

ARTÍCULO DE REVISIÓN DE TEMA

Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz

Rheology and texture of doughs: applications on wheat and corn

Eduardo Rodríguez Sandoval¹, Alejandro Fernández Quintero², Alfredo Ayala Aponte⁵

RESUMEN

La masa elaborada a partir de un material amiláceo presenta propiedades viscoelásticas. El comportamiento macroestructural de la masa depende de las condiciones de proceso durante su formación, sus constituyentes y la interacción que exista entre ellos. Los estudios sobre la reología y la textura de las masas definen la influencia de los diferentes componentes, permite el control de calidad del producto final y orienta el diseño y la adaptación de nuevas tecnologías de proceso. Esta revisión presenta algunos conceptos, métodos de medida y características reológicas y texturales aplicados al estudio de las masas elaboradas a partir de trigo y maíz, además se recopilan diferentes investigaciones sobre el tema.

PALABRAS CLAVE: masa, trigo, maíz, reología, textura

ABSTRACT

A dough made of amylaceous materials shows a viscoelastic behavior, its macrostructural behavior depends on processing conditions, its constituents and the interaction among them. Studies on dough rheology and texture are useful and important for applications that include ingredient specifications, quality control, product design and adaptation of new processing technologies. This work is a review of rheological and textural principles, testing methods and characteristics of wheat and corn doughs.

KEYWORDS: dough, rheology, texture, wheat, corn.

Recibido: Marzo 16 de 2004

Aceptado: Marzo 2 de 2005

Introducción

La textura es un factor de aceptabilidad sensorial importante para la aprobación de algunos alimentos por parte del consumidor. Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos estructurales del material y se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza. Una propiedad importante del alimento que se asocia con la textura es su comportamiento reológico. La reología es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados. [2, 22]

Una clara comprensión de las propiedades reológicas y texturales de un alimento es fundamental en la investigación y desarrollo de nuevos productos, el diseño de equipos, el mejoramiento de procesos, y el control de calidad de materias primas, productos intermedios y terminados.

Estas propiedades están íntimamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los constituyentes de un sistema alimenticio, así como, las variables de operación que se aplican en las diferentes etapas del proceso.

La masa de un producto amiláceo se considera como un sistema complejo e inestable que se somete a una modificación continua en sus características físicas a través de las acciones de fuerzas físicas, químicas y biológicas [19]. La masa pertenece a un grupo de materiales viscoelásticos, en el cual un alto grado de viscosidad y plasticidad se combina con una considerable elasticidad [25]. El objetivo de esta revisión es presentar conceptos sobre las características reológicas y texturales de las masas de trigo y maíz, los factores que las afectan, así como las investigaciones que se han realizado sobre el tema.

1 Ing. Químico, aspirante a Doctor en ingeniería, Universidad del Valle, Colombia, edurosa@univalle.edu.co

2 Ph.D en Ciencia de Alimentos, Profesor Universidad del Valle, alfernan@univalle.edu.co

3 Ph.D en Ingeniería. de Alimentos, Profesor Universidad del Valle, alfayala@univalle.edu.co

1. Reología y textura en alimentos

La textura incluye un número de sensaciones físicas diferentes, siendo más conveniente utilizar el término "propiedades texturales" que "textura". Las propiedades texturales de un alimento son el grupo de características físicas que dependen de los elementos estructurales del material, se perciben por el sentido del tacto, se relacionan con la deformación, desintegración y flujo por la aplicación de una fuerza, y se miden objetivamente como una función de masa, tiempo y distancia. [2]

La reología de alimentos es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados en la industria de alimentos. La ciencia de la reología tiene varias aplicaciones en los campos de la aceptabilidad, diseño de equipos, procesamiento y manejo de alimentos. El estudio de la reología en alimentos no cubre todos los aspectos que se incluyen en la definición de textura, como por ejemplo, la reducción de tamaño en la masticación o trituración, las superficies rugosas, la habilidad que tienen los alimentos de humedecerse y cambiar de estado con el cambio de la temperatura; por lo tanto, el estudio de la textura de alimentos se ubica parcialmente dentro del área de la reología convencional y parte fuera de esta.[2]

La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación en alimentos (mezclado, flujo de materiales, calentamiento, enfriamiento), en la determinación de la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos, en el control de calidad de productos intermedios y finales, en pruebas de tiempo de vida útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales, entre otros. [23]

2. Conceptos de masas de trigo y maíz

La masa de harina de trigo se puede considerar como un material compuesto, en el cual el gluten forma una matriz continua y los gránulos de almidón actúan como partículas de relleno dentro de la matriz. Si se asume poca contribución de los componentes minoritarios, las propiedades reológicas de la masa de harina de trigo dependen de las propiedades de la matriz de proteína, del almidón de relleno y del grado de adhesión e interacción entre los gránulos de almidón y la matriz de proteína. [6, 24]

La masa de maíz es una red de moléculas de almidón solubilizadas y gránulos de almidón dispersos, parcialmente gelatinizados, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos. [15] La masa de tortilla de maíz es ejemplo de una masa que tiene propiedades cohesivas, sin gluten y sin propiedades elásticas parecidas a la masa de trigo. Este tipo de material alcanza su

máxima cohesividad cuando los espacios entre las partículas se llenan de agua. [9, 13]

2.1 Características reológicas y texturales

Como se describió anteriormente, la masa es un material viscoelástico muy sensible a la deformación. Cuando la masa se somete a fuerzas externas, los entrecruzamientos físicos y los puentes químicos débiles que sostienen los constituyentes de la masa se pueden romper y reorganizar, permitiendo su relajamiento, parcial o completo. [14]

Estructuralmente se considera que la masa de trigo es un sistema complejo donde la interacción entre las proteínas hidratadas, la matriz de almidón y las interacciones almidón-proteína influyen en sus propiedades viscoelásticas. La base molecular para las interacciones almidón-almidón son las fuerzas de Van der Waals y los puentes de hidrógeno. Las proteínas de gluten interactúan por enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno, entrecruzamientos e interacciones hidrofóbicas para formar una red continua, que es la base para el desarrollo y retención de gas en la masa. [24]

Una propiedad textural muy importante durante el procesamiento y la transformación de las masas es la pegajosidad, la cual se define como la fuerza de adhesión que resulta cuando dos superficies se ponen en contacto. En la mayoría de los sistemas alimenticios, las fuerzas de adhesión son la combinación de una fuerza adhesiva y cohesiva. Cuando la fuerza adhesiva es mayor que la cohesiva se conoce como un estado pegajoso. Debido a que las propiedades de adhesividad y cohesividad de la masa se confunden, es esencialmente difícil determinar qué factor o factores afectan su pegajosidad, por lo cual se afirma que cualquier factor que afecte la reología de la masa podría potencialmente afectar dicha propiedad textural. [10]

2.2 Factores que influyen en las características reológicas y texturales

2.2.1 Efecto de la composición

El comportamiento macroestructural de la masa depende de su microestructura, es decir, de su composición, del arreglo espacial de sus componentes y de los tipos de enlace existentes. [12]

A pesar de que el almidón constituye gran parte del volumen de la masa, se han realizado pocos estudios describiendo su contribución en las propiedades reológicas de la masa. La capacidad de retención de agua del almidón tiene mayor efecto sobre las propiedades de tensión de la masa que el tamaño de partícula del gránulo de almidón. [6] Ensayos han determinado que el comportamiento elástico de la masa se ubica en un 2% de su deformación, mientras que el gluten exhibe el mismo comportamiento a deformaciones mayores; por consiguiente,

Hibberd (1970)⁴ concluyó que el almidón influye en el comportamiento viscoso del material. [26]

Los módulos de pérdida y almacenamiento de la masa (G' , G'') disminuyen con el incremento del contenido de agua cuando se tiene un contenido de humedad entre 44% y 47%; igualmente, se encontró la tangente de pérdida ($\tan \delta$) es independiente del contenido de humedad en el rango evaluado, lo cual indica que el agua sólo actúa como plastificante sin afectar la estructura de la masa. [26, 1, 12]

Las características particulares de la masa de trigo utilizada para la fabricación de productos de panadería son atribuibles, fundamentalmente, a las proteínas de la harina de trigo, la cual contiene proteínas solubles e insolubles. Las proteínas solubles representan el 20% de las totales; esta fracción está formada principalmente por aminoácidos del tipo albúmina y globulina, y ciertas glicoproteínas minoritarias, las cuales no contribuyen a la formación de la masa. El gluten es una mezcla heterogénea de proteínas, gliadinas y gluteninas, con limitada solubilidad en agua. La formación de una masa viscoelástica capaz de atrapar gas durante la fermentación se debe fundamentalmente a las proteínas del gluten. [5]

2.2.2 Efecto del proceso

Una masa es más que un sistema de harina-agua. Cuando la harina de trigo y el agua se mezclan en varias proporciones, forman desde una suspensión concentrada (slurry) hasta un polvo seco levemente cohesivo. A niveles intermedios de humedad y con agitación continua, el sistema se vuelve menos húmedo y pegajoso, constituyéndose en una masa cohesiva y parcialmente elástica. Al mezclar por largos períodos, la masa se vuelve más resistente a la extensión, lo cual se conoce como el desarrollo completo de la masa. [9]

En varios procesos industriales el mezclado se utiliza para homogenizar un sistema con múltiples componentes; no obstante, hay procesos donde el objetivo del mezclador no es sólo de homogenización, sino desarrollar un material. Esto es particularmente relevante para el caso de las masas, donde no es crítica la acción del mezclado que se lleva a cabo en el equipo, sino la forma en que la deformación actúa sobre el material. La deformación tiene una gran influencia en la estructura y el desarrollo de la masa, y eventualmente, en la calidad del producto final, por esta razón es muy importante relacionar esta propiedad con la acción mecánica del mezclador. [11]

Las masas de tortillas de maíz tienen una textura apropiada cuando son lo suficientemente pegajosas para adherirse levemente a los rodillos laminadores y separarse adecuadamente; sin embargo, se presentan dos problemas en el proceso, la sobre cocción del maíz produciendo una masa muy pegajosa que se adhiere fuertemente a los rodillos, y la falta de cocción del maíz, generando una

masa no cohesiva e inadecuada para la formación de tortillas. Por consiguiente, una masa óptima es la que tiene fuerzas de adhesión y cohesión balanceadas. [16]

2.3 Medidas reológicas y texturales

Las medidas texturales y reológicas se pueden clasificar en objetivas, las que se realizan con instrumentos, y subjetivas, las que efectúan personas. Las pruebas objetivas pueden dividirse en directas, que miden las propiedades texturales reales de los materiales, e indirectas, que se correlacionan bien con una o más propiedades texturales. Las pruebas subjetivas se pueden clasificar en orales y no orales. Las pruebas objetivas directas generalmente se han dividido en fundamentales, empíricas e imitativas. [2,3]

2.3.1 Pruebas fundamentales

En las pruebas fundamentales se asumen materiales continuos, isotrópicos, homogéneos, y las piezas de prueba se consideran uniformes y regulares. Los métodos fundamentales frecuentemente son lentos, no se correlacionan bien con la evaluación sensorial y son equipos de uso costoso. No se usan en la mayoría de las industrias de alimentos, pero se utilizan en laboratorios de investigación. [2] Las pruebas fundamentales más empleadas en el estudio reológico de las masas son las medidas de flujo extensional biaxial y los métodos dinámicos oscilatorios.

La compresión uniaxial simple es el tipo de prueba fundamental más usado en alimentos, mide esfuerzos y deformaciones con cargas de fuerza específicas [2]. El esfuerzo, definido como una fuerza sobre unidad de área y expresado generalmente en Pa (N/m^2), puede producirse por tensión, compresión o corte, mientras que la deformación, medida adimensional, es el cambio de longitud del material cuando se aplica un esfuerzo. Las pruebas de extensión biaxial son relativamente fáciles de realizar cuando se adapta una máquina universal de ensayos para efectuar las medidas sobre muestras que tengan forma cilíndrica. El material se comprime en una dirección y se extiende igualmente en dos direcciones, produciendo un flujo tenso radial. Esta técnica se ajusta bien para alimentos semisólidos altamente viscosos que requieren una fuerza considerable para deformarlos, tal como el queso, la masa de maíz, la mantequilla y la masa de trigo, entre otros. [18, 23]

Cuando se aplica una pequeña deformación (o esfuerzo) sinusoidal, y se mide el esfuerzo (o deformación) resultante, se hace referencia a una prueba dinámica oscilatoria. Estas pruebas se utilizan para determinar las propiedades reológicas de los alimentos viscoelásticos. Los módulos resultantes de las medidas dinámicas oscilatorias se denominan: módulo de almacenamiento (G'), el cual mide la energía almacenada por ciclo y relaciona los eventos

⁴ Citado por Wikström, 1997.

moleculares de naturaleza elástica, y el módulo de pérdida (G''), mide la energía disipada como calor por ciclo y relaciona los eventos moleculares de naturaleza viscosa. La razón de G'' sobre G' se ha definido como la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) también conocida como tangente de pérdida, y describe los efectos de los componentes viscosos y elásticos en el comportamiento viscoelástico. La deformación puede generarse usando reómetros de platos paralelos, cono y plato o cilindros concéntricos. Los instrumentos de pruebas dinámicas se pueden dividir en dos categorías generales: instrumentos con velocidad controlada, donde la deformación se fija y el esfuerzo se mide, e instrumentos de esfuerzo controlado, donde se fija la amplitud del esfuerzo y se mide la deformación. [23, 8]

2.3.1 Pruebas empíricas

Estos métodos son usualmente fáciles de aplicar, rápidos y de bajo costo. Los problemas asociados con este tipo de pruebas son la falta de fundamento en sus medidas, la arbitrariedad del método y la efectividad restringida a unos pocos materiales. [2] Numerosos alimentos son tan complejos que no es práctico, y en muchos casos no es posible, con la tecnología disponible en la actualidad, medir sus propiedades reológicas fundamentales. Sólo los equipos para pruebas empíricas, capaces de medir el comportamiento de materiales compuestos, ofrecen un medio apropiado para caracterizar alimentos. La masa es uno de los materiales más complejos que han investigado los científicos en reología de alimentos, por lo cual varios instrumentos empíricos se han desarrollado para evaluar su comportamiento de flujo. Estos instrumentos pueden dividirse en dos grupos principales: los que miden la potencia de entrada durante el desarrollo de la masa causado por la acción del mezclado (farinógrafo y mixógrafo), y los que someten la masa preparada a una deformación extensional (extensógrafo). [23]

Uno de los mezcladores de masa más utilizados es el farinógrafo, en el cual, se combinan harina de trigo y agua usando dos cuchillas de mezclado en forma de zeta que rotan a diferentes velocidades en direcciones opuestas. La mezcla se inicia con harina y se adiciona agua de una bureta titulable durante la prueba. Se utiliza un dinamómetro para registrar el torque en el agitador. Los resultados se expresan como gráficos, farinogramas, que relacionan un parámetro proporcional al torque (B.U. Unidades Brabender) versus el tiempo. La forma del farinograma se interpreta en términos de factores relacionados con la calidad de la harina y el comportamiento de la masa en el proceso de panificación, obteniéndose la siguiente información: absorción de agua, tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad de la masa, grado de suavidad (gluten fuerte o débil) y tolerancia del mezclado. [23] Una alternativa del farinógrafo es el mixógrafo, donde se involucra una rotación de alfileres verticales que se pone en contacto con la masa cerca de otros alfileres

estacionarios unidos al recipiente del mezclado. La acción del mecanismo de mezclado es más severa que en el farinógrafo. El torque se registra con cantidades fijas de harina y agua en el mezclado. Los resultados se dan en términos de mixogramas, lo cual se interpreta en forma análoga a lo expuesto para el farinograma. [23, 19]

El extensógrafo generalmente se aplica a masas preparadas en el farinógrafo. La masa se moldea en forma cilíndrica y se sitúa horizontalmente en un sistema de soporte, los extremos se ajustan firmemente dejando la sección media libre para la prueba. Un gancho sujeta la mitad de la muestra y la estira mientras se mueve hacia abajo a velocidad constante. La fuerza en la muestra, causada por el movimiento del gancho, se registra. Los resultados se muestran en forma de extensogramas, gráficos de fuerza (BU, Unidades Brabender) versus tiempo y extensión, los cuales ofrecen información apropiada para el control de calidad de masas de trigo [23].

2.3.3 Imitativas

Estas pruebas imitan las condiciones a las cuales se somete el material en la práctica y se pueden considerar como una clase de pruebas empíricas. Ejemplos de estos equipos son el farinógrafo y mixógrafo, descritos anteriormente, que imitan el manejo y trabajo de la masa utilizada en la panificación. [2]

Otra prueba imitativa es el análisis de perfil de textura (con siglas en inglés TPA), que se puede efectuar utilizando una máquina universal de ensayos Instron, un analizador de textura (TA-XT2), o un G. F. Texturómetro. El método comprime una porción del alimento dos veces en movimientos recíprocos que imitan la acción de la quijada de una persona, obteniéndose siete parámetros texturales de una curva de fuerza-tiempo (figura 1), cinco son medidos directamente y dos son calculados indirectamente. [3] Los parámetros texturales son los siguientes:

1. Fracturabilidad: la fuerza al primer rompimiento significativo en la curva (N).
2. Dureza: la máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión (N).
3. Adhesividad: el área bajo la curva de fuerza de cualquier pico negativo después del primer ciclo de compresión (J).
4. Cohesividad: la razón del área bajo la curva de fuerza positiva de la segunda compresión con respecto a la primera compresión (adimensional).
5. Elasticidad: la altura que recupera el espécimen durante el tiempo entre el final del primer golpe y el comienzo del segundo (m).
6. Gomosidad: el producto de la dureza y la cohesividad (N).
7. Masticabilidad: el producto de la elasticidad y la gomosidad (J).

Cada uno de los parámetros identificados en la curva da una excelente correlación con las características sensoriales. La técnica del TPA ha servido para comprobar que la textura es una propiedad multi punto más que una característica de punto sencillo. Además, se puede separar y seguir los cambios en cada uno de los diferentes parámetros texturales como resultado del cambio en la formulación o en el procesamiento de los alimentos. [3]

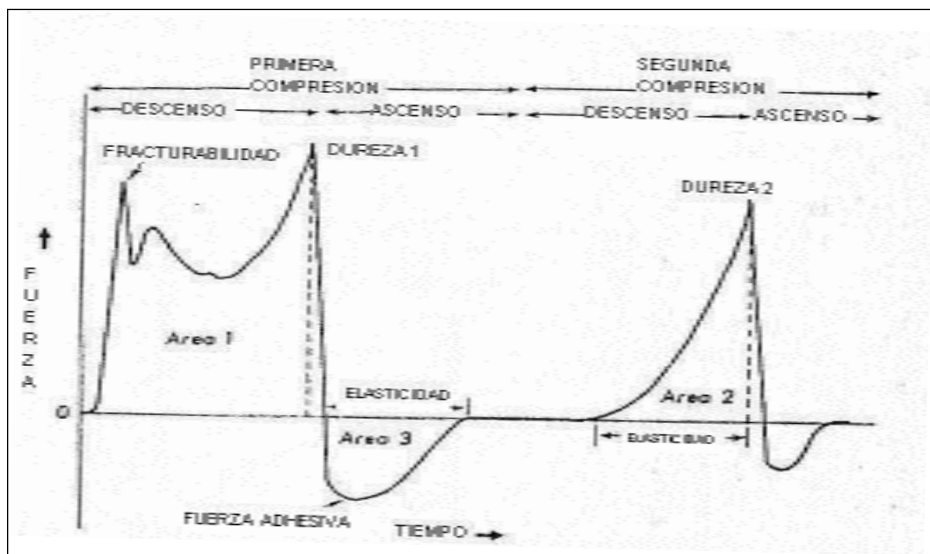


Figura 1. Curva obtenida del análisis de perfil de textura de un alimento⁵

3. Investigaciones sobre características reológicas y texturales en masas de trigo y maíz

La primera evaluación sistemática para determinar las propiedades reológicas fundamentales de la masa de trigo fue realizada por Schofield y Scott Blair durante los años treinta. [26, 12] Se han realizado esfuerzos en relacionar las propiedades reológicas de la masa con sus propiedades estructurales y sus procesos de transformación; sin embargo, estas investigaciones no han sido fáciles de efectuar debido a la estructura compleja de la masa que involucra diferentes componentes y al gran número de factores que influyen en su comportamiento [26].

3.1 Investigaciones en masas de trigo

Las propiedades reológicas dinámicas de la masa de trigo y la relación con su composición (contenido de agua, agentes oxidantes y reductores, emulsificantes) fueron estudiadas por Berland y Launay (1995) [1] utilizando un reómetro de esfuerzo controlado. Los resultados de la experimentación demostraron que el agua agregada a la masa (44% a 49 %) tiene efectos plastificantes sin modificar su estructura. El ácido ascórbico (40 a 60 ppm) incrementa sensiblemente el endurecimiento y la lecitina se relaciona con la suavidad de la masa, es decir, estos componentes modifican levemente la estructura de la masa. En to-

dos los casos, cuando se varía la composición de la masa, la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) y el índice del comportamiento de flujo (n) permanecen constantes o varían simultáneamente, por lo cual, se toman como parámetros que se relacionan con el nivel estructural de la masa.

Chen y Hosney (1995) [4] estudiaron la pegajosidad de la masa de trigo utilizando un analizador de textura y concluyeron que esta propiedad se incrementa cuando la cantidad de componentes solubles presentes en la harina se aumenta. La tensión superficial entre la superficie de la masa y la superficie del recipiente que está en contacto con la masa se genera por la mezcla del agua y el material soluble contenido en la harina. Los factores que más afectan la pegajosidad de la masa fueron: el tiempo de mezcla, la tensión superficial de los solubles contenidos en la harina, el nivel de enzimas y la cantidad de agua adicionada.

La influencia de los parámetros de mezcla (cantidad de agua y tiempo) en las propiedades reológicas de las masas de trigo y su relación con las propiedades micro y macroestructurales, fue investigado por Létang *et al.* (1999) [12] empleando medidas reológicas dinámicas y observaciones en un microscopio electrónico. Cuando aplicaron pruebas dinámicas a una frecuencia de 1 Hz, verificaron que el almidón presente en la masa incrementa la rigidez del material, viéndose reflejado en el aumento de los módulos viscoelásticos de la masa ($G' = 3.2 \cdot 10^4$ Pa y $G'' = 1.1 \cdot 10^4$ Pa) si se compara con una masa que contiene solamente gluten ($G' = 2.5 \cdot 10^3$ Pa y $G'' = 1.2 \cdot 10^3$ Pa). Un incremento en el contenido de agua en un rango de 40% a 45% disminuyó los módulos dinámicos de la masa sin afectar la tangente de pérdida ($\tan \delta$), la cual fue tomada como un indicador de la organización estructural del material. Tiempos de mezcla entre 120 y 150 s corresponden a un óptimo de mezcla, mientras que masas sobre mezcladas se obtienen con tiempos mayores a 150 s, teniendo en cuenta los resultados relacionados con la $\tan \delta$.

Edwards *et al.* (2002) [6] investigaron las interacciones entre la superficie del gránulo de almidón y el gluten en las propiedades viscoelásticas lineales de la masa de trigo "durum", para ello sustituyeron el almidón con polvo de vidrio de un tamaño de partícula similar y realizaron prue-

⁵ Tomado de Bourne, 1978.

bas dinámicas con contenidos de humedad entre 42% y 48%. El incremento de la sustitución de almidón por polvo de vidrio en un 50% produjo una disminución en los módulos dinámicos de deformación, esto se atribuyó a la baja adhesión global de las partículas de relleno (almidón y polvo de vidrio) en la matriz de gluten. Al aumentar la proporción de polvo de vidrio por encima del 50%, la rigidez y la fricción entre estos ejerció una mayor influencia en las propiedades viscoelásticas del sistema que la interfase matriz-relleno.

3.2 Investigaciones en masas de maíz

Ramírez-Wong *et al.* (1994) [17] evaluaron las características texturales de la masa de maíz a diferentes condiciones de nixtamalización (tratamiento de cocción alcalina) por medio de una prueba de compresión/tensión en una máquina universal de ensayos Instron. Las características texturales de la masa de maíz (firmeza y adhesividad) dependieron de la capacidad de retención de agua del material. El efecto del proceso de molienda fue mayor que el de la cocción cuando se cocinó a tiempos menores de 20 min., mientras que a tiempos mayores sucedió lo contrario. Masas elaboradas con harina de un tamaño de partícula medio, a un tiempo de cocción alcalina de 55 min., y con un nivel de contenido de humedad de 56.8 a 58.8% tuvieron las características texturales más adecuadas para procesarlas en los rodillos laminadores.

Limanond *et al.* (1999) [13] evaluaron el efecto del empaque y el tiempo de reposo a temperatura ambiente (tiempos de reposo: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 h y empaque: polietileno) sobre la estabilidad de las masas de maíz utilizadas en la elaboración de tortillas, mediante ensayos de compresión con un analizador de textura. Observaron que las características reológicas de las masas sin empaque y a los diferentes tiempos de reposo cambiaron significativamente debido a la pérdida de humedad del material en dichos períodos; por otro lado, las masas empacadas presentaron propiedades reológicas similares durante los distintos períodos de reposo, por consiguiente, concluyeron que el empaque de polietileno mantiene la masa de maíz en buenas condiciones para la elaboración de tortillas durante seis horas de reposo a temperatura ambiente.

Sahai *et al.* (2001) [20] investigaron la relación entre las características texturales (firmeza, pegajosidad, cohesividad y gomosidad) de la masa y las propiedades funcionales y fisicoquímicas de sus componentes (cristalinidad del almidón, relación amilosa/amilopectina, curvas de empastamiento, tamaño de partícula de la harina). La mejor formulación fue 37% de harina gruesa (212 μm a 425 μm), y 63% de harina fina (<212 μm). Las propiedades intrínsecas del almidón que constituye la masa tuvieron un mayor impacto en las propiedades reológicas que el tamaño de partícula de la harina. La cohesividad fue posi-

tivamente correlacionada con la concentración de amilopectina, mientras que la adhesividad fue correlacionada negativamente con la concentración de amilosa.

Shim y Mulvaney (2002) [21] determinaron las propiedades reológicas dinámicas de una masa elaborada a partir de harina de maíz pregelatinizada a diferentes temperaturas de calentamiento (75, 85 y 95°C), condiciones de pH (5, 7 y 9) y cantidades de aislado de proteína de suero (0, 5 y 10%). El valor del módulo de almacenamiento (G') de las masas elaboradas de harina de maíz pregelatinizada disminuyó linealmente con el incremento de la temperatura de calentamiento en cada nivel de pH, este tipo de masas aparentemente dependieron de la fracción de volumen de los gránulos de almidón hinchados. Las masas que contenían aislado de proteína de suero mostraron mayores valores de G' que las masas elaboradas de harina de maíz pregelatinizada en las condiciones propuestas de temperatura de calentamiento y pH. Por consiguiente, concluyeron que la interacción entre el aislado de proteína de suero y el almidón de maíz contenido en la harina aumenta la elasticidad de la masa probablemente por la reducción en el número de gránulos de almidón hinchados. El valor más alto de G' (60 kPa) se obtuvo a 75°C, pH de 9 y 10 % de aislado de proteína de suero.

Conclusiones

La masa es un sistema alimenticio complejo e inestable que está conformado por una red polimérica, gluten para el trigo y almidón gelatinizado para el maíz, generando una estructura única que le otorga sus características texturales y reológicas. Los factores más relevantes que afectan la reología de la masa son las condiciones de proceso durante su formación, sus constituyentes y la interacción que exista entre ellos.

El agua influye en las características texturales de la masa de trigo sin afectar su estructura a determinados contenidos de humedad (44-47%) debido a que actúa como un plastificante. En el caso de la masa de maíz, sus propiedades reológicas dependen de la capacidad que tiene el almidón para retener agua.

Las características particulares de la masa de harina de trigo se atribuyen a la calidad de sus proteínas. Las gliadinas de bajo peso molecular se han descrito como componentes viscosos, mientras que las gluteninas de alto peso molecular se han distinguido como las responsables por el carácter elástico.

Las investigaciones que se han realizado en torno a las propiedades reológicas de masas han apuntado principalmente a los efectos de sus constituyentes y a las condiciones de proceso en la manufactura de productos específicos. En el caso del trigo, se han estudiado los factores

que afectan las propiedades reológicas de la masa utilizada para la elaboración de productos de panadería; para el caso del maíz, se ha investigado la relación del tamaño de partícula de la harina de maíz pregelatinizada y las operaciones térmicas del proceso de nixtamalización con las propiedades texturales de la masa para la producción de tortillas.

Bibliografía

[1] Berland, S. y Launay, B., Rheological properties of wheat flour dough in steady and dynamic shear: Effect of water content and some additives, en *Cereal Chemistry*, Vol. 72, No. 1, pp. 48–52, 1995.

[2] Bourne, M. C., *Food texture and viscosity: concept and measurement*, San Diego, Academic Press, pp 1–19, 1982.

[3] Bourne, M. C., “Texture profile analysis”, en *Food Technology*, Vol. 32, No. 7, pp. 62–66, 72, 1978.

[4] Chen, W. Z. y Hosoney, R. C., “Development of an objective method for dough stickiness”, en *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol. 28, pp. 467–473, 1995.

[5] Damodaran, S., “Aminoácidos, péptidos y proteínas”, en *Química de alimentos*, ed. Fenneman, O. Zaragoza: Editorial Acribia, 2 ed., (1996), 469–471 p.

[6] Edwards, N. M., Dexter, J. E. y Scanlon, M. G., “Starch participation in durum dough linear viscoelastic properties”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 79, No. 6, pp. 850–856, 2002.

[7] Fernández, A., “Effects of processing procedures and cultivar on the properties of cassava flour and starch”. Nottingham, 1996, 241 pp. trabajo de grado (doctorado en ingeniería de alimentos), Universidad de Nottingham, Escuela de Agricultura, Departamento de Bioquímica Aplicada y Ciencia de los Alimentos.

[8] Gunasekaran, S. y Ak, M. M., “Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications”, en *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 11, pp. 115–127, 2000.

[9] Hosoney, R. C., “Principles of cereal science and technology, Minnesota”, American Association of Cereal Chemistry, pp.211–219, 1986.

[10] Hosoney, R. C. y Smewing, J., “Instrumental measurement of stickiness of doughs and other foods”, en *Journal of Texture Studies*, Vol. 30, pp. 123–136, 1999.

[11] Jongen, T. R. G., Bruschke, M. V. y Dekker, J. G., “Analysis of dough kneaders using numerical flour simulations”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 80, No. 4, pp.383–389, 2003.

[12] Létang, C., Piau, M. y Verdier, C., “Characterization of wheat flour-water dough. Part I. Rheometry and microstructure”, en *Journal of Food Engineering*, Vol. 41, pp. 121–132, 1999.

[13] Limanond, B.; Castell-Pérez, E. y Moreira, R. G., “Effect of time and storage conditions on the rheological

properties of masa for corn tortillas”, en *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Vol. 32, pp. 344–348, 1999.

[14] Masi, P.; Cavella, S.; Sepe, M., “Characterization of dynamic viscoelastic behavior of wheat flour doughs at different moisture contents”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 75, No. 5, pp. 428–432, 1998.

[15] Mc. Donough, C.; Gomez, M. H.; Rooney, L. W. y Serna-Saldivar, S., “Alkaline-cooked corn products”, en *Snack foods processing*, Ed. Lusas, E. W. y Rooney, L. W. Pennsylvania, Technomic publishing company, Inc. 2001, pp.73–113

[16] Ramírez-Wong, B.; Sweat, V. E.; Torres, P. I. y Rooney, L. W., “Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 70, No. 3, pp. 286–290, 1993.

[17] Ramírez-Wong, B.; Sweat, V. E.; Torres, P. I. y Rooney, L. W., “Cooking time, grinding and moisture content effect on fresh corn masa texture”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 71, No. 4, pp. 337–343, 1994.

[18] Rao, M. A., *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*, Maryland, Aspen publications, pp. 100–105, 1999.

[19] Rao, V. G. y Rao, H. P., “Methods for determining rheological characteristics of doughs: A critical evaluation”, en *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, Vol. 30, No. 2, pp. 77–87, 1993.

[20] Sahai, D.; Buendía, M. O. y Jackson, D. S., “Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour: Particle size and functionality relationships in a masa flour simple”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 78, No. 1, pp. 14–18, 2001.

[21] Shim, J. y Mulvaney S. J., “Effects of pregelatinization conditions and added whey protein isolate on corn starch dough properties”, en *Cereal Foods World*, Vol. 47, No. 9, pp. 440–446, 2002.

[22] Shoemaker, C. F., Lewis, J. I. y Tamura, M. S., “Instrumentation for rheological measurements of food”, en *Food Technology*, Vol. 41, pp. 80–84, 1987.

[23] Steffe, J., *Rheological methods in food process engineering*, Michigan, Freeman Press, pp. 1–10, 295–317, 258–262, 1996.

[24] Tronsmo, K. M.; Magnus, E. M.; Baardseth, P.; Schofield, J. D.; Aamodt, A. y Faergestad, E. M., “Comparison of small and large deformation rheological properties of wheat dough and gluten”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 80, No. 5, pp. 587–595, 2003.

[25] Wang, F. C. y Sun, X. S., “Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and breadmaking performance”, en *Cereal Chemistry*, Vol. 79, No. 4, pp. 567–571, 2002.

[26] Wikström, K., “Rheology of wheat flour dough at large deformations and the relation to baking quality and physical structure”, Lund, Suecia, 1997, 111 p., trabajo de grado (doctorado en ingeniería de alimentos), Universidad de Lund, Facultad de Ingeniería de Alimentos.