y dar al producto final una apariencia blanquecina, en lugar de un aspecto traslúcido, lo cuál interfiere con la percepción del color amarillo, además las burbujas de aire pueden disminuir la fuerza mecánica de la pasta seca, El uso de vacío

disminuye la oxidación de los pigmentos carotenoides que pueden ocurrir en este estado por efecto de la lipoxigenasa (Feillet y Dexter, 1996; Hosenev, 1991).

Extrusión

El proceso de extrusión permite un continuo amasado y formado de la masa, que es llevado a cabo rápida y simultáneamente en pocos minutos (Dalbon *et al*, 1996). El tornillo del extrusor es el corazón de la prensa de pasta. El tornillo no solo fuerza la masa a pasarla a través del dado, sino también lleva a cabo un amasado homogéneo, controlando además la velocidad de la producción e influye en la calidad del producto. Por lo tanto la extrusión es la operación clave en el proceso de elaboración de la pasta.

En la cámara de extrusión la semolina hidratada es sometida a un amasado, desarrollando una masa uniforme con una definida viscosidad y elasticidad. Todos los constituyentes de la semolina juegan un papel muy importante en esta transformación, sin embargo las proteínas de almacenamiento, las cuales después de absorber agua, interactúan a través de nuevos enlaces covalentes y no covalentes formando el gluten (Baroni, 1988; Dalbon *et al*, 1996).

Estudios han mostrado que la velocidad del tornillo, así como la temperatura de la masa afecta tanto el color como la calidad de cocimiento de la pasta terminada (Donnelly, 1991; Debbouz y Doetkott, 1996).

La presión de extrusión creada por el tornillo, es más o menos como 150 atm, la cuál está en función del diseño, tornillo, declive, profundidad y del ancho del canal, así como de la velocidad rotacional del tornillo.

Durante la extrusión una considerable cantidad de calor es generado debido a la fricción, por lo que la cámara de extrusión está acondicionada con chaquetas de enfriamiento las cuales regulan la temperatura con circulación de agua manteniendo la masa a una temperatura de alrededor de 50 °C. Si la temperatura es más alta que 60 °C, la proteína del gluten empieza a desnaturalizarse, e iniciar la gelatinización del almidón, teniendo un efecto negativo en la calidad final de la pasta (Dalbon *et al*, 1996; Debbouz y Doetkott, 1996).

La pasta es extrudida en una gran variedad formas y tamaños. La velocidad del flujo de la masa a través del dado es importante, ya que cualquier fluctuación causa variación en el tamaño del producto, incrementando el desperdicio, así como el costo de producción (Hahn, 1989).

Anteriormente los dados eran de bronce, desafortunadamente este tipo de material es blando y con el uso tiende a desgastarse, cambiando el tamaño y forma de los productos de pasta. Actualmente esos dados son recubiertos con teflón, aumentándoles de esta manera su duración y produciendo pasta con mejores características (Dick y Matsuo, 1988).

Secado

El secado es el paso más crítico y difícil en la producción de la pasta. El objetivo de esta operación es reducir la humedad de la pasta extrudida de 31% a 10-12%. Si el secado es lento la pasta es dañada por crecimiento microbiano, por otro lado si el secado es rápido se crean gradientes de humedad causando grietas en la pasta que la opacan y

disminuyen su resistencia. El agrietamiento puede ocurrir durante el periodo de secado o varias semanas después de que el producto ha salido del secador. Uno de los factores que influyen en la presencia de este agrietamiento de la pasta es el equilibrio entre la humedad relativa del ambiente y de la pasta, por consiguiente, es decisivo en la calidad de la pasta, el control de las condiciones de secado así como las condiciones de almacenamiento.

El secado generalmente es realizado en etapas, donde la pasta larga es más difícil de secar que la corta, normalmente requiere de 20-24 h. Mientras que la pasta corta normalmente es secada en un periodo de 4-6 h.

Algunos procesos de secado usan un secador preliminar, el cuál reduce rápidamente la humedad hasta aproximadamente 25 % y su función es evitar que la pasta se pegue unas con otras. El secador final es usado para remover la mayor parte de humedad del interior del producto. En los últimos años altas temperaturas de secado han empezado a utilizarse las cuales involucra temperaturas arriba de 60°C.

El proceso de secado a altas temperaturas incluye alta temperatura (HT) y muy alta temperatura (THT) >70 y >100°C respectivamente. El secado a altas temperaturas se realiza en etapas de una manera similar al proceso tradicional. El uso del secado a altas temperaturas ha sido universalmente aceptado porque ofrece un mejor control bacterial, reduce significativamente el tiempo de secado y produce una pasta con mejores características de cocimiento y color (Frank *et al*, 2004; Orozco, 1999 y Hahn, 1989).

De los beneficios logrados con el uso de altas temperaturas es que la pasta que ha sido secada con esta opción es de superior calidad que la pasta secada a bajas temperaturas, por lo que se ha sugerido que utilizando este proceso de secado la relación cantidad/calidad del gluten tienen menor importancia en la obtención de pastas con buenas características de cocimiento, pudiendo entonces utilizarse materia prima de calidad secundaria (Yue *et al*, 1999). Sin embargo la calidad del gluten específicamente fuerza del gluten es todavía considerada como un requisito para la obtención de una pasta de buena calidad (Orozco, 1999; Pollini, 1996).

Calidad de la Pasta

La calidad de la pasta al igual que otros alimentos procesados, depende tanto del proceso de transformación empleado como de la materia prima.

Dentro de las características más importantes que influyen en la calidad de la pasta se encuentra la apariencia y las características de cocimiento de la pasta.

Apariencia de la pasta

La apariencia involucra varios factores como son: color, pecas, textura de la superficie, fuerza y flexibilidad de la tira de pasta, la cuál está relacionada a las condiciones bajo las cuales fue extrudida y secada la pasta.

El color deseado en la pasta es un amarillo brillante, translúcido y uniforme, el cual es evaluado visual e instrumentalmente, la presencia de componentes café y rojo

son indeseables en el color de la pasta por lo que también son evaluados.

El componente amarillo está relacionado con la presencia de pigmentos carotenoides, ciertos lípidos y a la actividad de la lipoxigenasa en la semolina. Estos a su vez dependen de las características intrínsecas del trigo cristalino, de las condiciones de molienda así como de los parámetros bajo los cuáles la pasta es procesada. Estos factores pueden promover la oxidación y afectar la destrucción de los pigmentos carotenoides que es mediado por la lipoxigenasa, dando como resultado una decoloración de la pasta.

La presencia de grietas es otra característica que afecta la apariencia de la pasta. El agrietamiento es un defecto de producción, causado principalmente por condiciones inapropiadas de secado. La presencia de grietas en la pasta dificulta su empaque debido a que es más frágil, y lo más importante es que no puede ser vendida porque no es un producto satisfactorio para el consumidor.

La superficie de la textura de la pasta está determinada por la naturaleza del dado. Los dados modernos que contienen teflón producen pasta con una superficie lisa y brillante, mientras que los dados de bronce le dan una apariencia más heterogénea y rugosa.

La presencia de pecas oscuras en la pasta es el resultado de una inapropiada limpieza y molienda así como a la presencia de granos dañados.

La decoloración en la pasta presentada por las pecas y betas blancas, es debida a ciertas causas entre las que están las condiciones inapropiadas de los procesos de mezclado y extrusión así como de la producción de semolina de trigo cristalino

almidonoso, o de trigo cristalino adulterado con trigo común el cuál contiene pecas blancas (Feillet y Dexter, 1996).

La fuerza y flexibilidad de la pasta es una importante consideración, ya que si el producto es frágil no soportará los procesos de cortado, empacado, manejo y transporte. Se considera que tanto la calidad de la materia prima como los procesos de mezclado y extrusión tienen influencia en la fuerza de la pasta, pero probablemente el factor más crítico y determinante es el proceso de secado (Dick y Matsuo, 1988).

Cocimiento de la Pasta

La calidad del cocimiento se refiere a la capacidad de la pasta de mantener una buena textura después de ser cocinada, sin dar una sensación espesa y pegajosa, concepto que es interpretado de acuerdo a los hábitos del consumidor (Cubadda, 1988).

La pasta después del cocimiento es considerada de buena calidad si retiene el color amarillo, no se rompe y no pierde muchos sólidos en el agua de cocimiento, posee un alto grado de firmeza y elasticidad al ser mordida, sin dar una sensación viscosa. (Dick y Matsuo, 1988; Feillet y Dexter, 1996; Orozco, E.1999; Zweifel *et al*, 2003).

Es por lo anterior que el concepto de calidad de pasta involucra una serie de características importantes a evaluar como son:

Tiempo de cocimiento. En donde se evalúan tres tiempos y que corresponden, al momento en el cuál el almidón está gelatinizado (tiempo mínimo), al tiempo requerido

para que la pasta adquiriera una textura deseable (tiempo normal), y el tiempo en el que la pasta se desintegra (tiempo máximo).

Absorción de agua durante el cocimiento. Se refiere a la cantidad de agua absorbida cuando la pasta es sometida al cocimiento y alcanza una textura deseable.

Textura del producto cocido. Incluye la evaluación de la firmeza y resiliencia, que se refiere esta última a la recuperación de la muestra cuando es sometida a una fuerza de deformación; las cuáles pueden ser medidas por evaluación sensorial o por mediciones reológicas instrumentales.

Condiciones de la superficie. Donde se determina hasta cierto punto como se adhiere una pasta con otra, así como el aspecto liso de la pasta cocida (adhesividad, palatibilidad).

Aroma y Sabor. Características sensoriales que forman parte integral de la calidad de la pasta, los cuáles son percibidos al momento de la masticación y son muy importantes para el consumidor (Cubadda, 1988; Feillet y Dexter, 1996).

Microestructura de la Pasta

Las propiedades estructurales de la pasta son afectadas por varios factores, entre los más importantes están: la materia prima y las condiciones de secado.

La pasta puede ser considerada como una mezcla de polímeros donde los principales componentes son la proteína y el almidón, los cuales influyen en combinación en las propiedades estructurales y texturales de la misma (Zweifel *et al*,

2003). Tanto el almidón como la proteína tienen una gran afinidad por el agua. Durante el mezclado se da la absorción de agua, originando cambios estructurales tanto en el almidón como en la proteína siendo más marcados en la proteína. Después de que las proteínas han absorbido agua, éstas interactúan mediante enlaces covalentes y no covalentes para formar una matriz, la cuál ofrece las características viscoelásticas a la pasta cocida (Feillet y Dexter, 1996).

La superficie de la pasta extrudida y seca es una película proteica continua. La porción inerte de la pasta es una estructura compacta de gránulos de almidón envueltos en una matriz proteica amorfa. Los gránulos de almidón y la proteína son alineados en capas paralelas a la película de la superficie de la pasta, permaneciendo esta estructura después de que la pasta ha sido secada apropiadamente. Si el secado no es llevado de una forma apropiada se da un rompimiento de la continuidad de la película y matriz proteica (Hahn, 1990).

Cambios Estructurales que Suceden Durante el Cocimiento

Cuando la pasta es sometida a un cocimiento se expone a un proceso de absorción de agua, lo cuál conduce a una migración de humedad hacia el centro de la pasta, conforme va transcurriendo el cocimiento (Nobile *et al*, 2003). En este proceso de absorción sucede la hidratación de la proteína y la gelatinización del almidón (Yue *et al*, 1999).

En el cocimiento la microestructura de la pasta experimenta un cambio profundo en relación a la pasta cruda. La estructura de la pasta cruda es relativamente uniforme,

mientras que la pasta cocida tiene una estructura que cambia paulatinamente de la superficie al centro.

Los cambios son mayores en la superficie de la pasta, la cuál ha estado sujeta a los efectos del cocimiento por más tiempo. El centro de una pasta cocinada apropiadamente, posee gránulos de almidón no gelatinizados. Justamente fuera del centro de la pasta los gránulos de almidón están hinchados y gelatinizados, pero se conservan todavía intactos, observándose una matriz proteica continua. El gluten es todavía elástico pudiendo por lo tanto estirarse y acomodar a los gránulos de almidón gelatinizados, originando una estructura muy densa. En cambio en la región cercana a la superficie de la pasta, los gránulos de almidón no están tan intactos y la estructura continua de proteína ha empezado a romperse debido a la desnaturalización de la proteína por efecto del calor. En la superficie de la pasta la microestructura presenta un mayor cambio, donde la desnaturalización de la proteína ha ocasionado la destrucción de la matriz proteica, presentando una estructura completamente abierta, con mucho espacio desocupado. Se presume que el almidón que se encuentra en el agua de cocimiento proviene de esta área de la pasta, debido a que también se presenta el rompimiento de los gránulos de almidón gelatinizados (Voisey *et al*, 1978; González *et al*, 2000; Nobile *et al*, 2003).

Durante el cocimiento de una pasta de buena calidad, la proteína absorbe agua y se hincha más rápidamente que el almidón. Este proceso da como resultado una red fibrilar continua de proteína desnaturalizada, rodeando los gránulos de almidón (Irie *et al*, 2004). En pasta de pobre calidad la proteína se agrega en discretas masas en lugar

de formar una matriz continua, permitiendo que durante la gelatinización de los gránulos de almidón una gran cantidad de exudado se escape (Feillet y Dexter, 1996).

Parece ser que para obtener una pasta cocida de buena calidad y firme es muy importante que se de primero la hidratación de la fracción proteica antes de la gelatinización del almidón.

La pasta que es producida con semolina con menor contenido de proteína se cocina más rápido que la que es producida con semolina que contiene mayor proteína. La velocidad de hidratación parece ser el factor limitante en el tiempo de cocimiento de la pasta de buena calidad (Hahn, 1990).

Cambios que Ocurren Después del Cocimiento

La determinación de los factores que afectan la calidad de la pasta después del cocimiento es de gran importancia, para mantener los atributos de calidad de la misma hasta su consumo. Buena calidad de la pasta podría ser la calificada al dente la cual posee una cierta firmeza y elasticidad.

Como en todos los alimentos, la distribución y la migración de humedad son factores que afectan las propiedades texturales de los alimentos. En el caso de la pasta la transferencia de humedad sucederá en la dirección del gradiente de concentración entre el ambiente externo y la superficie de la pasta. Aunado a este proceso, el gradiente de humedad dentro de la pasta aumenta la posibilidad de una migración interna (Irie *et al.*, 2004). Esta migración interna sucede aun en ausencia de transporte de agua del ambiente externo hacia la pasta el cual se da durante el cocimiento.

La presencia de migración de humedad en la pasta, que se presenta en la etapa de reposo, después del cocimiento, puede afectar el comportamiento mecánico, debido a que en la superficie de la pasta, sucede una deshidratación lo cual ocasiona un cierto endurecimiento, mientras que la migración de humedad que se presenta en el centro de la pasta, aumenta la plastificación de los biopolímeros en esta región (Gonzalez *et al.*, 2000).

Estudios realizados por McCarthy *et al.*, (2002) donde probaron diferentes tiempos de reposo después del cocimiento de la pasta, observaron que conforme se incrementa el tiempo de reposo, el contenido de humedad disminuye en la superficie de la pasta y se incrementa en el centro. Encontrando además una relación directa al evaluar firmeza en estas muestras, a mayor tiempo de reposo menores son los valores de firmeza.

Métodos para Evaluar la Calidad de la Pasta Cocida

La calidad de la pasta cocida depende de varios factores entre estos se encuentran: la integridad de la pasta durante el cocimiento, cantidad de agua absorbida, pérdida de sólidos en el agua de cocimiento, y especialmente la firmeza que adquiere con el cocimiento.

La medición de la calidad de la pasta puede llevarse a cabo por métodos físicos, químicos e instrumentales. Los métodos instrumentales comúnmente son realizados en pasta tipo spaghetti, debido a que por la forma cilíndrica y sólida que posee, da una

mejor indicación de la calidad de la semolina de trigo cristalino (D'Egidio y Nardi, 1996). Algunos de los más usados serán descritos posteriormente.

Tiempo de Cocimiento

El tiempo de cocimiento tiene una gran influencia en todos los parámetros texturales, por lo que es muy importante establecer el tiempo que requiere la pasta para su cocimiento. Esta prueba se refiere a la estimación del tiempo en el cual la pasta está "al dente" término que se refiere a la desaparición del centro blanco de la pasta cocinada, cuando ésta es presionada entre dos plásticos transparentes. Este tiempo es conocido como el tiempo mínimo de cocimiento o también es llamado tiempo óptimo, el cual es usado para propósitos experimentales, aunque algunas veces también es usado el tiempo normal de cocimiento, que es el tiempo mínimo más 1-3 min.

En esta prueba es importante considerar algunos factores que influyen en la calidad de la pasta cocida como son: proporción de pasta:agua, dureza y pH del agua de cocimiento, temperatura utilizada y separación de la pasta del agua de cocimiento (D'Egidio y Nardi, 1996).

Peso de la Pasta Cocida

Esta prueba refiere la ganancia en peso de la pasta durante el cocimiento, por efecto de la absorción de agua y fue desarrollada en un intento de correlacionarla con la calidad de la pasta.

La pasta es cocinada al tiempo óptimo, transcurrido este tiempo, la pasta es drenada. El incremento de peso es determinado pesando la pasta después del cocimiento, y haciendo una comparación con el peso inicial de la pasta seca.

Normalmente el peso de la pasta cocida es de dos a tres veces el peso de la pasta seca (Matsuo, 1988; Feillet y Dexter, 1996).

Pérdida de Sólidos en el Cocimiento

Es considerado como un parámetro muy importante de la calidad total de la pasta cocida.

La relativa turbidez del agua de cocimiento es un indicativo del grado de rompimiento de la pasta durante el cocimiento, el cual es referido como pérdida de cocimiento o residuo en el agua de cocimiento (Dick y Matsuo, 1988).

La pérdida de sólidos puede ser determinado por evaporación o liofilización del agua de cocimiento. El residuo obtenido después del secado es pesado y reportado como porcentaje, basado en el peso del producto crudo; el cual no debe exceder de 7-8 % del peso seco. (D'Egidio y Nardi, 1996; Dick y Youngs, 1988).

Materia Orgánica Total (MOT)

Este método fue propuesto por D'Egidio *et al*, (1982) en un intento de eliminar la subjetividad de las pruebas sensoriales en la evaluación de la pegajosidad, (parámetro textural). Asumiendo que la pegajosidad de la pasta depende de sustancias

principalmente almidón, que escapan de la red proteica y se adhieren a la superficie de la pasta cocida.

La prueba de materia orgánica total es una alternativa a la evaluación sensorial de la calidad del spaghetti, ya que se encontró muy buena correlación tanto con la intensidad de cocimiento de la pasta, como con la pegajosidad de la misma. Un alto contenido de material en la superficie de la pasta, podría resultar en un valor alto de MOT.

Este método está basado en la determinación química del material que está adherido a la pasta cocida, el cual es separado una vez que la pasta es sometida a un remojo con agua por un cierto tiempo. Transcurrido el tiempo, la pasta es separada del agua de lavado. El material desprendido de la superficie de la pasta es determinado en el agua de lavado por titulación con sulfato ferroso amónico en exceso de dicromato de potasio. Los resultados son expresados en g de almidón por 100 g de pasta seca, considerando al almidón como componente principal suspendido en el agua de lavado (Cubadda, 1988; Grazia *et al*, 1996). En la Tabla 1 se encuentran los rangos de los valores de esta determinación que indican la calidad del spaghetti cocido (D'Egidio y Nardi, 1996).

Contenido de Amilosa

Este método surgió como una alternativa a la prueba de pérdida de sólidos en el cocimiento, debido al tiempo que tarda en su realización. además de obtener en algunas ocasiones resultados que son difíciles de reproducir.

Tabla 1. Evaluación de la Calidad de Spaghetti Cocido Según la Determinación de Materia Orgánica Total (TOM).

Valores de TOM	Calidad de Cocimiento
>2.1	Baja
2.1 -1.4	Buena
<1.4	Muy Buena

Expresado como g de almidón por 100 g de spaghetti

Fuente: D'Egidio y Nardi, 1996.

La determinación de amilosa es una prueba colorimétrica, en donde se hace reaccionar una alícuota de agua de cocimiento con yodo, produciendo una coloración azul oscuro, producto del complejo formado amilosa-yodo, el cuál tiene una absorción máxima a 650 nm.

Esta prueba asume que el componente principal de almidón encontrado en el agua de cocimiento es amilosa (Matsuo *et al*, 1992). Reportándose además la lixiviación de amilosa durante el cocimiento, la cuál se ve incrementada a medida que el daño del gránulo de almidón es mayor, habiendo por lo tanto mayor cantidad de amilosa en el agua de cocimiento (Grant *et al*, 1993).

Prueba de Textura

Es generalmente aceptado que el principal criterio para evaluar la calidad total de la pasta cocida está basado en la evaluación de textura (Edwards *et al*, 1993; Grant *et al*, 1993), propiedad física originada por los constituyentes estructurales del alimento.

Las propiedades texturales están relacionadas con la deformación, desintegración y con el flujo del alimento bajo el efecto de una fuerza aplicada y pueden ser medidas mediante el uso de instrumentos en función del tiempo, masa y distancia. (Giese, 2003).

La evaluación final de la calidad de la pasta cocida, está basada en la evaluación de textura en la pasta cocida. Esta evaluación en la industria generalmente es realizada utilizando métodos subjetivos o sensoriales, utilizando para ello paneles entrenados,

donde no utilizan una misma técnica, debido a que no existe una prueba estándar, para llevar a cabo tanto el cocimiento como la evaluación sensorial de la pasta.

Medición Subjetiva de Textura en Pasta Cocida. La evaluación subjetiva de la textura, es la técnica más comúnmente utilizada por la industria en la evaluación de la calidad de pasta cocida, debido a que determina más cercanamente la aceptabilidad del consumidor, siendo además la principal referencia para comparar los resultados obtenidos por métodos objetivos y químicos (Hahn, 1990; Orozco, 1999). Esta técnica es considerada impráctica cuando se tienen que analizar muchas muestras a la vez, o cuando la cantidad de muestra es escasa (Byung-Kee et al, 1994).

En Italia tanto las industrias de pastas como los departamentos de investigación, el método que es aceptado y ampliamente utilizado, para evaluar la calidad de la pasta cocida es la evaluación subjetiva. Este método está basado en la evaluación de pegajosidad o adhesividad, firmeza o resistencia a la compresión y volumen en la pasta cocida.

La pasta es analizada por un panel experto de al menos 3 integrantes y es realizada en spaghetti cocido con diámetro de 1.60-1.65 ó 1.70-1.75 mm.

La adhesividad es evaluada por inspección visual con o sin ayuda de estándar de referencia, la firmeza por masticación o corte con los dientes y el volumen es evaluado visual y manualmente.

Las características son evaluadas por los expertos por separado asignándole un valor de 0 a 100 como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de Valores Usados en la Evaluación Sensorial del Spaghetti Cocido.

Escala	Adhesividad	Voluminosidad	Firmeza
<20	muy alto	muy alto	ausente
40	alto	alto	baja
60	baja	baja	suficiente
80	casi ausente	casi ausente	buena
100	ausente	ausente	muy buena

Fuente: Cubadda, 1988

La evaluación del cocimiento total es obtenida del promedio de todos los valores asignados por los jueces y correlacionarlo con la descripción del valor, así que una pasta arriba de 80 es considerada como de excelente calidad (Cubadda, 1988; Orozco, 1999).

Medición Objetiva de Textura en Pasta Cocida. Algunas características texturales en pasta cocida han recibido gran atención como son firmeza, compresibilidad, y adhesividad o pegajosidad, y diferentes métodos objetivos han sido desarrollados para medirlos.

Los métodos instrumentales han sido ampliamente reportados, pero su aplicación industrial ha sido limitada. Se ha reportado que la falta de técnicas estandarizadas de cocimiento afecta la reproducibilidad de los mismos. La dureza del agua usada en el cocimiento de la pasta se ha reportado que no afecta la firmeza, pero sí la adhesividad de la misma.

Evaluación de Firmeza. Este parámetro textural es definido como fuerza necesaria para cortar el spaghetti cocido. Para medir la firmeza o blandura de la pasta cocida algunos métodos instrumentales han sido desarrollados, los cuáles han mostrado buena correlación con las pruebas sensoriales. Varios investigadores (Matsuo y Irvine, 1969; Walsh y Gilles, 1971; y Oh *et al*, 1983). usaron un aditamento tipo cuchilla muy similar, para realizar la prueba de corte.

Walsh y Gilles (1971) describieron un procedimiento para medir la firmeza en spaghetti cocido; una tira de spaghetti fue colocada sobre una placa de plexiglass y cortada

con un diente o cuchilla de plexiglass, a una velocidad de 0.018cm/s. La firmeza se midió por la fuerza necesaria para cortar la tira de spaghetti. Matsuo y Irvine (1969), diseñaron un instrumento con un aditamento que simulara la mordida, el cuál fue usado para medir la velocidad de corte y la fuerza requerida para cortar la tira de spaghetti cocido. La velocidad de corte fue usada como una medida de la blandura.

Oh *et al* (1983) describieron una prueba de corte similar a las anteriores sólo que usaron tres tiras de spaghetti en la prueba en lugar de una, donde las tres tiras de spaghetti cocido fueron cortados con una cuchilla de plexiglass. La fuerza máxima al corte fue usada como medida de firmeza.

Orozco (1999) evaluó la calidad de pastas comerciales tipo spaghetti, midiendo la firmeza en pasta cocida, utilizando para ello una celda de placa acanalada (CPA), la cuál consta de dos placas: la superior que es de superficie lisa y la inferior que es acanalada. Diez tiras de spaghetti fueron comprimidas a un 80 % de su grosor, y la firmeza fue determinada como la fuerza máxima obtenida en la medición.

La asociación americana de químicos en cereales (AACC), en 1989 aprobó un método para evaluar la firmeza en pasta cocida, basado en la prueba de corte, con cuchilla de plexiglass de Walsh y Gilles, (1971). Este método mide la fuerza requerida por la cuchilla o diente de plexiglass para cortar 5 tiras de spaghetti (o aproximadamente el mismo ancho con otro tipo de pasta). La firmeza es definida como el trabajo en g-cm requeridos para cortar una pieza de pasta. También se ha usado la fuerza máxima al corte (pico máximo) por unidad de área (Smewing, 1997). La Figura 1 muestra la curva típica de fuerza contra distancia obtenida de la medición. Esta prueba da buenos

resultados cuando es usada en pasta larga como el spaghetti, pero tiene su desventaja ya que no pueden evaluarse otro tipo de pasta. Una alternativa a este método podría ser el método propuesto por Voisey *et al.* (1978), quienes utilizaron una celda múltiple adaptada con diez navajas, para realizar la prueba de corte. Esta celda de corte múltiple puede ser usada tanto en pasta larga como corta. Es claro que se requiere más investigación en procedimientos reológicos para evaluar la calidad de la pasta cocida, que sean más versátiles y puedan usarse con cualesquier figura de pasta (Hahn, 1990).

La prueba de corte es una de las pruebas más reportadas en la medición de firmeza en spaghetti cocido, utilizando el método oficial de la AACC como Dobbouz y Doetkott (1996), en otras ocasiones con modificaciones de las condiciones de prueba (Edwards *et al.*, 1993 ;1995; González *et al.*, 2000), así como el uso de distintos instrumentos texturales sin embargo el principio de la medición es el mismo (Zweifel *et al.*, 2003; Grant *et al.*, 1993)

Evaluación de Compresibilidad. Matsuo y Irvine (1971), El instrumento que diseñaron para medir blandura en pasta cocida, fue modificado en un intento de obtener una evaluación más completa donde incluyera parámetros sensoriales como masticación. Para evaluar masticación es necesario comprimir la pasta por lo que decidieron obtener parámetros relacionados a la compresión y la habilidad de la pasta a recuperarse de la compresión experimentada. Para llevar a cabo esta prueba la cuchilla de corte fue remplazada por una cuchilla plana sin punta.

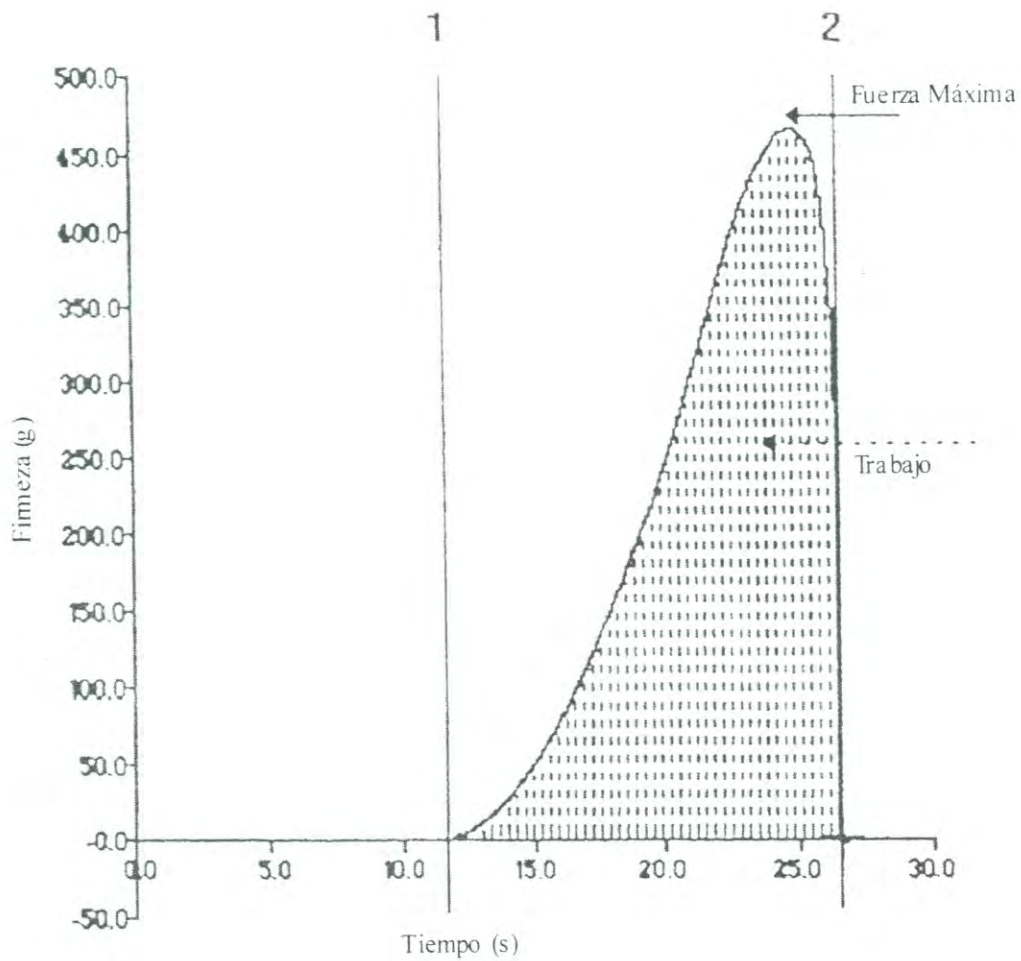


Fig. 1. Curva Obtenida en la Medición en Spaghetti Cocido
Fuente: Smewing, 1997.

La tira de spaghetti fue comprimida a una fuerza y tiempo constante, la fuerza es retirada después de 15 s, continuando la prueba por otros 15s más.

La compresibilidad y la recuperación a la compresión son medidos de la curva obtenida. La compresibilidad es definida como la proporción de la penetración de la cuchilla en relación al diámetro original. Y la recuperación fue definida como la relación de la distancia que la cuchilla es forzada a regresar en relación a la penetración original de la cuchilla.

La interpretación de la curva es mostrada en la Figura 2, donde X representa el diámetro del spaghetti cocido, Y es la penetración de la navaja dentro de la muestra y Z es el punto en el cuál los componentes elásticos forzan a la navaja a regresar. Las muestras de spaghetti con baja compresibilidad y alta recuperación, fueron consideradas de buena calidad.

Oh *et al* (1983) describieron un método para medir la compresión y la recuperación, usando tres tiras de spaghetti cocido, usando una navaja o cuchilla sin punta. Las tiras fueron comprimidas a un máximo esfuerzo de 1.3 k/cm^2 . Los valores de resistencia y la recuperación a la compresión fueron obtenidos de la curva de la medición, los cuáles mostraron buena correlación con la masticabilidad medida sensorialmente por un panel entrenado. Donde masticabilidad fue definida por el panel como el tiempo necesario en reducir la muestra de spaghetti en piezas lo suficientemente pequeñas que puedan ser deglutidas.

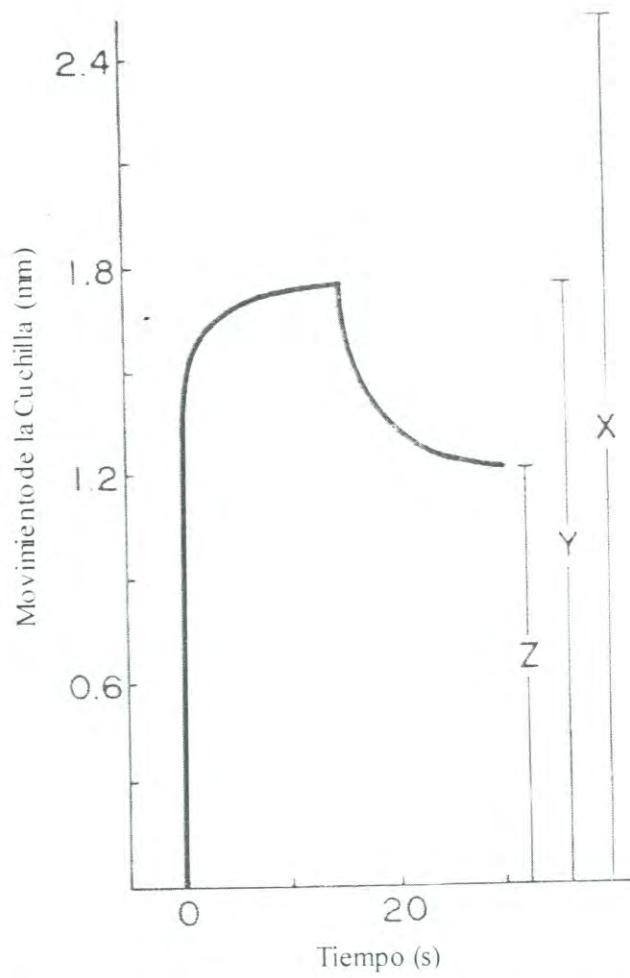


Fig. 2. Valores Derivados de la Curva de Compresibilidad en Spaghetti Cocido
Fuente: Matsuo y Irving, 1971.

Medición de Adhesividad. El tercer parámetro importante en la evaluación de la calidad de pasta cocida es la adhesividad, un valor bajo de adhesividad es indicativo de buena calidad.

Varios métodos para describir su medición han sido descritos, y las dificultades que han presentado estos métodos están relacionados con la presentación de la muestra en la medición instrumental (Fizman y Damásio, 2000).

Muchos de las pruebas aplicadas están basadas en los procedimientos empleados por Voisey *et al*, (1978). Las tiras de spaghetti cocidas fueron comprimidas entre dos platos, aplicando una fuerza de compresión específica. El plato superior era bajado a una velocidad constante, posteriormente los platos eran separados, midiendo la fuerza de adhesión del spaghetti al plato superior, considerando esta fuerza como el valor de adhesividad.

Dexter *et al* (1983) modificaron el aparato de laboratorio de investigación en granos (ALIG), equipo que inicialmente había sido diseñado para evaluar las pruebas texturales en la miga de pan, para medir pegajosidad en spaghetti cocido. A este equipo se le adaptó un émbolo de aluminio y un retenedor de la muestra, eliminando con esto que el spaghetti se desviara o se resbalara. Ellos definieron adhesividad como la depresión máxima registrada durante el levantamiento del émbolo.

Los autores enfatizan la importancia de la estandarización de las condiciones de prueba, en esta medición. Solo si la velocidad de deformación, compresión máxima, fuerza de compresión final, tiempo de relajación y tiempo transcurrido entre el

cocimiento y la medición, son controlados cuidadosamente, puede realizarse comparaciones efectivas mediante este procedimiento (Hahn, 1990).

Dexter *et al* (1985) estudiaron la correlación de pegajosidad medida en el ALIG con la prueba química de materia orgánica total, propuesta por D'Egidio *et al* (1982), con la finalidad de probar que el método instrumental da una estimación válida de las características de cocimiento del spaghetti, encontrando una correlación significativa entre la prueba instrumental y la química.

Grant *et al* (1993) consideraron que la adhesividad es uno de los parámetros que menos se ha investigado, por lo que adaptó el método de Dexter *et al.*, (1983) al texturómetro Instron, para medir adhesividad, correlacionándolo además con otros parámetros que afectan la calidad de cocimiento de la pasta.

Smewing *et al* (1997) reportaron que el trabajo tensil total requerido para separar la muestra de la superficie del émbolo es también utilizado como medida de adhesividad. También este autor enlista las siguientes características, las cuáles son las principales causas que ocasionan la variabilidad en los resultados: agua presente en la superficie de la pasta, el cambio de las propiedades de la pasta cocida con el tiempo, las limitaciones de la pasta por sus características en la medición, y el uso correcto de la fuerza de compresión y velocidad de regreso del émbolo.

La adhesividad fue utilizada por Orozco (1999) como un indicador de calidad en pasta cocida. En el estudio que realizó evaluó la calidad de seis pastas comerciales, usando la placa acanalada, la pasta fue comprimida y después de un tiempo de relajación

las placas fueron separadas, tomando como indicador de la adhesividad la fuerza requerida para separar los platos.

Propiedades Reológicas en Pasta Cocida

Durante algunos años la industria de la pasta ha utilizado los métodos reológicos basados en las propiedades de la materia prima, para evaluar el potencial de las variedades de trigo cristalino en la producción de la pasta. Algunos de los métodos reológicos aplicados han sido utilizados en la industria de la panificación y han sido adaptados a la producción de pasta, como son el mixógrafo, farinógrafo, alveógrafo, y amilógrafo, además de la prueba de sedimentación dodecil sulfato de sodio (SDS).

Muchos investigadores han mostrado que como en el caso del trigo para pan, la fuerza del gluten es un importante factor en la elaboración de pasta de alta calidad, esta es una buena razón por la cuál se justifica el uso de estas pruebas predictivas. Más sin embargo, dichas metodologías no proporcionan una predicción satisfactoria del potencial en la producción de pasta de la harina o semolina.

La mejor prueba para evaluar la calidad de la pasta debe de hacerse sobre el producto final. Métodos reológicos objetivos como los mencionados en el sección anterior son aplicados a la pasta cocida, para evaluar ciertos parámetros texturales, los cuáles proporcionan información muy valiosa, y donde sólo uno de los métodos instrumentales ha sido avalado por el AACC para medir firmeza en spaghetti cocido.

Este método aunque es rápido y fácil tiene ciertas limitaciones como es el uso limitado a un tipo de pasta.

Se requiere de nuevos procedimientos basados en las propiedades reológicas de la pasta, los cuales pudieran servir como base en estándares o especificaciones de calidad de la pasta (Hahn, 1990).

La viscosidad es una de las propiedades reológicas que poco se ha estudiado en pasta cocida, característica que es percibida cuando el alimento fluye por efecto de la deformación (Rosenthal, 1999).

Método de Compresión Uniaxial con Lubricación

El uso de este método ha sido reportado en alimentos semisólidos y en materiales altamente viscosos, siendo muy útil en cuantificar cambios en el comportamiento de la masa (Menjivar, 1990).

El método de compresión uniaxial emplea el texturómetro (marca Instron). En esta prueba la muestra es comprimida entre dos platos circulares. El plato superior es bajado a una velocidad constante y la fuerza aplicada sobre el alimento es registrada en función del tiempo.

La prueba de compresión uniaxial ha sido reportada como difícil de interpretar en términos fundamentales, una alternativa que mejora la interpretación, es el uso de lubricación de la superficie de los platos, lo que reduce o elimina los efectos friccionales.

Para medir las propiedades reológicas de alimentos, el flujo de compresión lubricado tiene buena aceptabilidad porque el equipo es fácil de usar y los resultados pueden ser expresados en términos de viscosidad extensional biaxial (Ramirez *et al*, 1996; Baltsavias *et al*, 1999).

El método de compresión uniaxial con lubricación asume las siguientes consideraciones: ausencia del efecto de pared, trabajar con fluidos incompresibles, efectos de gravedad despreciables, dirección de flujo radial y deformación homogénea, lo cual implica un perfecto deslizamiento entre la muestra y la pared. El tratamiento matemático que se sigue para la evaluación de la viscosidad elongacional es el utilizado por Chartrei *et al*, (1981) y modificado posteriormente por Campanella y Peleg (1987). Para la obtención de lo anterior se utiliza un texturómetro (marca Instron) a una velocidad o desplazamiento constante.

Los componentes de velocidad física para un sistema de coordenadas es el siguiente:

$$V_z = \dot{\epsilon}_T H \quad (1)$$

$$V_r = \dot{\epsilon}_T (r/2) \quad (2)$$

$$V_e = 0 \quad (3)$$

donde:

V_z , V_r y V_e = Componentes normal (vertical), radial y angular respectivamente, (cm min^{-1})

H = Altura de la muestra como ésta va cambiando con el tiempo, (cm)

r = Distancia radial, (cm)

$\dot{\varepsilon}_T$ = Velocidad de deformación momentánea, (s^{-1}) a velocidad de deformación momentánea se define de la siguiente forma:

$$\dot{\varepsilon}_T = \frac{1}{H} \frac{dH}{dt} \quad (4)$$

En el texturómetro operado a velocidad de desplazamiento constante, los valores de V_z y H se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_z = \frac{-dH}{dt} \quad (5)$$

$$H = H_0 - V_z t \quad (6)$$

donde:

H_0 = Altura inicial de muestra sin deformar, (cm)

t = Tiempo transcurrido desde el inicio de la prueba, (s)

H = Altura instantánea de la muestra al tiempo, (cm)

Sustituyendo las ecuaciones 5 y 6 en la ecuación 4, la velocidad de deformación momentánea está dada por:

$$\dot{\varepsilon}_T = \frac{V_z}{(H_0 - Vz)} \quad (7)$$

La diferencia de esfuerzos normales es obtenido dividiendo la fuerza entre el área de la sección transversal o la parte deformada de la muestra, en este caso, esta área es constante.

$$T_{ZZ} - T_{RR} = \frac{F}{\pi R^2} \quad (8)$$

donde:

F= Fuerza de compresión momentánea, (Nw)

R= Radio del plato, (cm).

De acuerdo a Campanella y Peleg, (1987), el flujo elongacional es regulado por la función del material conocida como viscosidad elongacional η_b , que puede ser expresada por la siguiente ecuación:

$$\eta_b = \frac{T_{ZZ} - T_{RR}}{\dot{\varepsilon}_r} \quad (9)$$

donde:

$\dot{\varepsilon}_r$ = Velocidad extensional biaxial la cual es definida por la siguiente ecuación:

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{1}{2} \dot{\epsilon}_r \quad (10)$$

Sustituyendo las ecuaciones 8,9 y 11 en la ecuación 10, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\eta_b = \frac{2 FH}{\pi R^2 v_z} \quad (11)$$

El cálculo de la viscosidad elongacional se obtiene fácilmente si se conoce la altura inicial de la muestra y la fuerza aplicada a las distintas alturas en los diferentes tiempos que son obtenidos de la curva de fuerza- deformación (Ramírez, 1989).

El método de compresión uniaxial (MCU) ha sido utilizado para estudiar las propiedades reológicas en productos como: mantequilla de cacahuete, diferentes tipos de queso, masas de maíz y trigo, mayonesa, pasta de tomate, yogurt, dulce de leche, frijoles refritos y mostaza, obteniendo parámetros reológicos tales como viscosidad extensional (Osorio *et al.*, 2003).

Bagley y Christianson (1986) midieron la respuesta a la compresión uniaxial con lubricación, en masas comerciales químicamente leudadas, utilizando diferentes velocidades de cabezal. Encontrando que las propiedades reológicas de la masa no están determinadas solamente por la velocidad radial. Cuando estos autores representaron los resultados en función del incremento del esfuerzo, concluyeron que las masas no

pueden ser caracterizadas por una curva simple de coeficiente del incremento del esfuerzo contra el tiempo, sino que depende tanto del tiempo como de la velocidad del cabezal.

Este método (MCU) fue utilizado por Ramírez *et al.*, (1996) para evaluar las propiedades reológicas en la masa de maíz, preparada bajo diferentes condiciones de tiempo de cocimiento en el proceso de la nixtamalización, grado de molienda. Las masas de maíz fueron acondicionadas con agua para obtener masas con una misma adhesividad, mismas que presentaron contenido de humedad diferente. Donde encontraron que la viscosidad extensional biaxial fue igual para las masas con misma adhesividad. Reportando además que cuando las masas fueron probadas a diferentes velocidades de cabezal, las curvas de viscosidad extensional biaxial se incrementaron a medida que la velocidad de cabezal fue mayor. La viscosidad fue referida como un predictor del comportamiento de la masa de maíz en los pasos de moldeo y cortado en el proceso de la elaboración de la tortilla, en donde la viscosidad es un parámetro importante.

Osorio *et al.*, (2003) utilizaron el MCU para estudiar el efecto de la absorción de agua en las propiedades reológicas en la masa de trigo, reportando que mediante este método se puede determinar la calidad de masa de trigo, previo a la manufactura, ya que el método de compresión uniaxial con lubricación fue capaz de diferenciar masas con diferentes niveles de absorción, mediante la estimación de la viscosidad extensional biaxial.

Salazar *et al*, (2003) trabajaron con la técnica de compresión uniaxial para relacionar el comportamiento reológico de la masa con la calidad de la harina de trigo para la elaboración de pan. Utilizaron tres velocidades de cabezal. Los resultados mostraron que la viscosidad extensional correlacionó tanto con el contenido de proteína de las harinas como con el volumen del pan, resultado que confirmó la conveniencia de esta prueba, encontrando además que la viscosidad extensional biaxial no depende solamente de la velocidad de deformación.

El método de compresión uniaxial con lubricación podría ser una alternativa en la medición de la viscosidad en pasta cocida, proporcionando de esta manera herramientas que puedan servir en la selección de la materia prima, así como en las condiciones de proceso para aumentar la calidad del producto final.

MATERIALES Y METODOS

Materia Prima

Para realizar este estudio se utilizó pasta tipo spaghetti, marca Barilla, la cuál no contiene ingredientes adicionales a la fórmula básica, El lote de pasta fue adquirido en el comercio local y mantenido en almacenamiento a una temperatura de 25⁰C durante toda la etapa experimental.

Análisis Químico y Físico en Pasta Seca

Análisis Químico

La muestra fue analizada primeramente en su composición química utilizando la metodología de la AACC (2000). Los análisis que se llevaron a cabo fueron los siguientes: contenido de humedad (método 44-15), contenido de proteína (método microkjeldhal 46-13) y contenido de cenizas (método 08-12).

Determinación de Color

Otra de las técnicas que se utilizó en la caracterización de la pasta fue la medición de color, utilizando para ello el método 14-22 oficial del AACC (2000). Se utilizó un colorímetro Minolta CR-10, midiendo los parámetros de luminosidad,

amarillosidad y el presencia del pigmento rojo en el spaghetti, expresados por los valores L, b y a respectivamente.

Estimación del Tiempo de Cocimiento de la Pasta

El método que se usó para determinar el tiempo de cocimiento fue el 66-50 (AACC, 2000). Se utilizaron 25 g de spaghetti los cuáles fueron apegados a 300ml de agua destilada hirviendo, iniciando a partir de este momento el cocimiento del spaghetti. La pasta se mantuvo en agitación lenta y continua, manteniendo así las tiras de spaghetti separadas durante el cocimiento.

Para determinar el tiempo al cuál la pasta ya estaba cocida, cada 30 segundos se retiraron tiras de spaghetti del agua de cocimiento, siendo el tiempo óptimo de cocimiento el estimado, cuando al presionar la pasta entre dos placas transparentes el centro blanco desaparece.

Uno de los factores de estudio en esta investigación fue el tiempo de cocimiento, debido a que se ha reportado ampliamente el efecto que tiene sobre la calidad de la pasta cocida y por ende en su aceptabilidad por el consumidor. Debido a lo anterior se seleccionaron tres tiempos de cocimiento: el estimado en la prueba de cocimiento y dos tiempos más, apegando 3 y 6 min al tiempo estimado, estudiando de esta manera el spaghetti que se coció a un tiempo normal y a un tiempo donde se sobrecoció.

Análisis Químico y Físico en Pasta Cocida

El spaghetti fue sometido a tres tiempos de cocimiento: el primer tiempo fue el estimado en la prueba de cocimiento, los otros dos tiempos probados fueron el tiempo estimado más 3 y 6 min respectivamente.

Índice de Absorción de Agua de la Pasta

En la pasta cocida se calculó el índice de absorción de agua. Después del cocimiento la pasta fue drenada, y se registró el peso de la pasta cocida, posteriormente se determinó el contenido de materia seca por medio de un secado de la pasta cocida a 133°C por 90 min. El índice de agua absorbida (%) fue calculada relacionando el peso de la pasta con el contenido de materia seca de la pasta cocida (Zweifel *et al*, 2003).

Determinación de Sólidos Totales

Los sólidos perdidos en el agua de cocimiento fueron analizados de acuerdo al método 66-50 (AACC, 2000). 25 g de pasta se cocinaron en 300 ml de agua a temperatura de ebullición y presión atmosférica. Posteriormente la pasta fue separada del agua de cocimiento. Para determinar la cantidad de sólidos perdidos durante el cocimiento, el agua de cocimiento fue sometida a evaporación. Para evaporar esta solución a sequedad, se utilizó un horno con convección de aire, a una temperatura de $100 \pm 1^\circ\text{C}$. El resultado fue expresado como gramos de sólidos totales perdidos durante el cocimiento de 100 g de pasta.

Materia Orgánica Total (MOT)

La determinación de materia orgánica total se realizó siguiendo la técnica propuesta por D'Egidio *et al*, (1982). El contenido de materia orgánica total se determinó en el agua de lavado.

Después del cocimiento, la pasta fue separada del agua de cocimiento dejándose reposar durante 9 min. Posteriormente, la pasta fue lavada con 500 ml de agua a temperatura ambiente durante 12 min. El agua de lavado se hizo reaccionar con dicromato de potasio y ácido sulfúrico para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica, obtenida de la superficie de la pasta lavada. La cantidad de dicromato de potasio en exceso (que no reaccionó) fue cuantificada por titulación con sulfato ferroso amónico usando difenilamina como indicador. Los resultados fueron expresados como gamos de almidón obtenidos de 100 gamos de pasta.

Determinación de Amilosa

La determinación de amilosa se llevó a cabo mediante un método colorimétrico, midiendo la absorbancia a 650 nm del complejo amilosa-yodo. Esta técnica se realizó de acuerdo al procedimiento reportado por Matsuo *et al*, (1992).

Se cocieron 25 g de spaghetti en 125 ml de agua destilada, posteriormente la pasta fue drenada, el agua de cocimiento se recogió en un matraz el cuál fue aforado a 100 ml con agua destilada. Se tomaron 10 ml del agua de cocimiento, y se filtraron. 1 ml del filtrado se transfirió a un matraz agregándose además 20 ml de agua y 1 ml de

solución de yodo ((2g KI más 0.2 g de I₂) aforándose a un volumen a 25 ml. con agua destilada. Después de 10 min se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 650nm. Se realizó una curva estándar con diferentes concentraciones de amilosa. Los valores obtenidos fueron reportados como valores de absorbancia a 650 nm.

Medición de Firmeza en Spaghetti Cocido

La firmeza de la pasta de spaghetti fue evaluada a los mismos tiempos de cocimiento y reposo utilizados en la medición de viscosidad extensional biaxial. La determinación de firmeza en la pasta cocida se realizó utilizando el método 66-50 de la AACC (2000). Esta medición consistió en utilizar una cuchilla de plexi glass adaptada al analizador de textura (TA-XT2), en la base del TA-XT2 fue colocada una placa de plexi glass, donde se colocaron 5 tiras de spaghetti en forma perpendicular a la dirección de la cuchilla. La cuchilla fue bajada a una velocidad de 0.10 mm/s cortando la pasta. La prueba concluyó cuando se alcanzó una separación entre la cuchilla y la placa de 0.5mm. De esta medición se obtuvieron curvas de fuerza – distancia. Los valores de esta medición son obtenidos en el software integrado al equipo de medición, el cual realiza automáticamente los cálculos necesarios para obtener la fuerza máxima, el trabajo requerido para cortar el spaghetti y la pendiente inicial. Los resultados obtenidos son reportados en g para fuerza máxima, g/mm para trabajo (área bajo la curva) y g/mm para la pendiente inicial.

Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida

Empleando el método de compresión uniaxial con lubricación, se determinó la viscosidad extensional biaxial en la pasta cocida sometida a diferentes condiciones de cocimiento y reposo. La técnica fue realizada en un texturómetro (marca Instron, modelo 4465, Instron Co., Canton, MA). equipado con una celda de carga de tensión – compresión de 500 kg. Este método emplea dos platos circulares que son conectados al texturómetro que proporciona resultados de fuerza-deformación en función de la variación de la altura de la muestra. Después utilizando ecuaciones reológicas desarrolladas por Chatrei *et al.* (1981) se obtuvo la viscosidad extensional a diferentes velocidades de deformación biaxial.

Debido a que el método refiere el uso de un disco de muestra con dimensiones de 69 mm de diámetro y 7 mm de altura para llevar a cabo la medición de viscosidad extensional biaxial (Ramírez *et al.*, 1996), lo que se realizó primeramente fue desarrollar la forma de preparar el spaghetti y formar el disco de pasta cocida. Se probaron diferentes instrumentos para moler el spaghetti, y darle la consistencia adecuada para facilitar el moldeo, así como diferentes manejos de la muestra para realizar el pesado y moldeo de la misma. El procedimiento establecido y estandarizado es mostrado en la Figura 3.

Cocimiento de la Pasta. El spaghetti crudo (20 g) fue cocido a ebullición (98°C) utilizando los tiempos establecidos: 9.5, 12.5 y 15.5 min, inmediatamente después de transcurrir el tiempo, la pasta es retirada del calentamiento y drenada, posteriormente es enfriada al chorro de agua por 30 s y de nuevo es drenada por 1 min.

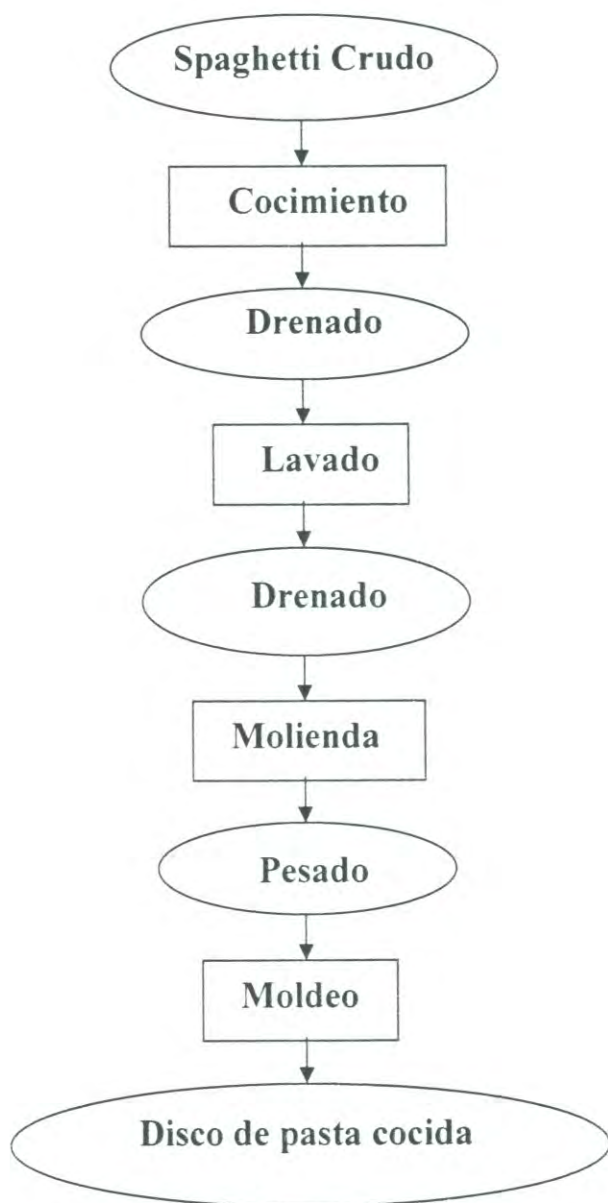


Figura 3. Diagrama de Flujo de la Elaboración del Disco de Pasta Cocida

Reposo de la Pasta. Con la finalidad de probar la sensibilidad del método (MCU), a los cambios originados en la calidad de la pasta cocida por efecto del tiempo de reposo (tiempo transcurrido entre el cocimiento y la preparación de la muestra antes de realizar la medición de viscosidad), se decidió incluirlo como factor de estudio.

Una vez cocida la pasta fue sometida a diferentes tiempos de reposo: dos y cinco horas. Durante este tiempo el spaghetti fue mantenido en recipientes herméticos a temperatura ambiente (25°C). Incluyendo además el spaghetti que no se sometió a reposo.

Molienda de la Pasta. La pasta cocida fue sometida a una molienda por 50s, en un molino de café (marca Ekco), seleccionándolo por lograr una buena homogenización, así como una mejor consistencia de la pasta y obtenerse una mayor recuperación de la muestra después de la molienda.

Moldeo de la Pasta. Antes de moldear el disco de pasta, se estimó la cantidad necesaria para formarlo, requiriéndose de 31.5 ± 0.5 g de pasta molida. El disco de pasta fue moldeado haciendo uso del plato inferior del Texturómetro (marca Instron, modelo 4465, Instron Co., Canton MA), así como de un anillo de fierro con dimensiones de 68.5 cm. de diámetro y 7mm de altura, construido por Salazar-García *et al.*, (2003) ambos lubricados con vaselina. La pasta molida fue colocada en el centro del plato, para moldearla, esta fue presionada por un min con una pesa de 5 kg para darle la forma de disco, después fue retirada la pesa así como el anillo, obteniéndose el disco de pasta con un diámetro de 69 mm y 7 mm de altura.

Medición de Viscosidad Extensional. El disco de pasta fue colocado en el centro del plato inferior fijado al texturómetro (marca Instron, modelo 4465, Instron Co., Canton MA), Por otro lado, el plato superior se conectó al cabezal del texturómetro, el cuál fue movido hacia abajo sobre el disco de pasta; ambos platos fueron previamente lubricados con vaselina.

La prueba se llevó a cabo de la siguiente manera: El plato superior fue bajado a una velocidad constante de 0.3 mm/min comprimiendo y deformando la muestra, hasta alcanzar una separación entre los platos de 3mm. En ese momento el cabezal se detuvo, concluyendo la medición. De esta compresión se obtuvieron curvas con datos de fuerza-deformación, en función de la variación de la altura de la muestra, los cuáles fueron utilizados para el cálculo de la viscosidad extensional.

Cálculo de la Viscosidad Extensional. La viscosidad extensional de la muestra fue calculada usando el tratamiento matemático desarrollado por Chatraei *et al.*, (1981) y modificado por Campanella *et al.*, (1987) Para obtener la viscosidad extensional se utilizó la siguiente ecuación:

$$\eta_b = 2F(t)h(t)/(\pi R^2 V_z) \quad (1)$$

donde: η_b = Viscosidad extensional, Pa.s.

$F(t)$ = fuerza compresiva momentánea, N.

$h(t)$ = cambio de altura de la muestra con respecto al tiempo, en cm.

R = radio de los platos, cm; y V_z es la velocidad normal en el sistema de coordenadas cilíndricas, cm/s.

Para calcular la velocidad de deformación extensional biaxial radial se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{\epsilon}_r = V_z / 2h \text{ (t)} \quad (2)$$

donde : $\dot{\epsilon}_r$ = Velocidad extensional biaxial, s^{-1}

Con estos parámetros se elaboraron gráficas de viscosidad extensional vs velocidad de deformación para observar el comportamiento reológico de la pasta cocida.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Para la evaluación de las pruebas fisicoquímicas como materia orgánica total, concentración de amilosa, porcentaje de absorción de agua y sólidos totales, se utilizó un diseño completamente al azar, siendo el tiempo de cocimiento el factor estudiado. Los análisis fueron realizados con tres repeticiones.

Para estudiar la viscosidad extensional biaxial así como la firmeza, se utilizó un diseño factorial de 3x3 con dos repeticiones. Los factores a considerar fueron tiempo de reposo con tres niveles (sin reposo, dos y cinco horas después del cocimiento) y tiempo de cocimiento con tres niveles (9.5 12.5 y 15.5 min).

Los datos obtenidos de los dos experimentos se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) a un nivel de significancia de 0.05.

También se llevó a cabo una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey a un nivel de significancia de 0.05.

Se realizó una correlación simple de las pruebas fisicoquímicas evaluadas con la determinación de viscosidad.

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el programa JMP versión 4.0.4. (SAS, 2000. Institute, Inc.,2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Químico y Físico en Pasta Seca

Análisis Químico

La pasta tipo spaghetti fue analizada primeramente en su composición química. Presentando un contenido de humedad de 9.88 %, de proteína 12.75 % y de cenizas de 1.01 %. Los valores de cada una de las determinaciones se encuentran en los rangos reportados en la bibliografía para pasta elaborada con trigo cristalino (Orozco, 1999).

Para que la pasta sea considerada como un producto satisfactorio, debe de contener un porcentaje de proteína arriba de 12%, valor que es alcanzado por la pasta en estudio. En cuanto al contenido de cenizas del spaghetti, el valor es un poco alto, por lo que pudiera pensarse que la pasta fue elaborada con semolina de segundo grado, debido a que el valor se encuentra dentro del rango reportado para semolina de este tipo (Cubadda, 1988), aunque también el valor puede deberse en parte a que la pasta pudiera estar fortificada con minerales y no estar reportada en la etiqueta.

Determinación de Color

Una de las determinaciones que se realizaron para la caracterización del spaghetti crudo fue el color mostrándose los resultados en la Tabla 3.

En la medición de color se registraron los parámetros de Luminosidad (**L**), donde un valor de **L** igual a 100 es blanco y 0 es negro, un valor de + **a** es rojo y - **a** es verde, mientras que una + **b** es para el color amarillo y - **b** es azul.

Tabla 3. Parámetros de Color Medidos en el Spaghetti

Análisis Color	L*	b*	a*
Spaghetti	$38.3^1 \pm 2.0^2$	27.7 ± 1.6	4.3 ± 1.4
Rango ³ reportado	53.6-59	25.6-29.5	4.3-6.2

¹ Promedio de tres repeticiones

² Desviación estándar

³ Fuente: James, 2003

Los rangos citados en la misma tabla (Tabla 3) corresponden a valores de los parámetros L^* , b^* y a^* cuando el spaghetti es presentado de distinta forma al momento de la medición de los mismos (James, 2003). El valor de L obtenido en la medición está por debajo del rango reportado (53.6-59). La muestra de spaghetti presentó una pigmentación oscura, por la presencia de una gran cantidad de pecas lo que pudo haber influido en el valor de L^* obtenido. Dick y Matsuo (1988) reportan que la presencia de pecas en la pasta es debida principalmente a un alto contenido de salvado en la misma u otro material extraño que estuvo presente en el momento de la obtención de la semolina. Los valores de b^* y a^* se encuentra dentro de los rangos reportados. Los valores que se reportan en la bibliografía presentan un rango de variación, debido a que el color de la pasta se ve influenciado por la variedad del trigo, el tipo de secado, (Marconi, *et al*, 2002; Manthey y Schorno, 2002), así como a las mezclas realizadas de semolina con harina de otro tipo de trigo (James, 2003).

Estimación del Tiempo de Cocimiento

El spaghetti fue cocinado y la estimación del tiempo de cocimiento se realizó mediante la utilización de 2 acrílicos transparentes de la siguiente manera:

Se estuvo retirando pasta cada minuto para hacer una estimación aproximada del tiempo necesario, las tiras de pasta que eran retiradas fueron presionadas con los acrílicos para verificar cuando desaparecía el centro blanco de la tira de pasta. Primeramente se estableció un rango de cocimiento de (8-11). Posteriormente se cocinó

otra porción de pasta y después de 8 min. se empezó a retirar pasta cada 30 s, donde se determinó el tiempo óptimo de cocimiento, siendo 9 min con 30 s. Este último paso fue realizado por quintuplicado. Posterior a este tiempo se establecieron 2 tiempos más: 12.5 y 15.5 min, con la finalidad de estudiar el efecto del tiempo de cocimiento en la viscosidad extensional de la pasta cocida.

Análisis Químico y Físico en Pasta Cocida

Índice de Absorción de Agua de la Pasta

El efecto del tiempo de cocimiento sobre la absorción de agua del spaghetti cocido se muestra en la Figura 4. Durante el cocimiento la pasta absorbe agua, observándose que el spaghetti cocinado por más tiempo (15.5 min) muestra una absorción mayor (220.9%) comparado con los otros tiempos de cocimiento probados, por lo que la absorción de agua depende fuertemente del tiempo de cocimiento. El análisis de varianza (Tabla 4) mostró efecto significativo del tiempo de cocimiento en la absorción de agua, donde las diferencias encontradas son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$).

El cocimiento favorece la hidratación de la pasta, donde el almidón y la proteína compiten por el agua y la disponibilidad de ésta para las dos fracciones depende de las condiciones de tiempo y temperatura de cocimiento (Zweifel *et al.*, 2003).

Durante el cocimiento la pasta adquiere una textura deseable o "al dente", la cuál es caracterizada por poseer una zona externa blanda pero coherente y un centro firme

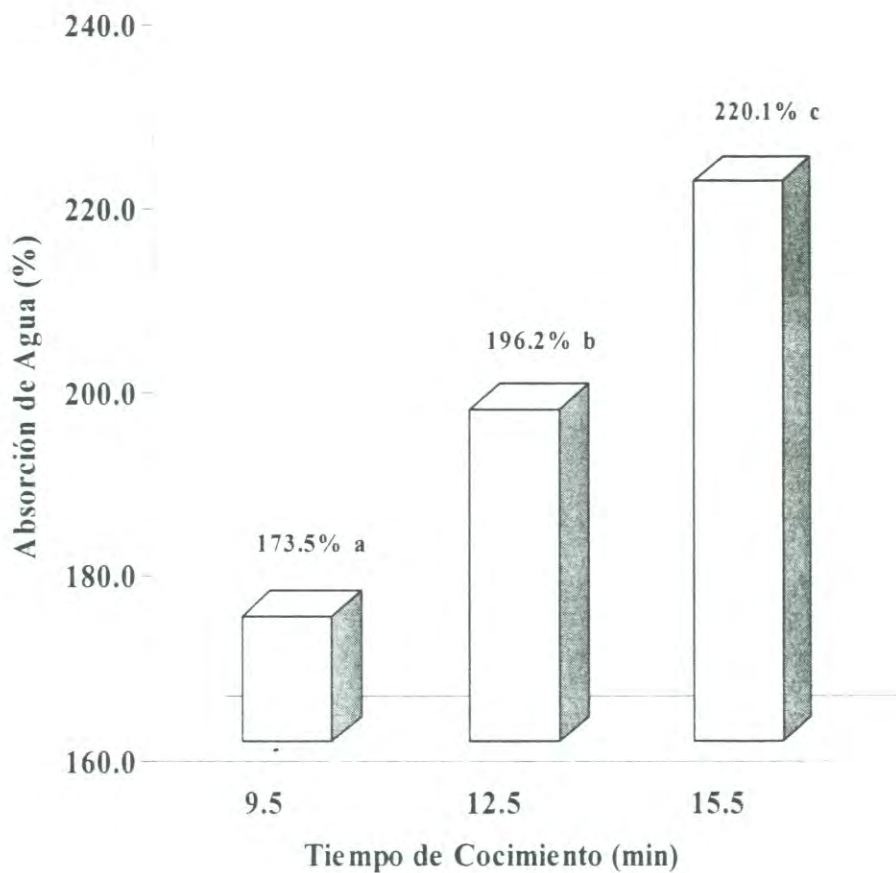


Fig 4. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Absorción de Agua en Spaghetti Cocido (valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)).

Tabla 4. Análisis de Varianza de Absorción de Agua, Sólidos Totales, Materia Orgánica Total y Contenido de Amilosa en Pasta Cocida

Fuente de Variación	GL	Valores de F			
		AA	ST	MOT	A
Tiempo de Cocimiento	2	2475.5*	66.09*	14.18*	70298.2*
Error	6				

G.L= Grados de libertad

AA = Absorción de agua

ST = Sólidos totales

MOT = Materia orgánica total

A = Amilosa

* Significancia a $P < 0.05$

que le da un cierto nivel de resistencia al ser mordida (Zweifel *et al*, 2003). Cuando la pasta es cocida por más tiempo esta textura cambia afectando de esta manera su calidad (Feillet y Dexter, 1996).

Pérdida de Sólidos Totales

La pérdida de sólidos totales en el agua de cocimiento del spaghetti cocido sometido a distintos tiempos, se muestra en la Figura 5. Se observó que la cantidad de sólidos en el agua de cocimiento se incrementa a medida que se incrementa el tiempo de cocimiento. Este comportamiento también fue observado en fideos cocidos (Edwards *et al*, 1993).

Cuando la pasta es sometida a cocimiento está expuesta a un proceso de absorción, donde sucede la hidratación de la proteína y la gelatinización del almidón. Por efecto del calor la proteína empieza a desnaturalizarse y posteriormente la matriz proteica empieza a desintegrarse ocasionando que los gránulos de almidón gelatinizados salgan y sean arrastrados al agua de cocimiento (Voisey *et al*, 1978), siendo el almidón el principal constituyente en el agua de cocimiento. Es importante mencionar que la pérdida de sólidos durante el cocimiento de la pasta, no debe de exceder de 7-8 % (Grazia *et al*, 1996; Dick y Youngs, 1988), por lo que en este estudio los valores encontrados no rebasaron ese rango.

El tiempo de cocimiento influye significativamente en la pérdida de sólidos, donde las diferencias encontradas son estadísticamente diferentes a un nivel de probabilidad de 0.05, como se observa en el análisis de varianza mostrado en la Tabla 4.

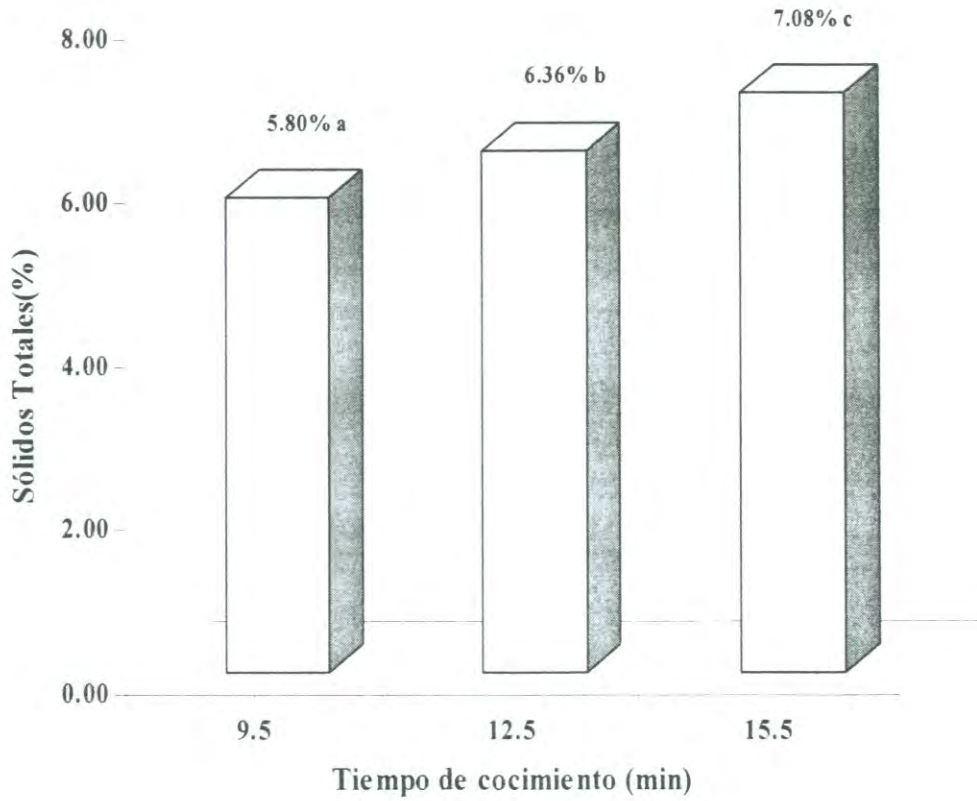


Fig. 5. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Pérdida de Sólidos Totales en Spaghetti Cocido (valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)).

Materia Orgánica Total

En la Figura 6 se muestran, los valores de materia orgánica total (MOT) presente en el agua de lavado de la pasta cocida, expresados en g de almidón/100 g de pasta. Se observa que a los 9.5 min de cocimiento, la cantidad de MOT es menor, pero conforme se incrementa el tiempo de cocimiento, aumenta la cantidad de materia orgánica total presente en el agua de lavado.

El análisis de varianza reportado en la Tabla 4 mostró que el tiempo de cocimiento tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en MOT. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Orozco (1999), quién encontró que a mayor tiempo de cocimiento mayor es la cantidad de almidón depositada en la superficie de la pasta, aumentando por lo tanto el valor de la materia orgánica total.

Estadísticamente las diferencias encontradas entre el spaghetti cocido por 9.5 min y las muestras de spaghetti cocidas por 12.5 y 15.5 min fueron significativos, mientras que las diferencias entre los spaghetti cocidos por 12.5 y 15.5 no fueron estadísticamente diferentes. Es importante mencionar que los valores obtenidos de MOT en los tres cocimientos probados, se encuentran en el rango reportado como excelente y/o buena calidad (Tabla 1).

D'Egidio *et al.*, (1982) asumieron que la pegajosidad de la pasta cocida depende de sustancias, principalmente almidón, que durante el cocimiento se escapan de la red proteica y se adhieren a la superficie de la pasta cocida, las cuáles se cuantifican en el agua de lavado.

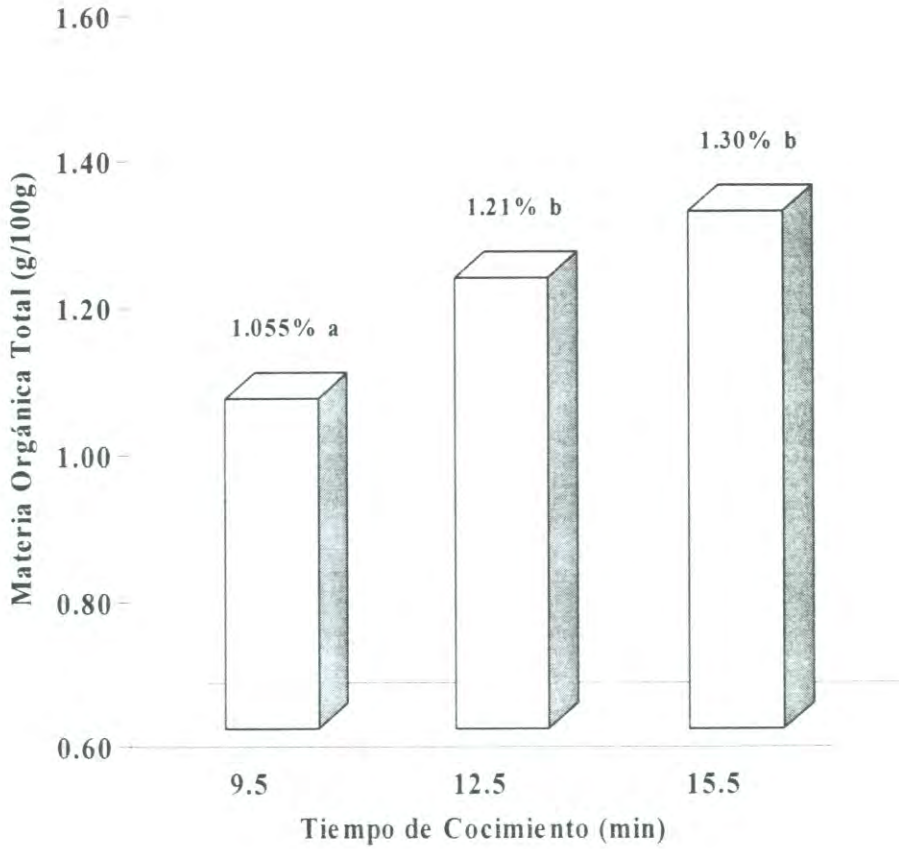


Fig. 6. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Materia Orgánica Total en Spaghetti Cocido (valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)).

Determinación de Amilosa

Los concentración de amilosa realizada en el agua de cocimiento del spaghetti cocido a diferentes tiempos son presentados en la Figura 7, donde se observa un incremento del contenido de amilosa en el agua de cocimiento a medida que aumenta el tiempo de cocimiento.

El análisis de varianza realizado es mostrado en la Tabla 4, donde se observa que el tiempo de cocimiento tuvo un efecto muy significativo ($p < 0.05$) en la presencia de amilosa en el agua de cocimiento. Cuando la pasta fue cocinada por 9.5 min, la cantidad de amilosa presente en el agua de cocimiento, fue mínima, a los 12min con 30s de cocimiento el cambio fue muy drástico, ya que se incrementó notablemente el contenido de amilosa (de 0.005 a 0.11 mg/ml), este incremento fue mayor cuando la pasta fue cocinada por 15.5 min.

Esta prueba fue capaz de detectar los cambios producidos en la pasta por efecto del tiempo de cocimiento. Grant *et al.* (1993) reportaron una mayor cantidad de amilosa en el agua de cocimiento del spaghetti cocido por un mayor tiempo, que la muestra cocinada al tiempo óptimo.

Cuando la pasta es cocida a su tiempo óptimo, los gránulos de almidón están hinchados y llenando los espacios de la pared de la matriz proteica, lo que puede contribuir a la firmeza de la pasta. Cuando la pasta es sobrecocida los gránulos de almidón se rompen y son arrastrados al agua de cocimiento, ocasionando un incremento en el contenido de amilosa (Edwards *et al.* 1995).

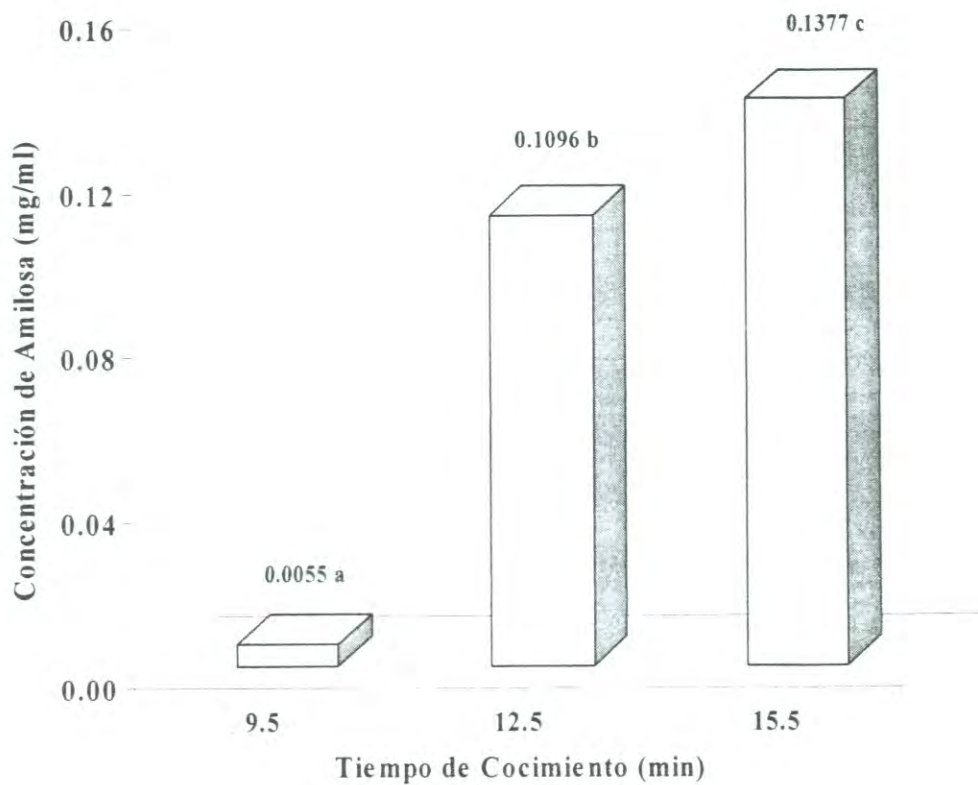


Fig. 7. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Concentración de Amilosa Presente en el Agua de Cocimiento del Spaghetti (valores con diferente letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)).

Medición de Firmeza en Spaghetti Cocido

Los valores determinados en el spaghetti cocido mediante ésta técnica se encuentran reportados en la Tabla 5. Para la estimación de firmeza se midieron tres parámetros como son: fuerza máxima, trabajo y la pendiente inicial de la curva. En la Tabla mencionada se muestran las tres formas de expresar los resultados de firmeza.

Tanto en los valores de fuerza máxima como en el área bajo la curva y en la pendiente inicial se observa el efecto del tiempo de cocimiento, donde los valores más altos los presenta la pasta cocinada por 9.5 min y los valores más bajos la pasta cocinada por 15min con 30s en cada uno de los tiempos probados.

El efecto del tiempo de reposo sobre la firmeza, se puede observar tanto con los valores de fuerza máxima como con los valores del área bajo la curva.

En las tres pastas cocinadas a diferentes tiempos la tendencia es muy similar, entre mayor es el tiempo de reposo menor es el valor de firmeza, siendo más marcado este efecto en la pasta cocinada por menor tiempo (9.5 min).

Los valores de fuerza máxima requerida para cortar 5 tiras de spaghetti cocido fueron graficados en la Figura 8. Esta figura muestra el efecto del tiempo de cocimiento sobre la firmeza del spaghetti. La pasta cocida por 9.5 min y que no recibió reposo antes de la medición, presentó los valores más altos de firmeza, conforme aumentó el tiempo de cocimiento la tendencia fue a disminuir, siendo muy drástico el cambio de una pasta cocinada por 9.5 a una pasta cocinada por 12.5 min La disminución de firmeza de 12.5 a 15.5 no fue tan marcado. En las muestras que recibieron reposo de 2 y 5 h presentaron el mismo comportamiento, ya que los valores de firmeza fueron disminuyendo

Tabla 5. Efecto del Tiempo de Cocimiento y de Reposo en la Firmeza del Spaghetti Cocido Expresado en Tres Formas Distintas

Tiempo de Cocimiento (min)	Tiempo de Reposo (h)	Fuerza Máxima $g \pm DE^1$	Área Bajo la Curva $g*mm \pm DE^1$	Pendiente $g/mm \pm DE^1$
09.5	0	$333.95^2 \pm 6.9$	275.70 ± 12.2	209.96 ± 1.8
	2	258.46 ± 9.4	178.45 ± 16.3	199.99 ± 15.7
	5	246.67 ± 5.6	145.54 ± 20.6	208.12 ± 10.2
12.5	0	259.39 ± 7.9	190.99 ± 6.8	179.70 ± 8.1
	2	205.43 ± 3.1	132 ± 13.7	154.08 ± 26.3
	5	202.51 ± 19	119.37 ± 12.7	171.48 ± 15.5
15.5	0	234.45 ± 8.9	172.20 ± 9.4	157.01 ± 4.0
	2	200.08 ± 6.7	122.42 ± 11.8	153.27 ± 6.8
	5	192.35 ± 5.6	117.83 ± 7.8	156.20 ± 9.1

1DV = Desviación Estándar

2 Promedio de tres repeticiones por duplicado

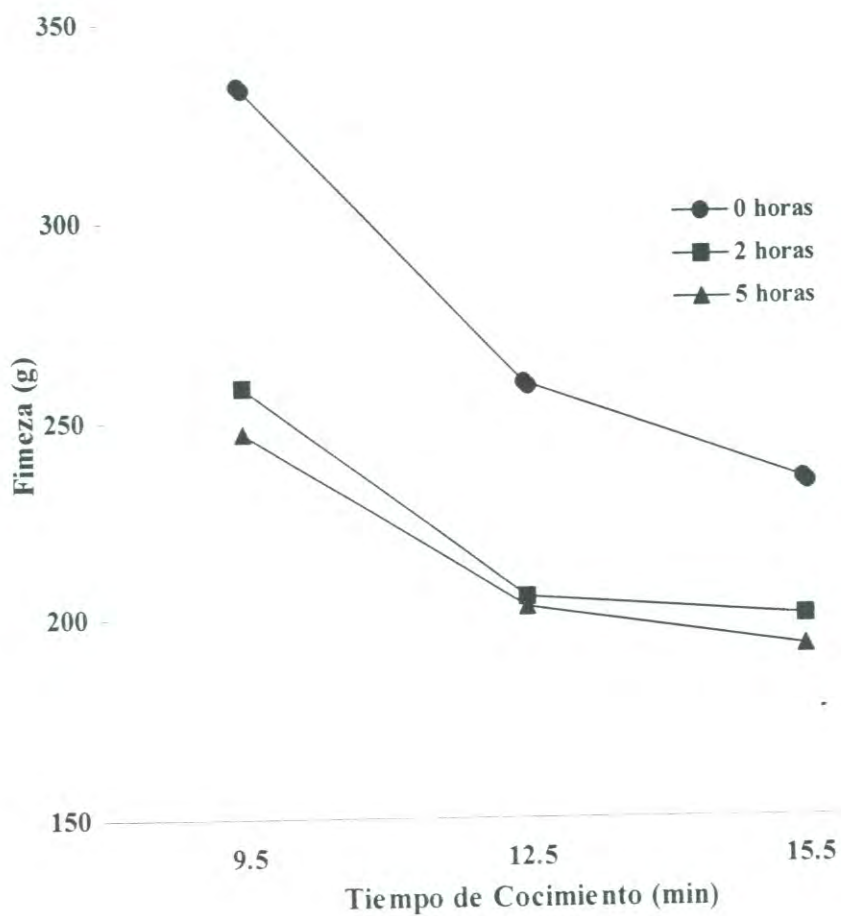


Fig.8. Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Firmeza del Spaghetti

conforme aumentaba el tiempo de cocimiento, aunque no tan marcado como en el spaghetti que no recibió reposo. Independientemente del tiempo de reposo recibido la firmeza disminuyó con respecto al tiempo de cocimiento.

En el análisis de varianza mostrado en la Tabla 6 se puede observar que el tiempo de cocimiento afecta significativamente la firmeza de la pasta.

Autores como Smewing, (1997) y Orozco, (1999) reportan resultados muy similares en relación al efecto del tiempo de cocimiento en la firmeza de la pasta cocida. Edwards *et al*, (1993) reportaron reducción en la firmeza de los fideos cocidos por efecto del tiempo de cocimiento.

En la misma Figura 8, también se puede observar el efecto del tiempo de reposo en la firmeza del spaghetti cocido. La pasta que recibió 9.5 min de cocimiento, sin recibir reposo, presentó los valores mayores, mientras que la pasta con el mismo cocimiento y que recibió 2 y 5 h de reposo antes de la evaluación presentaron los valores menores, siendo los valores de firmeza más bajos para la pasta que recibió 5 h de reposo. Por lo que en ésta gráfica se observa una disminución significativa de la firmeza en relación al tiempo de reposo (Tabla 6).

Haciendo una comparación entre la pasta que recibió 2 con la de 5 h de reposo, su firmeza fue muy similar, efecto que se visualizó también en la medición de viscosidad extensional. González *et al*, (2000) reportó resultados muy similares en lasaña cocida, sujeta a reposo después del cocimiento, efecto que se le atribuyó a un cambio en la distribución de humedad sucedido en el reposo de la pasta.

Tabla 6. Análisis de Varianza de Firmeza¹ en Pasta Cocida

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	254.44*
Tiempo de Reposo (TR)	2	207.25*
Interacción TC-TR	4	9.75*
Error	45	.

¹ Representada como la fuerza máxima y expresada en g.

* Significativo a $p < 0.05$

En la pasta cocinada por 12.5 min, los valores mayores de firmeza los presentó el spaghetti que no recibió reposo, disminuyendo la firmeza a medida que aumento el tiempo de reposo, siendo menor el valor para la pasta con 5 horas de reposo. Este mismo efecto fue reportado por Oh *et al* (1983).

La pasta cocinada por 15.5 min, se observa la misma tendencia, la firmeza tiende a disminuir por efecto del tiempo de reposo. Es importante mencionar que independientemente del tiempo de cocimiento probado, la firmeza de la pasta cocida que no recibió reposo es muy alta comparada con las pastas que si recibieron reposo de 2 y 5 horas.

Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida

La medición de viscosidad extensional se realizó en discos de pasta tipo spaghetti elaborados mediante el proceso de estandarización mencionado en el apartado de materiales y métodos, y donde el tiempo estimado para su elaboración fue de 7 min. Prueba que fue realizada en la pasta obtenida de las diferentes condiciones de cocimiento y reposo.

Efecto del Tiempo de Cocimiento en la Viscosidad Extensional Biaxial

En las Figuras 9, 10 y 11 se presenta la viscosidad extensional del spaghetti cocido, para cada uno de los tiempos de reposos, presentándose en cada caso los tres tiempos de cocimiento (9.5, 12.5 y 15.5 min) en función de la velocidad de deformación

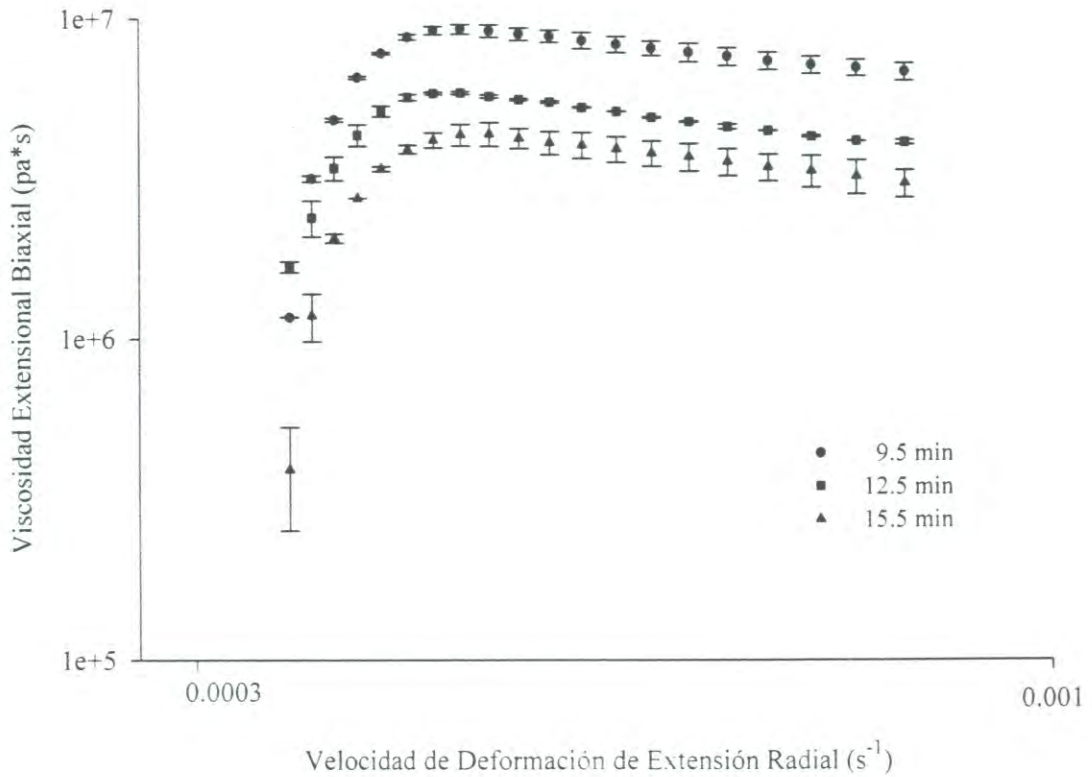


Fig. 9. Viscosidad Extensional Biaxial vs. Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida a tres Tiempos sin Reposo Después del Cocimiento.

Las barras indican la desviación estándar.

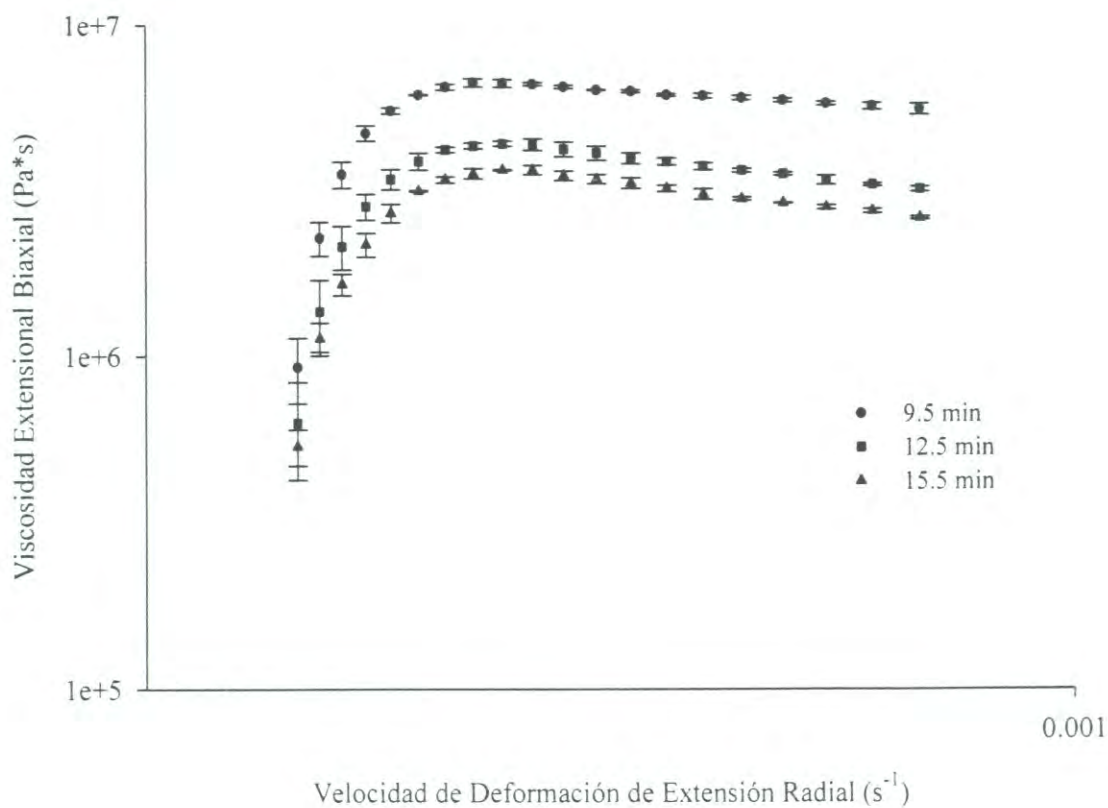


Fig. 10. Viscosidad Extensional Biaxial vs. Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida a tres Tiempos con 2 horas de Reposo Después del Cocimiento.

Las barras indican la desviación estándar.

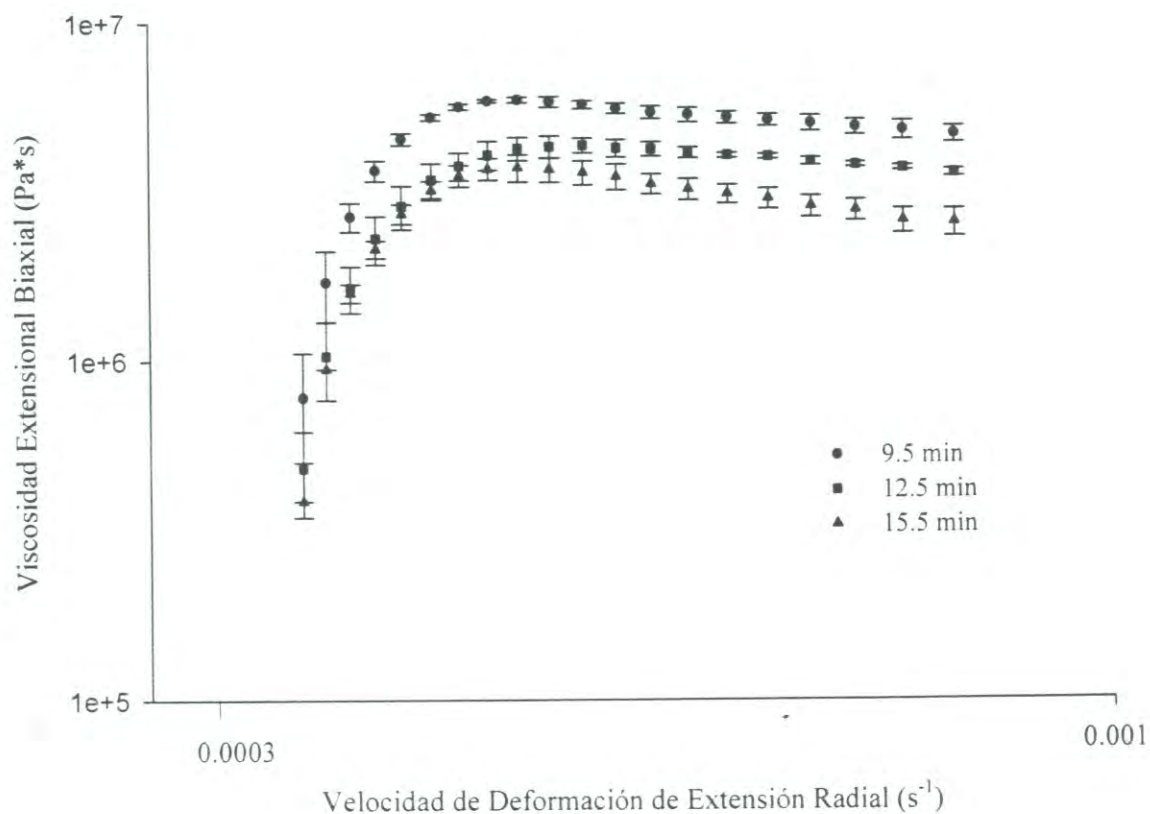


Fig. 11. Viscosidad Extensional Biaxial vs. Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida a tres Tiempos con 5 horas de Reposo Después del Cocimiento.
Las barras indican la desviación estándar.

de extensión radial. En dichas figuras se puede observar que existen diferencias en la viscosidad extensional de la pasta cocida en los tres tiempos de cocimiento.

En la Figura 9 se muestra la viscosidad extensional biaxial del spaghetti cocido a los tres tiempos de cocimiento probados, sin reposo después del cocimiento, donde se observa claramente el efecto del tiempo de cocimiento sobre la viscosidad extensional. El spaghetti que se cocinó por 9.5 min fue el que presentó los valores más altos de viscosidad extensional, presentando el siguiente comportamiento: después de un flujo transiente, la viscosidad extensional muestra un pequeño incremento al aumentar la velocidad de deformación radial aplicada hasta alcanzar un máximo de viscosidad, comportamiento debido en un principio a que el disco de pasta se va poniendo en contacto gradualmente, con el plato superior hasta que el contacto es total y de esa forma se empieza a ejercer completamente la fuerza del cabezal sobre la pasta, posteriormente empieza a disminuir gradualmente conforme aumenta la velocidad de deformación radial, lo cual podría ser explicado por los efectos viscoelásticos.

El spaghetti cocido por 12.5 min, presentó los valores intermedios de viscosidad, donde el comportamiento de la viscosidad extensional es similar al spaghetti cocido por 9.5 min, solo que la disminución que presenta, después de alcanzar el máximo valor es más evidente.

En el caso del spaghetti cocido por 15.5 min (Figura 9) el comportamiento de la viscosidad fue muy similar al comportamiento presentado por el spaghetti cocido por 9.5 min. Al inicio presentó un incremento muy marcado en la viscosidad extensional, posteriormente el incremento fue paulatino hasta alcanzar un valor máximo, seguido de

una gradual disminución. Las variaciones que se presentaron en el comportamiento de la viscosidad extensional a medida que aumentó la velocidad de deformación radial podría ser explicado por los efectos viscoelásticos. Similares resultados fueron encontrados en otros alimentos como masa de maíz y trigo (López, 2003; Osorio *et al*, 2003; Limanond *et al*, 1999).

En la misma Figura se observa claramente el efecto del tiempo de cocimiento en la viscosidad extensional biaxial, donde la pasta cocida por menor tiempo (9.5 min) fue la que presentó valores más altos de viscosidad, y a medida que aumentó el tiempo de cocimiento disminuyó la viscosidad. Esto podría ser explicado por el efecto que ocasiona el cocimiento en la pasta. Meneen y Brismar (2003) reportaron que durante el cocimiento, la microestructura de la pasta sufre un cambio profundo. Siendo este cambio mayor cuando el cocimiento ha sido prolongado. Principalmente en la parte externa de la pasta, donde se presenta una red proteica menos continua y los gránulos de almidón gelatinizados, algunos se han deteriorado, y han perdido su integridad (Voisey *et al*, 1978). Estos cambios reportados en la microestructura de la pasta pudieron ser los responsables de las diferencias generadas en la viscosidad extensional biaxial por efecto del cocimiento.

En las pastas que recibieron 2 h de reposo antes de la medición en los tres tiempos de cocimiento, (Figura 10), se observó que los valores más altos de viscosidad los presentó la pasta cocinada por 9.5 min, mientras que los valores más bajos los presentó la pasta cocinada por 15.5 min. Se observan valores de viscosidad muy similares entre la muestra cocinada por 12.5 min y la cocinada durante 15.5 min.

En la Figura 11 se muestra el comportamiento de la viscosidad extensional del spaghetti cocido a los tres tiempos mencionados anteriormente y que recibieron además 5 horas de reposo antes de la medición, exhibiendo un comportamiento similar al discutido en las figuras anteriores (9 y 10), las tres gráficas muestran un incremento inicial hasta alcanzar un máximo de viscosidad, para disminuir gradualmente, conforme se incrementa la velocidad de deformación radial. Presentando los valores más altos de viscosidad la pasta cocinada por 9.5 min. Esto puede atribuirse a que la pasta al cocinarse por más tiempo, permite que tanto la proteína así como los gránulos de almidón que no están completamente gelatinizados, principalmente los que están en el centro de la pasta, absorban más cantidad de agua lo que pudo haber influido en los esfuerzos más bajos obtenidos en la pastas cocinadas por 12.5 y 15.5 min. También pudo ser debido a que por efecto del calor se haya originado un cambio de la red proteína-almidón, causando una pérdida de rigidez en la estructura (González *et al*, 2000), repercutiendo por lo tanto en la viscosidad extensional (valores menores).

En las tres gráficas mostradas anteriormente (Figuras 9,10 y 11) se observó claramente que la viscosidad extensional biaxial de la pasta cocida disminuyó al incrementar el tiempo de cocimiento, independientemente del tiempo de reposo recibido.

En la Tabla 7 se muestran los valores máximos de viscosidad de pasta cocida obtenidos en cada condición. Se observa que la viscosidad extensional biaxial presentó valores más altos en la muestra cocida por menos tiempo, mientras que los valores de viscosidad más bajos los presentó la pasta cocinada por un tiempo mayor. Observándose por lo tanto el efecto del tiempo de cocimiento en la viscosidad de la pasta cocida

independientemente del tiempo de reposo recibido. Estos valores fueron sometidos a un análisis de varianza el cuál mostró que el tiempo de cocimiento influye significativamente (Tabla 8) en la viscosidad. Como fue citado anteriormente el efecto plastificante del agua, así como el efecto del calor sobre la red proteica y en el almidón, podrían explicar el comportamiento de la viscosidad extensional biaxial obtenido en este estudio.

El efecto del tiempo de cocimiento reflejado en la viscosidad extensional puede relacionarse con el efecto del mismo factor en las pruebas fisicoquímicas realizadas en este estudio. Se ha reportado que el cambio en la estructura de la pasta cocida es mayor en las partes más externas, la desnaturalización de la proteína ocasiona posteriormente su rompimiento, ocasionando que una cantidad de sólidos sean arrastrados hacia el agua de cocimiento, siendo el almidón el constituyente principal (Voisey *et al*, 1978). Esto puede relacionarse con los valores de los sólidos totales que se obtuvieron, donde por efecto del tiempo de cocimiento se obtuvo un incremento de sólidos en el agua de cocimiento de 22%. Tanto en la prueba MOT como en la concentración de amilosa también se vio reflejado este efecto donde la MOT presentó un incremento de 24 %, mientras que el valor de amilosa fue 18 veces mayor para la muestra con mayor cocimiento que la de menor cocimiento.

Efecto del Tiempo de Reposo en la Viscosidad Extensional Biaxial.

En las Figuras 12, 13 y 14 se muestra el efecto del tiempo de reposo después del cocimiento sobre la viscosidad extensional en pasta cocida tipo spaghetti.

Tabla 7. Viscosidad Extensional Biaxial en Pasta Cocida a Diferentes Tiempos de Cocimiento y de Reposo.

Tiempo de Cocimiento (min)	Tiempo de Reposo (horas)		
	0	2	5
	Viscosidad Pa*s ¹		
9.5	93 x 10 ⁵	66.8 x 10 ⁵	59 x 10 ⁵
12.5	59 x 10 ⁵	43.9 x 10 ⁵	43.3 x 10 ⁵
15.5	43.1 x 10 ⁵	37.1 x 10 ⁵	37.3 x 10 ⁵

¹ Promedio de dos repeticiones

Tabla 8. Análisis de Varianza de Viscosidad Extensional Biaxial¹ en Pasta Cocida

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F
Tiempo de Cocimiento (TC)	2	207.2*
Tiempo de Reposo (TR)	2	69.45*
Interacción TC-TR	4	10.78*
Error	9	

¹ Expresada en Pa*s

* Significativo a $P < 0.05$

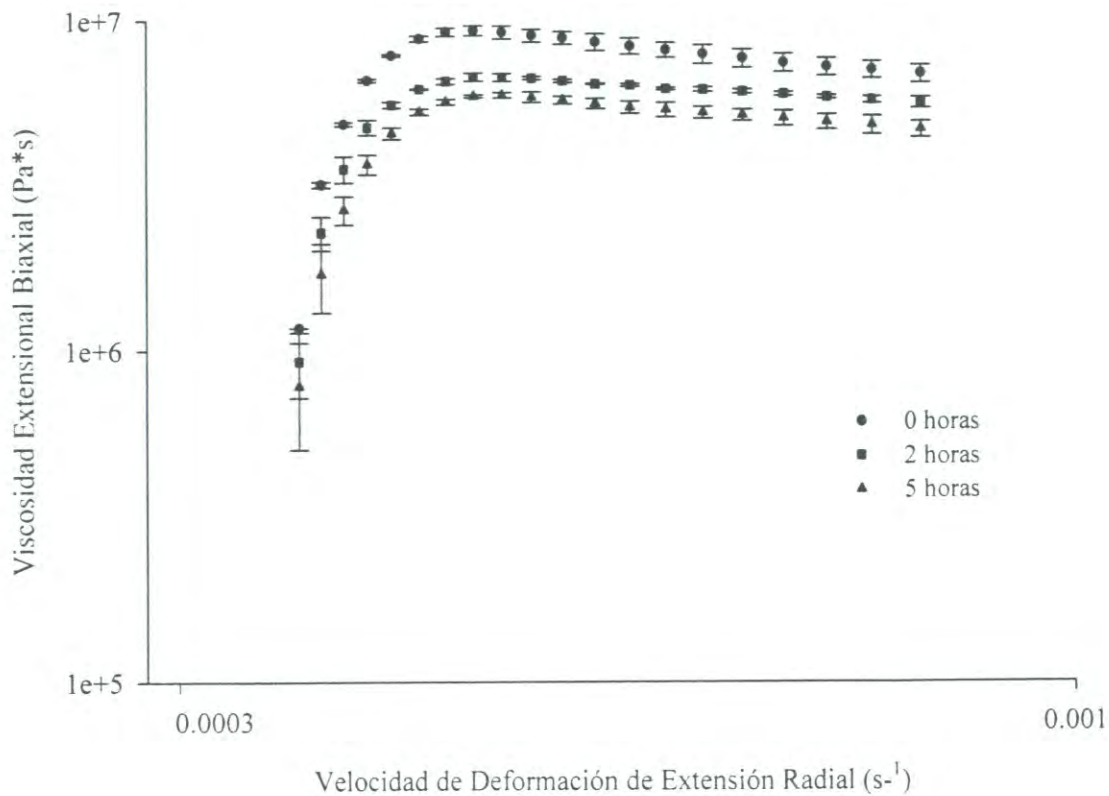


Fig 12. Viscosidad Extensional Biaxial vs. Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida por 9.5 min con tres tiempos de Reposo. Las barras indican la desviación estándar.

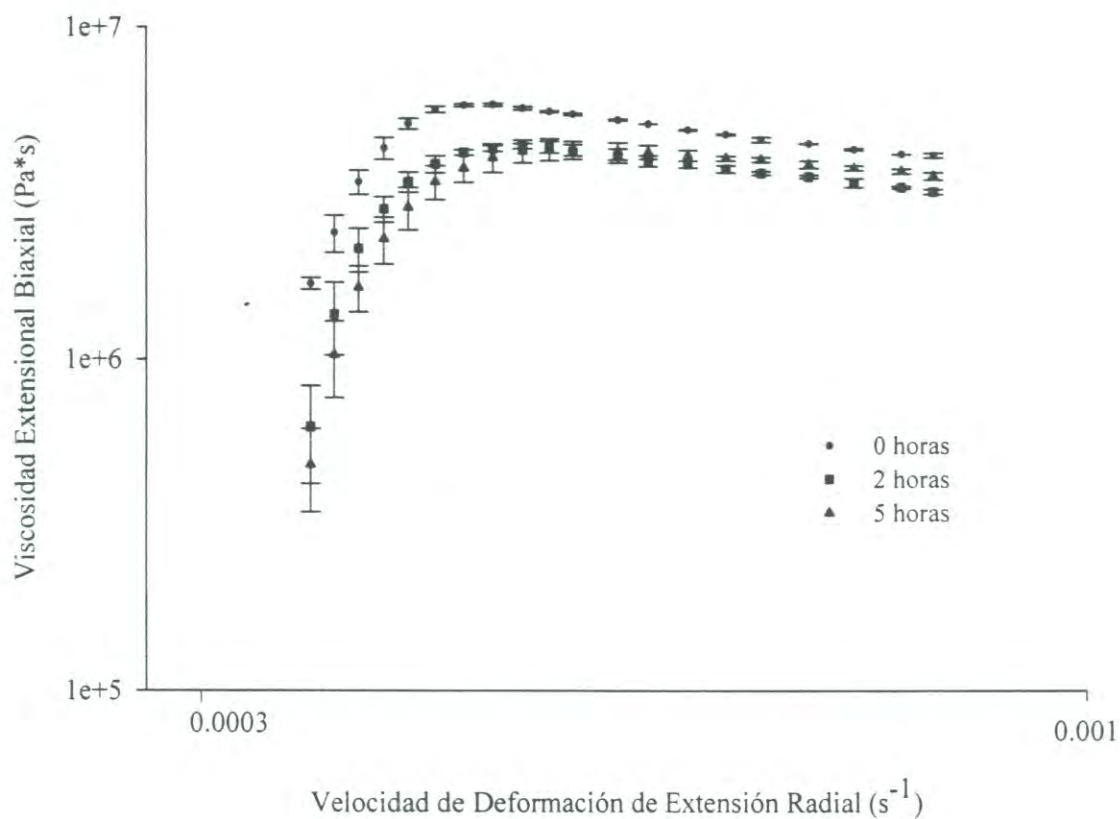


Fig. 13. Viscosidad Extensional Biaxial vs. Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida por 12.5 min con Tres Tiempos de Reposo. Las barras indican la desviación estándar.

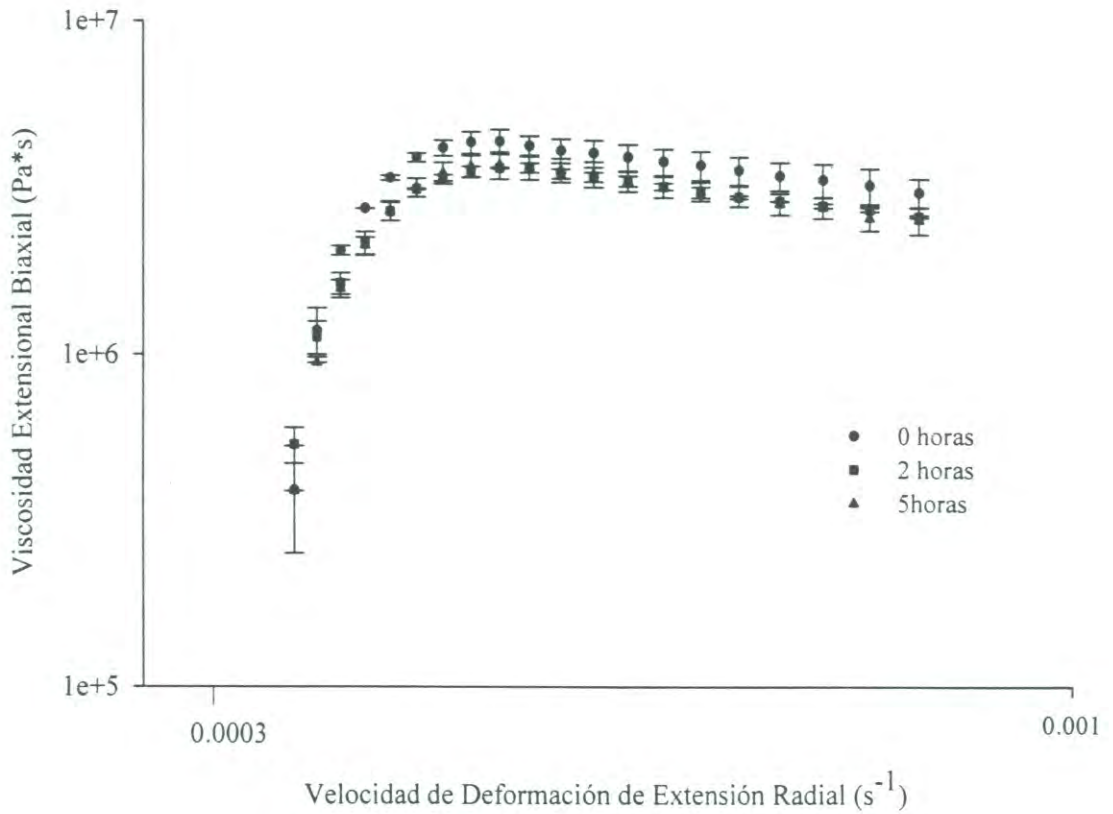


Fig. 14. Viscosidad Extensional Biaxial vs. Velocidad de Deformación de Extensión Radial de la Pasta Cocida por 15.5 min con tres Tiempos de Reposo. Las barras indican la desviación estándar.

En la figura 12 se muestra el comportamiento de la viscosidad extensional biaxial del spaghetti cocido durante 9.5 min, sometido a diferentes tiempos de reposo. El análisis de la viscosidad extensional biaxial muestra un flujo de comportamiento muy similar en los tres casos. Al inicio se presenta un flujo transiente, al cuál se le atribuye ese rápido incremento, posteriormente el incremento de la viscosidad extensional es gradual hasta alcanzar un máximo, para posteriormente disminuir paulatinamente conforme se incrementa la velocidad de deformación de extensión radial. Se observa que la pasta que no fue sujeta a reposo, presentó valores de viscosidad más altos, siendo comparados con los valores de viscosidad en las pastas que fueron reposadas por 2 y 5 horas. Esto podría explicarse por el hecho de que alto contenido de humedad en la superficie y un bajo contenido de humedad en el centro de la pasta cocida indica la presencia de gradientes de humedad a lo largo del grosor de la pasta; por lo tanto la migración de humedad de la superficie al centro de la pasta puede ser esperada debido a que la pasta antes de ser evaluada estuvo sujeta a reposo. La pasta cocida presenta una estructura distinta de la superficie al centro, El centro de la pasta cocida apropiadamente, posee todavía gránulos de almidón no gelatinizados, una matriz proteica continua (Voisey *et al*, 1978); lo que permite tal vez la migración de humedad dentro del centro de la pasta incrementando la absorción de agua (González *et al*, 2000), suponiendo por lo tanto que a este efecto se deba los valores bajos de viscosidad.

En la pasta cocida por 12.5 min por otro lado se observa que la muestra que no recibió reposo presenta los valores más altos de viscosidad (Figura 13), mientras que la pasta que fue reposada presentó viscosidades más bajas en los dos casos. Las pastas reposadas

por 2 y 5 h presentaron valores muy similares. Se puede asumir que la hidratación de la pasta por efecto del tiempo de cocimiento fue mayor y por lo tanto el gradiente de humedad no requirió de mucho tiempo para llegar al centro de la pasta por lo que a las 2 h de reposo posiblemente fue suficiente el tiempo para que la humedad llegara al centro de la pasta.

En la pasta cocinada por 15.5 min presentó el mismo comportamiento que la pasta cocinada por 12.5 (min) como se muestra en la Figura 14, sólo que el efecto presentado por el tiempo de reposo fue menos marcado como se observa al comparar la pasta que no recibió reposo con las pastas que recibieron 2 y 5 h. Se observa además valores de viscosidad muy parecidos en las pastas que reposaron 2 y 5 h, ya que aparentemente se traslapan.

Este efecto podría explicarse debido a que la pasta estuvo expuesta a un tiempo de cocimiento mayor, lo que trae como resultado un incremento en la absorción de agua, y por lo tanto el tiempo de 2 horas de reposo es suficiente para completar la hidratación de la pasta. (González *et al*, 2000).

En los tres casos el comportamiento fue muy similar, se observa un incremento muy marcado en la viscosidad extensional, posteriormente el incremento fue gradual hasta alcanzar un máximo, seguido de una gradual disminución.

El análisis de varianza de la viscosidad extensional biaxial fue realizado utilizando los valores máximos de cada una de las curvas obtenidas, el cuál mostró que el tiempo de reposo también influye significativamente (Tabla 8) en la viscosidad extensional, independientemente del tiempo de cocimiento al que fue sometido el

spaghetti. Al realizar la prueba de Tukey para ver las diferencias entre las medias se observa que el spaghetti que no se le aplicó reposo fue significativamente diferente ($p < 0.05$) de los spaghetti que reposaron por 2 y 5 h, no existiendo diferencias significativa entre los spaghetti que tuvieron reposo (2 y 5 h).

La Tabla 8 muestra la significancia que presenta la interacción tiempo de cocimiento-tiempo de reposo, lo que indica que el tiempo de cocimiento (9.5, 12.5 y 15.5 min) con respecto al tiempo de reposo tienen un mayor efecto en el comportamiento de la viscosidad extensional biaxial que se manifestó en la disminución de la misma.

El método de compresión uniaxial con lubricación fue capaz de discriminar muestras de pasta cocida a diferentes condiciones especialmente a velocidades de deformación de 0.3 mm/min. Con respecto a la reproducibilidad de la medición de viscosidad extensional biaxial por el método de compresión uniaxial con lubricación, se considera que el método es reproducible, debido a que el coeficiente de variación obtenido fue de 5.63 %, valor que está por debajo del porcentaje permitido (10%), observándose resultados muy similares en todas las pruebas realizadas.

Correlación Simple entre la Viscosidad Extensional Biaxial y las Mediciones Físicas y Químicas en Pasta Cocida

Para conocer si existe correlación entre la viscosidad extensional biaxial de la pasta cocida con los resultados de las determinaciones físicas y químicas, se obtuvieron

los coeficientes de correlación simple (r), utilizándose el factor tiempo de cocimiento, los cuáles son mostrados en la Tabla 9.

En los tiempos de cocimientos probados en este estudio, la viscosidad extensional biaxial mostró una correlación positiva altamente significativa ($p < 0.05$) con la firmeza. Lo que indica que los cambios generados por las distintas condiciones probadas en la pasta cocida son detectados en una forma similar, siendo las dos pruebas sensitivas a las diferencias en la calidad de cocimiento de la pasta.

La viscosidad extensional biaxial presentó una correlación significativa (Tabla 9) con la materia orgánica total, lo que puede indicar la existencia de una relación negativa entre la disminución de viscosidad en la pasta cocida con la lixiviación del almidón hacia el exterior de la pasta.

Los sólidos totales presentaron una correlación significativa con la viscosidad, lo que indica que a mayor pérdida de sólidos durante el cocimiento, la viscosidad disminuye en la pasta cocida.

La correlación entre viscosidad y concentración de amilosa fue negativa y altamente significativa indicando que cuando la presencia de amilosa es mayor en el agua de cocimiento, la viscosidad de la pasta disminuye.

La absorción de agua de la pasta durante el cocimiento presentó una correlación altamente significativa con viscosidad.

Observando los resultados obtenidos en estas pruebas, se considera que la viscosidad de la pasta cocida ésta influenciada por el efecto que tiene la absorción de agua y el calentamiento, en los componentes principales como son proteína y almidón,

Tabla 9. Correlaciones Simples (r) entre la Viscosidad Extensional Biaxial y Algunas Mediciones Físicas y Químicas en Pasta Cocida a tres Diferentes Tiempos

Medición	Valor (r)
Firmeza	0.93**
Materia Orgánica Total	-0.77*
Sólidos Totales	-0.86**
Concentración de Amilosa	-0.97**
Absorción de Agua	-0.93**

*significativo a $p < 0.05$

**significativo a $p < 0.01$

lo cual se vio reflejado en cada una de las mediciones físicas y químicas, efecto que fue detectado por la medición de viscosidad extensional biaxial.

CONCLUSIONES

A través del método de compresión uniaxial con lubricación se pudo evaluar la viscosidad extensional biaxial en muestras de pasta cocida detectando cambios, producto de las condiciones de cocimiento y reposo a las que estuvo expuesta la pasta. Donde el factor de estudio que mayormente afectó la viscosidad extensional biaxial fue el tiempo de cocimiento.

La viscosidad extensional biaxial evaluada en pasta cocida, a diferentes tiempos y sometida a condiciones de reposo, mostró resultados con poca variabilidad en todas las pruebas realizadas, donde se obtuvo un coeficiente de variación de 5.63%, probando de esta manera la reproducibilidad del método de compresión uniaxial con lubricación.

En general el tiempo de cocimiento afectó significativamente la absorción de agua y firmeza de la pasta cocida, así como la concentración de amilosa, sólidos totales y materia orgánica total en el agua de cocimiento y lavado respectivamente.

Bajo las condiciones de tiempo de cocimiento estudiadas, la viscosidad extensional biaxial presentó correlación altamente significativa con la absorción de agua, sólidos totales, materia orgánica total, contenido de amilosa y firmeza. Estos resultados indican que el efecto del tiempo de cocimiento en el spaghetti, reflejado en

cada una de las mediciones físicas y químicas también fue detectado a través de la viscosidad extensional biaxial.

Se logró implementar el uso del método de compresión uniaxial con lubricación, para medir la viscosidad extensional biaxial en pasta cocida. Estableciéndose primeramente la forma de manejo de la pasta, En base a los resultados obtenidos, dicho método puede ser usado para cuantificar cambios en la viscosidad extensional biaxial en pasta cocida. Proporcionando de esta manera una herramienta más que puede ser útil en la evaluación de la calidad de la pasta.

RECOMENDACIONES

Para obtener resultados comparativos es necesario realizar el método cuidando todas las condiciones establecidas en la preparación de la muestra, y seleccionando y controlando el tiempo de cocimiento, así como el tiempo transcurrido entre la medición de viscosidad extensional biaxial y el cocimiento de la muestra.

Realizar otras investigaciones midiendo la viscosidad extensional biaxial, a través del método de compresión uniaxial con lubricación, con la finalidad de probar la sensibilidad del método, utilizando pasta de diferente forma, así como tiempos de cocimiento y reposo distintos.

Utilizar el método de compresión uniaxial con lubricación en pastas con diferente calidad proteica para probar si el método es capaz de detectar esas diferencias y de esta manera pueda servir en la selección de variedades, para la obtención de producto final de alta calidad.

Estudiar el comportamiento de viscosidad extensional biaxial y compararla con la viscosidad extensional biaxial en pasta cocida con la finalidad de saber si la calidad del producto final puede ser predicha con la viscosidad extensional biaxial realizada en semolina.

Probar si el método de compresión uniaxial con lubricación en la estimación de viscosidad extensional biaxial es sensible a detectar los cambios de los ingredientes en la formulación, condiciones de procesamiento utilizados en la elaboración de la pasta y su efecto en la calidad final de la pasta cocida.

BIBLIOGRAFÍA

- A.A.C.C. 2000. Approved Method of the American Association of Cereal Chemistry. St. Paul Minnesota, USA.
- Ames, J.M., Clarke, B.A., Marchylo, J.E., Dexter and S.M. Woods. 1999. Effect of Environment and Genotype on Durum Wheat Gluten Strength and Pasta Viscoelasticity. *Cereal Chem.* 76(4):582-586.
- Bagley, E.B. and Christianson, D.D. 1986. **Response of Chemically Leavened Doughs to Uniaxial Compression. In Fundamentals of Dough Rheology.** Ed. Faridi, H. and Faubion, J.M. Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota. USA. pp 27-36.
- Baltsavias, A., Jurgens, A. and Van Vliet, T. 1999. Rheological Properties of Short Doughs at Large Deformation. *J. Cereal Sci.* 29(33): 34-4.
- Baroni, D. 1988. **Manufacture of Pasta Products**. En *Durum Wheat Chemistry and Technology*. Ch. 10. Ed. Fabriani, G. Lintas, . Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota. USA. pp 191-216.
- Bogdan, J., Dobraszczyk and Vincent, J.F. 1999. **Measurement of Mechanical Properties of Food Materials in relatio to Texture: The Materials Approach.** En *Food Texture Measurement and Perception*. Ch. 5. Ed. Rosenthal, A. pp 99-154.
- Byung- Kee, B., Czuchajowska, Z. and Pomeranz, Y. 1994. Role and Contribution of Starch and Protein Contents and Quality to Texture Profile Analysis of Oriental Noodles. *Cereal Chem.* 71(4):315-320.
- Campanella, O.H. and Peleg, M. 1987. Squeezing Flow Viscometry of Peanut Butter. *J. Food Sci.* 52: 180-184.
- Chatraei, S.H., Makosco, C.W. and Winter, H.H. 1981. A New-biaxial Extensional Rheometer. *J. Reol.* 25:433-443.
- Cubadda, R. 1988. **Evaluation of Durum Wheat, Semolina and Pasta in Europa.** En *Durum Wheat Chemistry and Technology*. Ch. 18. Ed. Fabriani, G. Lintas. Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota. USA. pp 217-226.
- Dalbon, G., Grivon, D. And Pagani M.A. 1996. **Continuous Manufacturing Process.** En: *Pasta and Noodle Technology*. Ed. J.E. Kruger, R.B. Matsuo and J.W. Dick. St. Paul Minnesota USA. pp 133-156.

- D'Egidio, M.G., Mariani, M.B., Nardi, S. and Novaro, P.1993. Viscoelastograph Measures and Total Organic Matter Test: Suitability in Evaluating Textural Characteristics of Cooked Pasta. *Cereal Chem.* 70(1):67-72.
- D'Egidio, M.G., Mariani, M.B., Nardi, S., Novaro, P. and Cubadda, R.1990. Chemical and Technological Variables and Their Relationships: A predictive Equation for Pasta Cooking Quality.67(3):275-281.
- D'Egidio, M.G., De Stefanis, E., Fortini, S., Galterio, G., Nardi, S., Sgrulletta, D. and Bozzini, A.1982. Standarization of Cooking Quality Analisis in Macaroni and Pasta Products. *Cereal Foods World.* 27:367-368.
- D'Egidio, M.C., and Nardi, S. 1996. **Textural Measurement of Cooked Spaghetti.** En: Pasta and Noodle Technology. Ed. J.E. Kruger, R.B. Matsuo and J.W. Dick. St. Paul Minnesota USA. pp 133-156.
- Dexter, J.E., Kilborn, R.H., Morgan, B.C. and Matsuo, R.R.1983. Grain Research Laboratory Compression Tester:Instrumental Measurement of Cooked Stickiness. *Cereal Chem.* 60(2):139-142.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R. and Mac Gregor, A.W. 1985. Relationships of Instrumental Assessment of Spaghetti Cooking Quality to the Type and the Amount of Material Rinsed from Cooked Spaghetti. *J. Cereal Sci.* 3:39-53.
- Debbouz, A. and Doetkott, C. 1996. Effect of Process Variables on Spaghetti Quality. *Cereal Chem.* 73(6):672-676.
- Dick, J.W. and Matsuo, R.R.1988. **Durum Wheat and Pasta Products.** En *Wheat: Chemistry and Technology.* Ch.9. Ed. Pomeranz Y. American Association of Cereal Chemists. Third ed. St. Paul, Minnesota.USA. pp 507-547.
- Dick, J.W. and Young, V.L. 1988. **Evaluation of Durum Wheat, Semolina, and Pasta in the United States.** En *Durum Wheat: Chemistry and Technology.* Ch. 13. Edit. Fabriani, G. Lintas. Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota.USA. pp 62-72..
- Donnelly, B.1991. **Pasta: Raw Materials and Processing.** En *Handbook of Cereal Science and Technology.* Ch. 19. Ed. Lorenz K.J. y Kulp K. Publisher: Marcel Dekker, Inc. New York pp 765.
- Edwards, N.M., Izydorczyk, M.S., Dexter, J.E. and Biliaderies, C.G. 1993. Cooked Pasta Texture: Comparison of Dynnamic Viscoelastic Properties to Instrumental Assessment of Firmness. *Cereal Chem.* 70(2):122-126

- Edwards, N.M., Biliaderis, C.G. and Dexter, J.E..1995.Textural Characteristics of Wholewheat Pasta and Pasta Containing Non-Starch Polysaccharides . J. Cereal Sci. 60 No. 6. 1321-1995.
- Epstein, J., Morris, C.F. and Hubrt, K.C. 2002. Instrumental Texture of White Salted Noodles Prepared from Recombinant Inbred Lines of Wheat Differing in the three Granule Bound Starch Synthase (Waxy) Genes. J. Cereal Sci. 35. pp 51-63.
- Fabriani, G. 1988. **Perpctives on Durum Wheat and its Products**. En Durum Wheat Chemistry and Technology. Ch.18. Ed. Fabriani G. and Lintas,C. Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota.USA. pp 317-324.
- Feillet, P.Y. and Dexter, J.E. 1996. **Quality Requirements of Durum Wheat for Semolina Milling and Pasta Production**. En: Pasta and Noodle Technology. Ed. J.E. Kruger., R.B. Matsuo and J.W. Dick. St .Paul Minnesota USA. pp 95-132.
- Fizman, S.M. y Damasio, M. H. 2000. Instrumental Measurement of Adhesiveness in Solid and Semi-Solid Food. Survey. J. of Texture Studies. 31: 69-91.
- Giese, J. 2003. Texture Measurement in Food. Food Technology. 57(3):63-67.
- Grant, L.A., Dick, J.W. and Shelton, D.R. 1993. Effects of Drying Temperature, Starch Damage, Sprouting, and Additives on Spaghetti Quality Characteristics. Cereal Chem. 70(6):676-684.
- Gonzalez, J.J., McCarthy, K.L. and McCarthy, M.J.2000.Textural and Structural Changes in Lasagna after Cooking.J.Texture Studies. 31:93-108.
- Hahn, D.H.1990. **Application of Reology in the Pasta Industry**. En: Dough Rheology and Baked Product Texture. Ed. Faridi H. and Faubion J.M.Van Nostand Reinhold. New York. Pp.384-404.
- Meneen W.K. and Brismar K. 2003. Structure of Cooked Spaghetti of Durum and Bread Wheats. Starch/Starke. 55: 546-557.
- Hoseney, R.C. 1991 Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. pp269-284.
- James, J. 2003. Evaluación de la Calidad de la Pasta. En notas del Curso: **Tecnología Sobre Procesamiento de Trigo Duro Cristalino**. NCI-UNISON-Camara de la Industria Harinera del Noroeste. Hermosillo, Sonora. México. pp 3.
- Irie, K., Horigane, A.K.; Naito., Motoi, H. and Yoshida, M. 2004. Moisture Distribution and Texture of Various Types of Cooked Spaghetti. Cereal Chem. 81(3):350-355.

- Kovacs, M., Noll J., Dahlke, G. and Leisle, D.1995. Pasta Viscoelasticity: Its Usefulness in the Canadian Durum Wheat Breeding Program. *J. Cereal Sci.* 22:115-121.
- Liu, C.Y., Shepherd, K.W. and Rathjen.1996. Improvement of Durum Wheat Pastamaking and Breadmaking Qualities. *Cereal Chem.* 73(2):155-166.
- López-Ayala, M.P. 2003. Evaluación de la Viscosidad de Masas de Harina de Trigo con Diferentes Grados de Extracción en la Elaboración de Tortillas a Escala Comercial. Tesis de Licenciatura. División de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- McCarthy, K.L., Gonzalez, J.J. and McCarthy M.J. 2002. Change in Moisture Distribution in Lasagna Pasta Post Cooking. *J. Cereal Sci.* 67(5):1785-1789.
- Manthey F.A. and Schorno A.L. 2002. Physical and Cooking Quality of Spaghetti Made from Whole Wheat Durum. *Cereal Chem.* 79(4):504-510
- Marconi, E., Carcea, M., Schiavone, M. and Cubadda, R. 2002. Spelt (*triticum spelta* L) Pasta Quality: Combined Effect of Flour Properties and Drying Conditions. *Cereal Chem.* 79(5):634 –639.
- Mariani-Constantini, A. 1988. **Image and Nutritional Role of Pasta in Changing Food Patterns** En : Durum Wheat Chemistry and Technology. ch. 16. Ed. Fabriani G. And Lintas C. Amer. Assoc. Cereal Chemists Inc. St. Paul, Minnesota.USA. pp 317-324.
- Matsuo, R.R. and Irvine, G.N. 1969. Spaghetti Tenderness Testing Apparatus. *Cereal Chem.* 46:1-6
- Matsuo, R.R. and Irvine G.N. 1971. Note on an Improved Apparatus for Testing Spaghetti Tenderness. *Cereal Chem.* 48: 554-558.
- Matsuo, R.R. 1988. **Evaluation of Durum Wheat, Semolina, and Pasta in Canada.** En: Durum Wheat: Chemistry and Technology. Ch.14. Ed. Fabriani G. and Lintas,C. pp249-425.
- Matsuo, R.R., Malcolmson L.J., Edwards N.M. and Dexter J.E. 1992. A Colorimetric Method for Spaghetti Cooking Losses. *Cereal Chem.* 69(1):27-29.
- Menjívar, J. A. 1990. Fundamental aspects of dough rheology. En **Dough Rheology and Baked Product Texture.** Ed. Faridi, H. y Faubion, J. M. Nueva York. Van Nostrand Reinhold. pp. 1-14.

- Nobile, M.A., Buonocore, G.G., Panizza, A. and Gambacorta, G. 2003. Modeling the Spaghetti Hydration Kinetics During Cooking and Overcooking. *J. Cereal Sci.* 68(4): 1316-1323.
- Nobile, M.A., Fares, C., Conte, A., Martinez-Navarrete, N., Mocci, G. And La Notte E. 2003. *Cereal Chem.* 80(5):601-607.
- Oh N.H., Seib P.A., Deyoe C.W. and Ward, A.B. 1983. Noodles. I. Measuring the Textural Characteristics of Cooked Noodles. *Cereal Chem.* 60(6):433-438.
- Orozco-García, E. 1999. Uso de Técnicas Objetivas para la Evaluación de Calidad Funcional en Espagueti Cocido. Tesis de Maestría. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.
- Osorio, F., Gahona E. and Alvarez, F. 2003. Water Absorption Effects on Biaxial Extensional Viscosity of Wheat Flour Dough. *J. Texture Studies.* (34): 147-157.
- Pollini; C.M. 1996. **THT Technology in the Modern Industrial Pasta Drying Process.** En: *Pasta and Noodle Technology.* Ed. J.E. Kruger., R.B. Matsuo and J.W. Dick. St Paul Minnesota USA pp 59-93
- Ramirez-Wong B., Sweat V.E., Torres, P.I. and Rooney, L.W. 1996. Evaluation of the Rheological Properties of Fresh Corn Masa Using Squeezing Flow Viscometry: Biaxial Extentional Viscosity. *J. Texture Studies.* 27:185-198.
- Ramirez-Wong B. 1989. Measurement and Evaluation of Textural and Rheological Properties of Fresh Corn Masa. Dissertation. Doctor of Philosophy. Texas A & M University. pp : 2-34
- Park C., Hong and Byung-Kee, B. 2003. Protein Quality of Wheat Desirable for Making Fresh White Salted Noodles and its Influences on Processing and Texture of Noodles. *Cereal Chem.* 80(3):297-303
- Rasper, V.F. 1976. **Texture of Dough, Pasta and Baked Products.** En: *Rheology and Texture in Food Quality.* Cap. 8. Ed. Deman J.M., Voisey P.W., Rasper V.F., Stanley D.W. The avi Publishing company, INC. Westport, Connecticut. pp308.
- Rosenthal, A.J. 1999. **Relation Between Instrumental and Sensory Measures of Food Texture.** En *Food Texture Measurement and Perception.* Ch. 1. Ed. Rosenthal, A. pp 1-17
- Smith, C.A. 1999. Starch-Based Food. En *Food Texture Measurement and Perception* Ed. Rosenthal A.J. An Aspen Publication. Gaithersburg, Maryland. pp161.

- Smewing, J. 1997. Analysing the Texture of Pasta for Quality Control. *Cereal Chem.* 42(1):8-12
- SAS Institute Inc. 2001.JMP: A bussiness Unit of SAS. Version 4.0.4.
- Salazar-García, M.G., Torres, P.I., Reyes-Moreno, C. and Ramirez-Wong, B. 2003. Extensional Flow Studies on Wheat Flour Doughs with Different Protein Content. *J. Texture Studies.* 34: 449-464.
- Voisey, P.W., Wasik, R. J. and Loughheed, T.C. 1978. Measurig the Texture of Cooked Spaghetti.2. Exploratory Work on Instrumental Assessmentof Stickiness and its Relationship to Microstructure. *J. Inst. Can.Sci. Technol. Aliment.* 11: 180-188.
- Voisey P.W., Larmond, E. 1973. Exploratory Evaluation of Instrumental Techniques for Measuring Some Textural Characteristics of Cooked Spaghetti. *Cereal Science Today.* 11:126-143.
- Walsh, D.E. and Gilles, K.A.1971. The Influence of Protein Composition on Spaghetti Quality. *Cereal Chem.* 48:544-554.
- Yue, P., Rayas-Duarte, P., Elías E. 1999. Effect of Drying Temperature on Physicochemical Properties of Starch Isolated from Pasta. *Cereal Chem.* 76(4): 541-547.
- Zweifel, C., Handschin, S., Escher, F. and Conde-Petit, B. 2003. Influence of High-Temperature Drying on Structural and Textural Properties of Durum Wheat Pasta. *Cereal Chem.* 80(2):159-167.