

## ADICIÓN DE HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO A MASA FRESCA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO. EFECTO EN LAS PROPIEDADES TEXTURALES DE MASA Y TORTILLA

### ADDITION OF NIXTAMALIZED CORN FLOUR TO FRESH NIXTAMALIZED CORN MASA. EFFECT ON THE TEXTURAL PROPERTIES OF MASA AND TORTILLA

J. C. Gasca-Mancera y N. B. Casas-Alencáster\*

*Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales en Alimentos. Departamento de Ingeniería y Tecnología. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Primero de Mayo S/N, Col. Santa María Guadalupe las Torres, 54740, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.*

Recibido 29 de Enero 2007; Aceptado 23 de Octubre 2007

#### Resumen

Se estudió el efecto de la adición de harina de maíz nixtamalizado (HMN) a masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN), sobre las propiedades texturales de la masa y la tortilla. Los niveles de HMN fueron 10, 30 y 50%. Las pruebas efectuadas fueron: perfil de textura a diferentes niveles de deformación relativa aparente (2, 10, 25 y 40%), dureza por penetración y adhesividad en masa; rollabilidad y extensibilidad en tortilla. Todas las pruebas se efectuaron utilizando un texturómetro Texture Analyser TAX T2. El nivel de deformación relativa aparente (DRA) influyó en la manifestación de las propiedades texturales de la masa y en el patrón de cambio de éstas por efecto de la concentración de HMN adicionada. La masa de harina de maíz nixtamalizado (MHMN) fue más dura y resiliente y presentó mayor recuperación elástica instantánea comparada con la MFMN. Con 25 y 50% de DRA todas las masas fueron menos elásticas, resilientes y cohesivas y más duras. Cuando la masa se evaluó al nivel más bajo de DRA, la adición de 30% de HMN a la MFMN impartió mayor dureza, resiliencia y elasticidad (instantánea y total), mientras que al nivel más alto de DRA esta mezcla exhibió menor cohesividad, resiliencia y elasticidad total. La incorporación de 30% de HMN a la MFMN disminuyó sus propiedades adhesivas. Los cambios en las propiedades texturales de la masa por efecto de la incorporación de HMN no tuvieron impacto en las propiedades texturales evaluadas en la tortilla recién elaborada ni después de 24 h de almacenamiento. Sugerimos efectuar pruebas en la tortilla a mayores tiempos de almacenamiento y explorar otras pruebas como extensibilidad en una dimensión y doblado con la finalidad de determinar si son más sensibles para detectar cambios en la textura de las tortillas por efecto de la adición de HMN.

*Palabras clave:* harina de maíz nixtamalizado, masa de maíz nixtamalizado, nixtamalización, textura, tortilla.

#### Abstract

The effect of addition of nixtamalized corn flour (HMN) to fresh nixtamalized corn masa (MFMN) over the textural properties of masa and tortilla was studied. The HMN levels were 10, 30 and 50%. The tests conducted were: texture profile at different levels of apparent relative strain (2, 10, 25 and 40%), hardness by penetration and adhesiveness in masa; rollability and extensibility in tortilla. All tests were conducted using a Texture Analyser TAX T2 texturometer. The apparent relative deformation (DRA) level influenced the manifestation of textural properties of masa and the pattern of change of these by effect of the added concentration of HMN. The MHMN was harder and resilient and displayed greater instantaneous elastic recovery, compared with the MFMN. With 25 and 50% of DRA, all masas were less elastic, resilient and cohesive and harder. When masa was evaluated at the lowest level of DRA, the addition of 30% of HMN to MFMN increased hardness, resilience and elasticity (instantaneous and total). With the highest level of DRA this mixture exhibited less cohesiveness, resilience and total elasticity. The incorporation of 30% of HMN to MFMN decreased adhesive properties. The changes in the textural properties of MHMN due to incorporation of HMN did not show significant differences in extensibility and rollability after 24 h of resting. We proposed to carry out tests in tortilla with greater times of storage and perform other tests like bending and one dimension extensibility in order to explore if they are more sensible to detect changes in tortilla texture caused by addition of HMN

*Keywords:* nixtamalized corn flour, nixtamalized corn masa, nixtamalization, texture, tortilla.

\* Autor para la correspondencia: E-mail: normac1952@prodigy.net.mx

## 1. Introducción

La elaboración de tortilla de maíz constituye hoy en día una actividad compleja de grandes proporciones. Este producto ha trascendido la simple fabricación casera y artesanal, para erigirse en actividad agroindustrial que involucra competencia tecnológica, estrategias de mercadeo, reorientación de preferencias de los consumidores, así como una marcada pérdida de la regulación estatal que antes la caracterizaba. La industria de la tortilla atraviesa actualmente por un momento de transición. Por una parte se ubica una industria moderna altamente tecnificada que está representada por la fabricación de harina de maíz nixtamalizado (HMN) que desplaza gradualmente a la molienda de nixtamal tradicional. Ante la incapacidad de la industria tradicional de satisfacer el abasto de tortilla, la industria harinera y la venta de tortilla empacada, además de la integración de la tortillería como un servicio adicional de las cadenas de tiendas de autoservicio, se han desarrollado como alternativas a los métodos tradicionales (Consejo Empresarial de la Industria del Maíz y sus Derivados, 2001; Torres y col., 1996). La HMN presenta ventajas tecnológicas para los fabricantes de tortillas como su facilidad de manejo y almacenamiento, su mayor vida de anaquel, propiedades constantes y la facilidad de incorporar sabores, nutrientes y aditivos que mejoren su desempeño y la calidad de las tortillas. Sus principales desventajas son: mayor costo, falta de sabor, textura pobre en los productos que se elaboran con ella y envejecimiento más rápido (Gomez y col., 1987).

En el proceso tradicional de nixtamalización para obtención de masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN), el maíz deshidratado se somete a una cocción en agua (120 a 300% con relación al peso del maíz) con cal (0.1 - 2%) a temperatura de 80-100°C por un tiempo de 0.5-3 h. Posteriormente la mezcla maíz/agua/cal se envía a tinajas de reposo donde se mantiene de 8 a 24 h a temperatura ambiente; es lavada para remover los residuos de pericarpio y cal y molida en un molino de piedras estriadas (Gomez y col., 1987; Rosentrater y col., 2005). En el caso de la elaboración de HMN, el maíz es cocido en agua con cal y mantenido en reposo al igual que en el método tradicional, o cocido de una forma más intensa en operación continua, rociando el grano con una solución de cal, antes de ser sometido a cocción por vapor, para después lavarse, molerse, secarse con aire caliente, pulverizarse y separarse por tamaño. Para la elaboración de harina se utilizan menores temperaturas y tiempos de cocción del maíz, lo que causa una insuficiente absorción de agua, limita su redistribución durante el remojo y restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón, comparado con lo que ocurre en la masa fresca. El rápido secado de la masa causa una posterior gelatinización y reorientación de los

polímeros de almidón. Durante el almacenamiento de la HMN, su rehidratación para la elaboración de MFMN y su utilización para la elaboración de tortilla, los gránulos de almidón parcialmente gelatinizados proporcionan núcleos para la recristalización y retrogradación, lo cual disminuye la cohesividad. La rehidratación de la masa no es capaz de destruir estos núcleos. Por lo anterior, la retrogradación de la tortilla ocurre muy rápidamente. (Gomez y col., 1991; Gomez y col., 1992 Gomez y col., 1989).

Las preferencias del consumidor se inclinan hacia las tortillas elaboradas en forma tradicional por su sabor, sus propiedades texturales (rollabilidad, suavidad, flexibilidad) y su mejor desempeño durante el recalentamiento, doblado, enrollado y freído. No obstante, el consumidor se ha ido acostumbrando a consumir, generalmente por facilidad, diferentes tipos de tortilla en los que cada vez es más frecuente el empleo de la HMN. A pesar de las ventajas que ofrece la utilización de HMN para la fabricación de tortillas, las diferencias en las propiedades texturales del producto, en comparación con las elaboradas con MFMN no han sido superadas. Las tortillerías tradicionales han aprovechado algunos de los beneficios que ofrece la HMN y se ha vuelto una práctica cada vez más frecuente en las mismas, la adición de HMN a la MFMN. Entre las razones más importantes que mencionan los encargados de las tortillerías para hacerlo son: blanqueo de la tortilla, aumento de rendimiento, control de la humedad de la masa (en caso de por alguna causa se haya excedido), satisfacción de la demanda y disminución de mermas.

La textura de la masa es crítica para el proceso de elaboración de tortilla. Cuando la masa tiene la textura adecuada, es lo suficientemente adhesiva para adherirse ligeramente a los rodillos laminadores de la máquina tortilladora y separarse adecuadamente. Si el maíz está sobre-cocido, la masa es pegajosa y se adhiere fuertemente a los rodillos; el maíz sub-cocido produce una masa poco cohesiva, inadecuada para la formación de la tortilla (Ramírez-Wong y col., 1993). La MFMN es menos plástica y cohesiva que la HMN (Gomez y col., 1991).

En los molinos de nixtamal y tortillerías se emplean técnicas empíricas subjetivas para la evaluación de la textura de la masa. Una de estas pruebas consiste en que el molinero toma una muestra de masa a la salida del molino, la coloca en su antebrazo y con el pulgar la presiona y jala, observando como se extiende (comunicación personal, Molino San Marcos). Con base en esta prueba califica a la masa con términos como: "normal", "dura", "seca", "chiclosa", "pegajosa", "apretada", "aguada" y "cocida". Una vez evaluada la textura de la masa, el molinero ajusta las condiciones de molienda ("apriete" de las piedras, adición de agua) o en las tortillerías se adiciona agua

o HMN para ajustar la textura de la masa (comunicación personal, Consejo Empresarial de la Industria del Maíz y sus Derivados, Molino San Marcos).

La masa, como muchos otros alimentos, es un material viscoelástico. Su textura ha sido evaluada en forma instrumental por diferentes métodos: Almeida y Rooney, (1997), utilizaron una prueba de perfil de textura con 30% de deformación relativa aparente (DRA) y evaluaron propiedades como dureza, cohesividad, elasticidad y adhesividad; Ramírez-Wong y col. (1993), emplearon una DRA de 66.7% en un solo ciclo evaluando dureza y adhesividad; Twillman y White (1988), también en un solo ciclo con 20% de DRA obtuvieron dureza y adhesividad. Bourne y Comstock, (1981) encontraron que algunos de los parámetros de la prueba de perfil de textura (cohesividad, gomosidad y elasticidad) en diferentes tipos de alimentos cambian de manera importante en función del nivel de compresión utilizado y, en productos semisólidos, la cohesividad y elasticidad disminuyen de manera importante al incrementarse la DRA. La masa, durante su obtención, manejo y utilización para la elaboración de tortilla y otros productos, es sometida a diferentes tipos de fuerzas con muy diferentes niveles de compresión, incluyendo las operaciones por las cuales el molinero juzga la textura de manera empírica, por lo que resulta interesante evaluar su comportamiento bajo diferentes niveles de compresión. Otra propiedad importante de la masa para su desempeño en la elaboración de tortillas es la adhesividad y ésta es influenciada por las condiciones de proceso como temperaturas y tiempos de cocción y reposo, adición de agua y apriete de las piedras durante la molienda. En materiales semisólidos de consistencia similar a la masa, son comunes las pruebas de penetración con cilindros o conos para obtener una medida de tipo empírico de la dureza del material que es tomada como un indicador de calidad en pruebas de rutina. En este tipo de pruebas, donde la muestra no se comprime, sino que es penetrada, la distancia de penetración es seleccionada por el investigador y la dureza se calcula como la fuerza a la máxima distancia de penetración.

Los procesos de nixtamalización para la obtención de HMN y MFMN comprenden diferencias que influyen en las propiedades texturales de la masa y la tortilla y su deterioro, en estas últimas, con el tiempo. Consideramos que, para los fabricantes de tortilla en establecimientos tradicionales que recurren a la práctica de adicionar HMN a la MFMN, es importante conocer si las ventajas que les proporciona desde el punto vista operativo, produce cambios en la masa y, de ser así, qué tanto éstos impactan en la calidad de la tortilla. Con base en lo antes expuesto, los objetivos del presente trabajo fueron estudiar: a) las propiedades texturales de masa fresca de maíz nixtamalizado (MFMN), masa preparada a partir de harina de maíz

nixtamalizado (MHMN) y masas elaboradas a partir de la mezcla de ambas, usando concentraciones de 10, 30 y 50% de harina de maíz nixtamalizada, por medio de pruebas de dureza por penetración, adhesividad y perfil de textura a diferentes niveles de compresión y b) las propiedades texturales de tortillas elaboradas usando masas constituidas por HMN, MFMN y mezclas de ambas, mediante pruebas de rollabilidad y extensibilidad.

## 2. Metodología Experimental.

### 2.1. Preparación de la masa

Se utilizó MFMN proveniente de un molino cercano a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, donde se realizó el trabajo. Las condiciones de nixtamalización que se utilizan regularmente en este molino son las siguientes: Se preparan cuatro lotes diarios, cada uno de 700 kg de maíz. Cada lote se mezcla con 850-900 L de agua a  $87\pm 5$  °C y 8.3 kg de cal en un tanque con aislamiento térmico y agitación, durante 38-45 min; la mezcla se transfiere a tinajas de reposo donde permanece de 9 a 21 h, se lava y se muele en molinos de piedra. Para compensar los diferentes tiempos de reposo, y producir masa lo más homogénea posible, la molienda se efectúa mezclando maíz de los diferentes lotes que se procesan en un día y controlando durante la molienda la separación entre las piedras del molino (“apriete”) y la cantidad de agua agregada. Con el objetivo de tener durante el desarrollo del trabajo muestras de MFMN lo más homogéneas que fuera posible, se siguieron las siguientes estrategias: se verificó que la cantidad de maíz en los silos del molino fuera suficiente para las tres semanas que duraría el estudio, asegurándonos así que el maíz no fuera una fuente de variación; las muestras se tomaron siempre a las 8:30 A. M. y se le solicitó al molinero masa tipo “normal” (evaluada bajo la prueba empírica antes mencionada), que es la que entregan a la mayoría de las tortilladoras y cuyo contenido de humedad varió durante el desarrollo experimental entre 52.9 y 55.3%. Se utilizó HMN marca MASECA®. Para la preparación de las mezclas de masa, primero se determinó la humedad del harina con una termobalanza Ohaus, modelo MB45 (Ohaus Corporation, Pine Brook, USA) a 80° C, hasta una pérdida de peso menor de 1 mg/min. La humedad de la MFMN se midió en horno de microondas Mabe, modelo Hot Point MH 1400 (General Electric Corporation, Louisville, USA), con 10 g de muestra prensada entre dos almohadillas de asbesto; se utilizó el nivel de potencia de 5 por periodos de 1 minuto hasta peso constante. Una vez conocido el contenido de humedad se procedió a preparar las masas solas y en mezcla, todas con 58% de humedad, calculando la cantidad de agua a agregar por medio de un balance de materia. Para el mezclado se utilizó una batidora Kitchen Aid®

modelo K5SS (Kitchen Aid Inc. St. Joseph, USA) con mezclador tipo paleta; el agua se agregó a una temperatura de 30 °C y el mezclado se efectuó al nivel de velocidad de 1 por cinco minutos. La masa obtenida se dejó reposar en bolsas de polietileno con sello por 15 min a temperatura ambiente (25±2 °C). Después del reposo se observó una condensación de agua en la película plástica, por lo que fue necesario un mezclado manual sin sacar la masa ni abrir la bolsa, esto permitió la homogeneización de la muestra antes del moldeo. Las concentraciones de HMN agregadas a la masa fueron: 10, 30 y 50%.

## 2.2. Preparación de tortillas

Se pesaron porciones de masa de 30±1g las cuales fueron depositadas en una bolsa de plástico con cierre hermético hasta el momento de su utilización. Cada porción se moldeó manualmente en forma esférica y se prensó entre dos películas de polietileno con una prensa manual para tortillas. Inmediatamente después la tortilla se sometió a cocción en un comal a una temperatura de 180 ± 10°C, en tres tiempos: dos de 30 segundos y uno de 20 segundos; al término de cada uno de estos tiempos se volteó la tortilla para la cocción por ambos lados; uno de los indicadores del fin del proceso de cocción es la formación de ampolla. La temperatura del comal y las tortillas fueron medidas con un termómetro láser marca Raytec®, modelo MT (Raytec China Company, Beijing, China). Al retirar las tortillas del comal se introdujeron en un tortillero térmico durante 1h y posteriormente se dejaron enfriar dentro de una bolsa de plástico con cierre hermético a temperatura ambiente hasta que alcanzaron 25±2 °C. Las dimensiones de la tortilla cocida fueron: 125 ± 5mm de diámetro y 1 ±0.1 mm de espesor.

## 2.3. Pruebas de textura de masa

La preparación de las muestras y las pruebas se basaron en los métodos sugeridos por Almeida y Rooney (1997). Se utilizó un Texturómetro Texture Analyser® modelo TAX T2 con celda de carga de 25 kg (Stable Micro Systems, Godalming, Inglaterra) y las pruebas se efectuaron a 25±2 °C.

Para las pruebas de dureza por penetración y perfil de textura, se utilizaron muestras cilíndricas preparadas como sigue: Un molde de acrílico de forma cilíndrica con dimensiones internas de 37.1 mm de diámetro y 24.1 mm de altura, se lubricó en su interior con aceite vegetal y se colocó sobre una película de polietileno. Se pesaron 50 g de masa, con la que manualmente se formó un cilindro que se introdujo en el molde de acrílico, presionando para evitar espacios de aire, se colocó encima una placa de acrílico y una pesa de 5 kg durante dos minutos para estandarizar el empaquetado de la masa en el molde. El exceso de masa de la parte superior del

molde se retiró con una espátula de acero inoxidable. Se sacó el cilindro de masa del molde y se colocó dentro de bolsas de polietileno con cierre hermético, donde se dejó reposar a temperatura ambiente durante 15 min para permitir que se relaje después de la manipulación.

Para la prueba de dureza por penetración se utilizó un cono de acero inoxidable de 70°, una velocidad de 2 mm s<sup>-1</sup> y se seleccionó una distancia de penetración de 10.5 mm (alrededor del 30% en relación con la altura de la muestra). La dureza se calculó como la fuerza necesaria para penetrar la máxima distancia establecida. Esta prueba se considera de aplicación práctica ya que puede efectuarse con instrumentos sencillos como un penetrómetro manual y bajo las condiciones que el experimentador considere convenientes, tomando en cuenta las dimensiones de la muestra, siempre y cuando las controle y mantenga constantes.

Para la prueba de perfil de textura de masa el dispositivo utilizado fue una placa de acero inoxidable de 7 cm de diámetro lubricada con aceite vegetal, con la finalidad de evitar el efecto de la adherencia de la muestra al dispositivo. Las muestras se sometieron a dos ciclos de compresión con una deformación relativa aparente (DRA) de 2, 10, 25 y 40%, con relación a la altura original, con una velocidad del cabezal de 1 mm s<sup>-1</sup> teniendo un tiempo de espera entre los dos ciclos de 5 s. Considerando que la prueba de perfil de textura está diseñada para evaluar, entre otras propiedades, elasticidad y cohesividad se decidió trabajar con 2% de DRA como nivel más bajo, pues Guo y col., (1999) determinaron que la masa presenta un comportamiento de viscoelasticidad lineal en este nivel de deformación. El nivel más alto de DRA fue 40% y no se utilizaron niveles de deformación mayores que simulen los empleados para la formación de la tortilla pues son tan altos, que disminuyen notablemente la manifestación de las propiedades elásticas y pueden no permitir la distinción entre los diferentes tipos de masa. Puede ser importante utilizar niveles de compresión mayores pero sería más práctico en pruebas de compresión de un solo ciclo como lo han hecho Ramírez-Wong y col. (1993) o Twillman y White (1988).

De la curva fuerza-tiempo (Fig. 1) se calcularon los parámetros que a continuación se definen, de acuerdo con Pons y Fiszman (1996) y Aguilera y Durán (1996).

Cohesividad (C). Se define como la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto. Se calcula como el área total bajo la curva del segundo ciclo de compresión sobre el área total bajo la curva en el primer ciclo (Ec. 1).

$$C = \frac{A_3 + A_4}{A_1 + A_2} \quad (1)$$

Resiliencia (R). Se define como la capacidad de un cuerpo de almacenar energía elásticamente. Se

calcula con el área bajo la curva en la descompresión del primer ciclo sobre el área bajo la curva en la compresión del mismo (Ec. 2).

$$R = \frac{A_2}{A_1} \quad (2)$$

Índice de recuperación elástica instantánea (IREI): Es un índice de las características elásticas ideales de un material (recuperación instantánea) en relación con la distancia comprimida. Se calcula como la distancia recuperada por la muestra durante la descompresión del primer ciclo sobre la distancia comprimida (Ec. 3).

$$IREI = \frac{d_2}{d_1} \quad (3)$$

Índice de recuperación elástica total (IRET). Es un índice de la recuperación elástica total de material, incluyendo la recuperación elástica ideal o instantánea y la recuperación retardada por el comportamiento viscoso. Se calcula como la distancia recuperada por la muestra en el tiempo transcurrido desde el término de la compresión en el primer ciclo y el inicio del segundo en relación con la distancia comprimida (Ec. 4).

$$IRET = \frac{d_3}{d_1} \quad (4)$$

Dureza (D). Se define como la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada y se calcula como la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión.

Índice de recuperación elástica retardada. (IRER). Considerando que la masa es un material viscoelástico, como la mayor parte de los alimentos, se calculó el índice de recuperación elástica retardada. Este parámetro refleja la recuperación elástica debida al comportamiento viscoso del material. Se calcula restando el índice de recuperación elástica instantánea del índice de recuperación elástica total (Ec. 5).

$$IRER = IRET - IREI \quad (5)$$

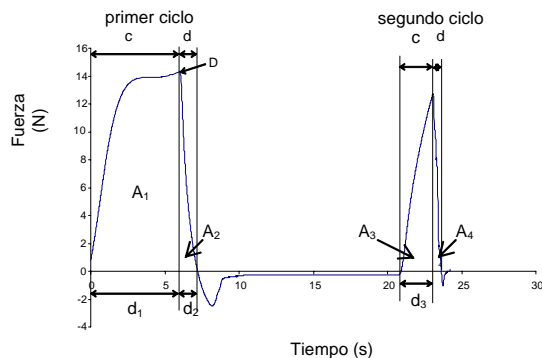


Fig. 1. Curva modelo de perfil de textura con 25% de DRA. c: compresión, d: descompresión.

Para la prueba de adhesividad la muestra se preparó como a continuación se describe: Se utilizó un molde de acrílico con forma de prisma

rectangular con lados de 9.24 y 10.66 cm y altura de 9.5 cm, con un hueco central de 7.55 cm de diámetro. Esta placa descansa sobre una base de 11.9 cm de lado y 9.5 mm de altura, que tiene unos espaciadores longitudinales en dos de sus lados de 5.14 mm de altura. En el centro de la base se colocaron 180 g de masa. El molde de acrílico se introdujo sobre la masa aplicando presión manualmente hasta que el exceso de masa fluyó a través del orificio superior. Con una espátula se retiró el exceso de masa a manera de dejar una superficie fresca y se colocó todo el dispositivo (base, masa y placa con orificio) en la base del texturómetro para efectuar inmediatamente la prueba con las siguientes condiciones. El equipo se programó en la opción de adhesividad; un cilindro de acrílico de 2 pulgadas de diámetro hizo contacto con la muestra con una fuerza de 5 g a una velocidad de 5 mm s<sup>-1</sup> y se aplicó una fuerza de compresión 700 g durante 5 s, con el fin de que la masa se adhiriera a la superficie del dispositivo; inmediatamente después el dispositivo se retiró con una velocidad de 5 mm s<sup>-1</sup> hasta una distancia de 5 mm, despegándose de la superficie de la masa. Se obtuvo una curva fuerza-tiempo (Fig. 2) en la que se observan dos zonas: la correspondiente a la compresión de la masa y la de descompresión o retirada del dispositivo en la que se manifiestan las propiedades adhesivas del material. La parte de la descompresión o retirada se amplió en la Fig. 2, para mostrar la forma en que se calcularon las siguientes propiedades:

Fuerza adhesiva (Fa): representa la fuerza necesaria para la separación del dispositivo de la masa y se calculó como la fuerza máxima.

Adhesividad (Ad): área bajo la curva desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza llega a cero o se hace constante y representa el trabajo necesario para que el dispositivo se despegue totalmente de la masa.

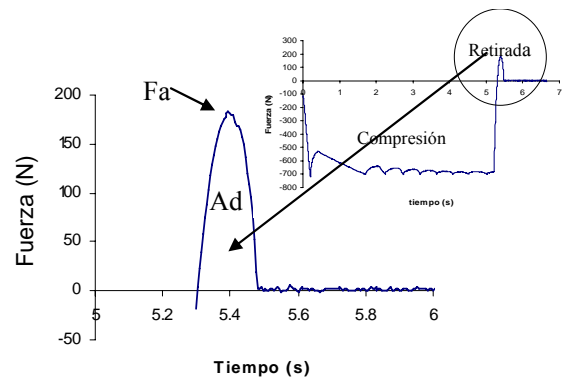


Fig. 2. Curva modelo de adhesividad.

#### 2.4. Pruebas texturales en tortilla

Se utilizó un texturómetro Texture Analyser®, modelo TA XT2 con celda de carga de 25 kg, realizándose las pruebas de rollabilidad y

extensibilidad en dos dimensiones, con base en los métodos descritos por Almeida y Rooney (1997) y Suhendro y col. (1998). Las pruebas fueron efectuadas a  $25 \pm 2$  °C.

Para la prueba de rollabilidad se utilizó el dispositivo del mismo nombre que consta de una base sobre la cual descansa un rodillo giratorio en el que se fija la tortilla por medio de unas pinzas. El cilindro se une al brazo móvil del texturómetro por medio de un hilo. Al subir el brazo del texturómetro, hace girar el rodillo lo que ocasiona que la tortilla sujeta a éste se enrolle. Antes de efectuar la prueba se coloca el dispositivo sobre la plataforma del texturómetro y el hilo se sujeta al brazo móvil del mismo con un aditamento para este fin. El brazo móvil se calibra con la base de manera que estén separados 160 mm con lo que el hilo queda tenso y las pinzas que sujetan la tortilla al rodillo quedan hacia arriba. El texturómetro se opera bajo el modo de tensión. Se sujeta la tortilla con las pinzas y el brazo sube a una velocidad de  $3 \text{ mm s}^{-1}$  una distancia de 50 mm enrollando la tortilla sobre el rodillo. Se despliega una curva fuerza-tiempo de la cual se calcula la fuerza máxima de rollabilidad. La prueba de rollabilidad se efectuó en las tortillas recién elaboradas una vez que alcanzaron la temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) y después de 24 h de almacenamiento a la misma temperatura.

La prueba de extensibilidad en dos dimensiones consistió en lo siguiente. El dispositivo de extensibilidad consta de una base de acero inoxidable de 9.0 cm de altura y 10.0 cm de lado. En la parte superior tiene un orificio circular de 6.0 cm de diámetro y unos tornillos en las esquinas sobre los cuales se insertó la tortilla de manera que quedara tensa. Se colocó sobre ella un marco que tiene también un orificio de 6 cm de diámetro y se fijó a los tornillos por medio de unas turcas para mantener la tortilla sin movimiento. De esta forma quedó expuesta para la prueba la parte central de la tortilla fija y tensa. El texturómetro se operó en el modo de compresión y un cilindro de acrílico de 18 mm de diámetro comprimió hasta una distancia de 20 mm a una velocidad de  $1.7 \text{ mm s}^{-1}$ . Durante su recorrido, el cilindro extendió la tortilla hasta su ruptura. Se obtuvo una curva fuerza-distancia que presenta un pico que corresponde a la fuerza y distancia en que la tortilla se rompió y se reportan como fuerza de extensibilidad y distancia de extensibilidad respectivamente; se calculó también la extensibilidad como el inverso de la pendiente inicial de la curva.

### 2.5. Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por quintuplicado. Para la prueba de perfil de textura en masa se efectuó: a) un análisis de varianza de dos vías, teniendo como variables independientes la cantidad de HMN agregada y el nivel de compresión y b) un análisis de varianza de una vía para las

pruebas efectuadas con 2 y 40% de DRA teniendo como variable independiente la cantidad de HMN agregada. Para las pruebas de penetración y adhesividad de masa, y extensibilidad y rollabilidad en tortilla se efectuó un análisis de varianza de una vía teniendo como variable independiente la cantidad de HMN agregada. Cuando hubo diferencias significativas con un nivel de  $\alpha=0.05$  se aplicó la prueba de Tuckey para determinar los niveles de concentración de HMN, o DRA que las ocasionaron.

## 3. Resultados y discusiones.

### 3.1. Perfil de textura de masa

En las Figs. 3a y 3b, se muestran las curvas de perfil de textura con 2 y 40% de DRA respectivamente para las masas con diferente concentración de HMN. Puede notarse que con 2% de DRA, la fuerza durante la compresión del primer ciclo aumenta en forma continua y guarda prácticamente una relación lineal con el tiempo (y en consecuencia con la DRA), lo cual es congruente con lo observado por Guo y col. (1999) en el sentido de que el límite de la zona de viscoelasticidad lineal de la masa se encuentra a un nivel de 2% de DRA y que nosotros hemos confirmado en otro estudio, aún no publicado, bajo pruebas de relajación. Cuando se aplica 40% de DRA, la forma de las curvas cambia notablemente y se distinguen mejor los diferentes tipos de masa (Fig. 3b). En todas se observa un inicio de ascenso de fuerza lineal al igual que con 2% de DRA; después de la zona lineal, las curvas presentan una parte cóncava, seguida de una convexa, lo que es más evidente en la MHMN y en la que contiene 50% de HMN; en las curvas con 25% de DRA (curvas no mostradas), la zona convexa es muy leve y las de 10% de DRA solamente presentan la zona cóncava. La importancia de las diferencias en la forma de las curvas con 40% de DRA revela que la estructura de las masas estudiadas es diferente. Bourne y Comstock (1981) estudiaron el efecto del grado de compresión (50-93% DRA) en las curvas de perfil de textura de manzana, zanahoria, queso crema, pretzels y salchichas. Las curvas de queso crema (material semisólido como la masa) presentan una forma similar a las curvas de las masas obtenidas en este estudio con 40% de deformación, y muestran una parte inicial lineal, seguida de una parte cóncava y finalmente una convexa. Cuando las curvas son transformadas a curvas de esfuerzo verdadero-deformación relativa verdadera (DRV), su forma cambia después de 3% de DRV en relación con las curvas aparentes (datos no mostrados) y toman diferente apariencia dependiendo de la concentración de HMN. Calzada y Peleg (1978), observaron este comportamiento en varios alimentos, implicando, como ellos mencionan, el dominio de diferentes mecanismos de deformación en función de la estructura del producto.

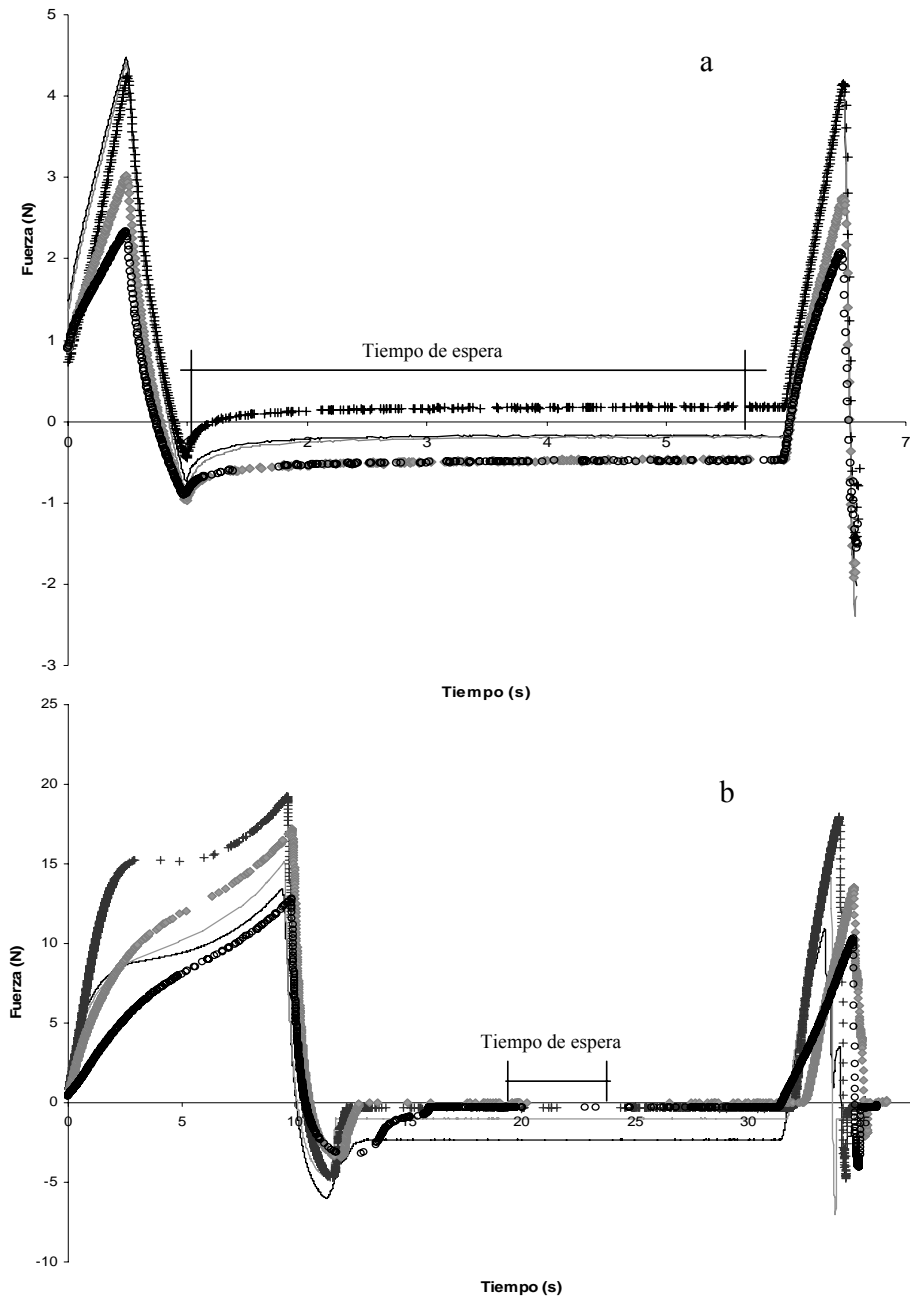


Fig. 3. Curvas de perfil de textura para los diferentes tipos de masa. a: 2% de DRA, b: 40% de DRA. + 100% HMN, ♦10% HMN, — 30% HMN, - - 50% HMN, o MFMN

En la Tabla 1 se muestran los valores promedio y la desviación estándar de las propiedades texturales obtenidas para cada una de las masas a los cuatro niveles de DRA. Solamente en cinco casos el coeficiente de variación fue mayor a 10% y el máximo valor alcanzado fue 17.7%. Puede observarse que independientemente del contenido de HMN, los índices de recuperación elástica instantánea, retardada y total, la resiliencia y la cohesividad disminuyen al incrementarse el nivel de

DRA, lo cual es compatible con lo reportado por Pons y Fiszman (1996) en el sentido de que a bajos niveles de deformación (menores a la deformación de ruptura), se pueden apreciar mejor las propiedades relacionadas con la elasticidad del material y recomiendan efectuar pruebas a diferentes niveles de deformación con el propósito de obtener toda la información posible acerca del comportamiento mecánico de un material.

Tabla 1. Propiedades texturales de masa bajo la prueba de perfil de textura a diferentes niveles de DRA.

HMN (%)	DRA (%)	Índice de recuperación elástica			Resiliencia (-)	Cohesividad (-)	Dureza (N)
		Total (-)	Instantánea (-)	Retardada (-)			
0 (MFMN)	2	<b>0.909<sup>a</sup></b> ±0.006	<b>0.511<sup>a</sup></b> ±0.018	<b>0.398<sup>a</sup></b> ±0.019	<b>0.319<sup>a</sup></b> ±0.006	<b>0.574<sup>a</sup></b> ±0.049	<b>2.649<sup>a</sup></b> ±0.090
	10	<b>0.880</b> ±0.018	<b>0.297</b> ±0.010	<b>0.582</b> ±0.017	<b>0.174</b> ±0.007	<b>0.587</b> ±0.030	<b>5.533</b> ±0.030
	25	<b>0.258</b> ±0.007	<b>0.066</b> ±0.008	<b>0.193</b> ±0.002	<b>0.057</b> ±0.003	<b>0.266</b> ±0.009	<b>10.149</b> ±0.385
	40	<sup>b</sup> <b>0.365</b> ±0.012	<sup>ab</sup> <b>0.075</b> ±0.012	<sup>c</sup> <b>0.290</b> ±0.016	<sup>a</sup> <b>0.034</b> ±0.003	<sup>b</sup> <b>0.192</b> ±0.008	<sup>c</sup> <b>14.507</b> ±0.754
10	2	<b>0.903<sup>a</sup></b> ±0.008	<b>0.549<sup>a</sup></b> ±0.003	<b>0.354<sup>a</sup></b> ±0.009	<b>0.364<sup>b</sup></b> ±0.025	<b>0.579<sup>a</sup></b> ±0.034	<b>3.030<sup>a</sup></b> ±0.124
	10	<b>0.877</b> ±0.031	<b>0.452</b> ±0.030	<b>0.425</b> ±0.047	<b>0.232</b> ±0.012	<b>0.592</b> ±0.023	<b>7.335</b> ±0.620
	25	<b>0.311</b> ±0.055	<b>0.090</b> ±0.013	<b>0.222</b> ±0.025	<b>0.067</b> ±0.006	<b>0.302</b> ±0.022	<b>11.741</b> ±0.106
	40	<sup>c</sup> <b>0.337</b> ±0.013	<sup>a</sup> <b>0.095</b> ±0.005	<sup>a</sup> <b>0.242</b> ±0.018	<sup>a</sup> <b>0.036</b> ±0.001	<sup>a</sup> <b>0.167</b> ±0.010	<sup>a</sup> <b>16.625</b> ±0.932
30	2	<b>0.957<sup>b</sup></b> ±0.017	<b>0.710<sup>b</sup></b> ±0.039	<b>0.247<sup>b</sup></b> ±0.003	<b>0.457<sup>c</sup></b> ±0.014	<b>0.586<sup>a</sup></b> ±0.029	<b>4.529<sup>b</sup></b> ±0.225
	10	<b>0.852</b> ±0.042	<b>0.346</b> ±0.061	<b>0.507</b> ±0.021	<b>0.170</b> ±0.028	<b>0.491</b> ±0.045	<b>9.195</b> ±0.566
	25	<b>0.340</b> ±0.018	<b>0.090</b> ±0.015	<b>0.250</b> ±0.026	<b>0.047</b> ±0.007	<b>0.218</b> ±0.016	<b>10.830</b> ±0.689
	40	<sup>a</sup> <b>0.236</b> ±0.009	<sup>b</sup> <b>0.049</b> ±0.002	<sup>b</sup> <b>0.187</b> ±0.011	<sup>b</sup> <b>0.027</b> ±0.001	<sup>a</sup> <b>0.152</b> ±0.008	<sup>c</sup> <b>13.928</b> ±0.342
50	2	<b>0.978<sup>bc</sup></b> ±0.019	<b>0.781<sup>b</sup></b> ±0.037	<b>0.197<sup>b</sup></b> ±0.019	<b>0.512<sup>d</sup></b> ±0.008	<b>0.585<sup>a</sup></b> ±0.007	<b>4.363<sup>b</sup></b> ±0.002
	10	<b>0.768</b> ±0.020	<b>0.265</b> ±0.005	<b>0.503</b> ±0.024	<b>0.137</b> ±0.004	<b>0.425</b> ±0.005	<b>8.045</b> ±0.148
	25	<b>0.322</b> ±0.008	<b>0.093</b> ±0.004	<b>0.229</b> ±0.005	<b>0.046</b> ±0.001	<b>0.203</b> ±0.001	<b>9.860</b> ±0.518
	40	<sup>a</sup> <b>0.232</b> ±0.004	<sup>b</sup> <b>0.055</b> ±0.003	<sup>b</sup> <b>0.178</b> ±0.002	<sup>b</sup> <b>0.027</b> ±0.001	<sup>a</sup> <b>0.147</b> ±0.004	<sup>c</sup> <b>13.348</b> ±0.940
100 (MHMN)	2	<b>0.998<sup>c</sup></b> ±0.003	<b>0.825<sup>c</sup></b> ±0.059	<b>0.173<sup>b</sup></b> ±0.030	<b>0.608<sup>e</sup></b> ±0.017	<b>0.671<sup>b</sup></b> ±0.012	<b>4.493<sup>b</sup></b> ±0.330
	10	<b>0.935</b> ±0.018	<b>0.651</b> ±0.027	<b>0.283</b> ±0.010	<b>0.361</b> ±0.033	<b>0.537</b> ±0.007	<b>12.349</b> ±1.770
	25	<b>0.399</b> ±0.033	<b>0.188</b> ±0.010	<b>0.211</b> ±0.030	<b>0.080</b> ±0.003	<b>0.263</b> ±0.011	<b>14.488</b> ±0.766
	40	<sup>b</sup> <b>0.392</b> ±0.016	<sup>c</sup> <b>0.147</b> ±0.019	<sup>a</sup> <b>0.243</b> ±0.006	<sup>a</sup> <b>0.038</b> ±0.001	<sup>a</sup> <b>0.159</b> ±0.006	<sup>b</sup> <b>19.302</b> ±0.465

Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tuckey con un valor de  $\alpha = 0.05$ . Se presentan los resultados del análisis de varianza de una vía para los diferentes tipos de masa con 2% de DRA (superíndices a la derecha del valor) y 40% de DRA, efectuados de manera independiente (superíndices a la izquierda del valor).

En la Tabla 2 se muestran los promedios de las propiedades texturales evaluadas por tipo de masa (incluyendo todos los niveles de DRA) y por DRA (incluyendo todos los tipos de masa), con la finalidad de visualizar el impacto global de las dos variables y el resultado del análisis de varianza de dos vías. Puede observarse que la DRA tiene un mayor efecto que la adición de HMN. Cuando hay igualdad estadística, ésta se encuentra entre los niveles de 2 y 10% de DRA (para el índice de recuperación elástica total y la cohesividad) así como entre 25% y 40% de DRA (para la resiliencia, cohesividad e índices de elasticidad instantánea, retardada y total); solo en el caso de la dureza se presenta diferencia estadística en todos los niveles de DRA. Con respecto a los tipos de masa se obtuvieron los resultados que a continuación se describen. La MHMN muestra mayor elasticidad instantánea, resiliencia y dureza comparada con la MFMN. La adición de 10 y 30% de HMN no produjo ningún cambio en las propiedades evaluadas y las masas son iguales tanto a la MFMN como a la de MHMN. La masa con 50% de HMN presenta menor elasticidad total y dureza que la MHMN y es igual a las otras mezclas y a la

MFMN (exceptuando en dureza, para la que solo es igual a la MFMN).

El hecho de que el análisis de varianza de dos vías solo haya mostrado diferencias entre la MFMN y la MHMN, y entre la de 50% de HMN con la MFMN en una sola propiedad textural, puede deberse a que el fuerte impacto de la DRA enmascaró el efecto de la adición de HMN y puede llevarnos a concluir que ésta no influye en las propiedades texturales de la MFMN, lo cual se contraponen con la importancia de las diferencias en las curvas de perfil de textura de los diferentes tipos de masa y con los resultados de las propiedades cuando estas se analiza en forma independiente para cada nivel de DRA. Debido a lo antes mencionado, se decidió efectuar un análisis de varianza para cada uno de los valores extremos de DRA utilizados, teniendo como variable independiente el tipo de masa. En la Tabla 1 se presentan los resultados de la prueba de Tuckey para 2 y 40% de DRA, identificando con superíndices iguales las propiedades que no presentan diferencia significativa por efecto de la concentración de HMN adicionada. Con 2% de DRA, el análisis de varianza de una vía demostró que la MHMN es más dura, cohesiva y



resiliente y tiene un índice de recuperación elástica instantánea mayor comparada con la MFMN. Lo antes mencionado indica que en el proceso de deformación de la MHMN a bajos niveles de DRA, el dominio del comportamiento elástico sobre el viscoso es más importante que en la MFMN. Esto se puede atribuir a que, como mencionan Gomez y col. (1991), el rápido secado de la masa durante la elaboración del HMN proporciona una mayor gelatinización y reorientación de los polímeros de almidón, que durante el almacenamiento y rehidratación proporcionan núcleos para mayor recristalización o retrogradación. Con 2% de DRA, la adición de 10% de HMN, incrementa la resiliencia; con 30% de HMN, la elasticidad instantánea y total, resiliencia y dureza aumentan y la elasticidad retardada disminuye; la cohesividad no presenta cambio significativo por la adición de HMN.

Con 40% de DRA, la MHMN sigue presentando mayor dureza e índice de recuperación elástica instantánea comparada con la MFMN, pero ahora exhibe menor cohesividad y no difieren en su resiliencia. Gomez y col. (1991) comentan que la MHMN es menos cohesiva que la MFMN, pero no aclaran bajo qué tipo de prueba y condiciones fue evaluada. En este caso resultó así, solamente al nivel más alto de compresión, que tiene más relación con la manera en la que en los molinos tradicionales se evalúa empíricamente la cohesividad. Al aumentar la DRA a 40%, los cambios en las propiedades texturales por efecto de la adición de HMN, siguen un patrón diferente que el descrito para 2% de DRA. Comparando con la MFMN, la adición de 10% de HMN disminuye la elasticidad retardada y la cohesividad e incrementa la dureza; con 30% de HMN disminuyen la cohesividad, dureza, elasticidad

total, retardada y resiliencia, las tres últimas inclusive a valores inferiores que los de la MHMN. El incremento de 30 a 50% de HMN no produce cambios significativos en ninguna de las propiedades. Ramírez-Wong y col. (1993, 1994) efectuaron pruebas de compresión (un solo ciclo) en masa fresca de maíz nixtamalizado (discos de masa de 6 mm de altura y 31 mm de diámetro, placa de 6.9 cm de diámetro y 66.6% de DRA) y encontraron diferencias significativas en la dureza por efecto del tamaño de partícula, el contenido de humedad y el tiempo de cocción.

### 3.2. Dureza en masa por penetración

En la Tabla 3 se muestran los valores para la dureza de masa obtenida por penetración con cono. Se puede observar que la MFMN fue la menos dura y que la adición de 10% de HMN a la MFMN aumentó la dureza de manera significativa, mientras que la incorporación de 30 y 50% no produjo cambios importantes. La MHMN presentó la mayor dureza y fue estadísticamente diferente a las demás masas.

### 3.3. Prueba de adhesividad en masa.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la prueba de adhesividad en masa. La MFMN presenta mayor fuerza adhesiva que la MHMN y la adición de 10% de HMN no afecta de manera significativa; cuando se agrega 30% y 50% de HMN la fuerza adhesiva disminuye significativamente alcanzando valores estadísticamente iguales a los de la MHMN. La MFMN tiene la mayor adhesividad y la adición de 10% de HMN produce una reducción significativa

Tabla 2. Propiedades texturales de masa. Promedios calculados por tipo de masa y por nivel de DRA.

HMN (%)	Índice de recuperación elástica			Resiliencia (-)	Cohesividad (-)	Dureza (N)
	Total (-)	Instantánea (-)	Retardada (-)			
0 (MFMN)	0.603 <sup>ab</sup>	0.237 <sup>a</sup>	0.366 <sup>a</sup>	0.146 <sup>a</sup>	0.405 <sup>a</sup>	8.210 <sup>a</sup>
10	0.607 <sup>ab</sup>	0.296 <sup>ab</sup>	0.311 <sup>a</sup>	0.175 <sup>ab</sup>	0.410 <sup>a</sup>	9.683 <sup>a</sup>
30	0.596 <sup>ab</sup>	0.298 <sup>ab</sup>	0.298 <sup>a</sup>	0.175 <sup>ab</sup>	0.362 <sup>a</sup>	9.621 <sup>a</sup>
50	0.575 <sup>a</sup>	0.299 <sup>ab</sup>	0.277 <sup>a</sup>	0.181 <sup>ab</sup>	0.340 <sup>a</sup>	8.904 <sup>a</sup>
100 (MHMN)	0.681 <sup>b</sup>	0.453 <sup>b</sup>	0.228 <sup>a</sup>	0.272 <sup>b</sup>	0.408 <sup>a</sup>	12.658 <sup>b</sup>
DRA (%)	Índice de recuperación elástica			Resiliencia (-)	Cohesividad (-)	Dureza (N)
	Total (-)	Instantánea (-)	Retardada (-)			
2	0.949 <sup>a</sup>	0.675 <sup>b</sup>	0.274 <sup>a</sup>	0.452 <sup>a</sup>	0.599 <sup>a</sup>	3.813 <sup>a</sup>
10	0.862 <sup>a</sup>	0.402 <sup>c</sup>	0.460 <sup>b</sup>	0.215 <sup>b</sup>	0.526 <sup>a</sup>	8.492 <sup>b</sup>
25	0.326 <sup>b</sup>	0.105 <sup>a</sup>	0.221 <sup>a</sup>	0.059 <sup>c</sup>	0.250 <sup>b</sup>	11.413 <sup>c</sup>
40	0.313 <sup>b</sup>	0.084 <sup>a</sup>	0.229 <sup>a</sup>	0.032 <sup>c</sup>	0.163 <sup>b</sup>	15.542 <sup>d</sup>

Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tuckey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .

llevándola a niveles estadísticamente iguales que los de la MHMN; el aumento de HMN hasta 30% disminuye la adhesividad por debajo del valor de la MHMN y con 50% se incrementa nuevamente, sin alcanzar el valor de la MFMN, lo cual puede atribuirse a que el menor tamaño de partícula de la HMN, permitió una mejor hidratación al momento de ajustar el contenido de humedad. Ramírez-Wong y col., (1994) encontraron que la adhesividad aumenta al incrementarse el nivel de humedad y tiempo de cocción y al disminuir el tamaño de partícula.

Tabla 3. Propiedades texturales de masa bajo las pruebas de penetración y adhesividad

HMN (%)	Dureza penetración (N)	Fuerza adhesiva (N)	Adhesividad (N s)
0 (MFMN)	<b>1.845<sup>c</sup></b> ±0.032	<b>2.584<sup>a</sup></b> ±0.173	<b>0.502<sup>c</sup></b> ±0.040
10	<b>2.283<sup>ab</sup></b> ±0.026	<b>2.395<sup>a</sup></b> ±0.136	<b>0.246<sup>a</sup></b> ±0.015
30	<b>2.466<sup>a</sup></b> ±0.158	<b>1.866<sup>b</sup></b> ±0.025	<b>0.088<sup>d</sup></b> ±0.015
50	<b>2.155<sup>b</sup></b> ±0.124	<b>1.965<sup>b</sup></b> ±0.110	<b>0.173<sup>b</sup></b> ±0.022
100 (MHMN)	<b>2.863<sup>d</sup></b> ±0.006	<b>2.005<sup>b</sup></b> ±0.195	<b>0.248<sup>a</sup></b> ±0.027

Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tuckey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .

### 3.4. Extensibilidad en tortilla

En la Tabla 4 se muestran los resultados de las pruebas de extensibilidad y rollabilidad de tortilla. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en la extensibilidad. Con respecto a la fuerza y distancia de extensibilidad, las tortillas con 50% de HMN presentan menor fuerza extensiva y

distancia de extensibilidad que las de MFMH y las que contienen 10% de HMN, pero son iguales a las elaboradas con MHMN y con 30% de HMN. Estudios realizados por Almeida y Rooney (1997) en diferentes marcas comerciales de tortillas de maíz, mostraron valores de fuerza de ruptura en pruebas de extensibilidad entre 8 y 12 N y distancias de ruptura en el rango de 8 a 10 mm. Esta prueba permitió distinguir algunas marcas por la fuerza y otras por la distancia. Las tortillas del presente estudio presentan menores fuerzas y mayores distancias de ruptura, indicando que son más suaves y se extienden más antes de romperse. Suhendro y col. (1995), estudiaron el efecto de la adición de malta y carboximetilcelulosa a tortillas de HMN y encontraron que la prueba no permitió distinguir estadísticamente entre las tortillas testigo y las que tuvieron aditivos en función de la extensibilidad (pendiente de la curva) y la fuerza de ruptura, aún después de 10 días de almacenamiento. En este estudio, los valores de pendiente fueron de 0.4 a 1.4 mm N<sup>-1</sup> y las fuerza de ruptura de 3 a 7 N. Rojas (2001) estudió el efecto de la congelación de la masa y las tortillas de HMN y la adición de una mezcla de gomas (hidroxopropilmetilcelulosa y metilcelulosa) y encontró que la prueba de extensibilidad permitió detectar diferencias significativas en las tortillas.

### 3.5. Rollabilidad en tortilla

En las tortillas sin reposo, evaluadas una vez que alcanzaron la temperatura ambiente (25±2 °C), la prueba de Tuckey no demostró diferencias significativas entre los valores de fuerza de rollabilidad. Después de 24 h de reposo, en todas las muestras aumentó la fuerza de rollabilidad, pero tampoco se demostró que existieran diferencias significativas entre las mismas (Tabla 4). El hecho de

Tabla 4. Propiedades texturales de tortilla bajo las pruebas de extensibilidad en dos dimensiones y rollabilidad

HMN (%)	Extensibilidad (mm N <sup>-1</sup> )	Fuerza extensiva (N)	Distancia extensibilidad (mm)	Fuerza de rollabilidad (N)	
				Sin reposo	1 día de reposo
0 (MFMN)	<b>2.780<sup>a</sup></b> ±0.456	<b>5.819<sup>a</sup></b> ±0.274	<b>16.253<sup>a</sup></b> ±2.367	<b>0.120<sup>a</sup></b> ±0.020	<b>0.536<sup>a</sup></b> ±0.008
10	<b>2.362<sup>a</sup></b> ±0.105	<b>6.583<sup>a</sup></b> ±0.548	<b>15.443<sup>a</sup></b> ±0.452	<b>0.144<sup>a</sup></b> ±0.003	<b>0.456<sup>a</sup></b> ±0.054
30	<b>2.309<sup>a</sup></b> ±0.117	<b>5.370<sup>ab</sup></b> ±0.051	<b>12.821<sup>ab</sup></b> ±0.483	<b>0.106<sup>a</sup></b> ±0.018	<b>0.436<sup>a</sup></b> ±0.016
50	<b>2.645<sup>a</sup></b> ±0.019	<b>4.431<sup>b</sup></b> ±0.275	<b>10.981<sup>b</sup></b> ±0.907	<b>0.118<sup>a</sup></b> ±0.007	<b>0.470<sup>a</sup></b> ±0.014
100 (MHMN)	<b>2.496<sup>a</sup></b> ±0.106	<b>5.033<sup>ab</sup></b> ±0.432	<b>12.999<sup>ab</sup></b> ±0.337	<b>0.103<sup>a</sup></b> ±0.002	<b>0.445<sup>a</sup></b> ±0.001

Los valores con el mismo superíndice para una misma columna, resultaron estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tuckey con un valor de  $\alpha = 0.05$ .

que la prueba de rollabilidad no permitió distinguir entre las tortillas de MFMN y MHMN ni el efecto de la adición de HMN, puede atribuirse a que las diferencias se manifiestan con mayor tiempo de almacenamiento. Si bien varios autores mencionan que las tortillas de HMN se endurecen más rápidamente (lo cual se reflejaría en mayor fuerza de rollabilidad y menor extensibilidad), en nuestro caso no fue evidente. Suhendro y col. (1995), encontraron que la fuerza y el trabajo de rollabilidad aumentan con el almacenamiento y que la prueba empieza a detectar diferencias como efecto de la adición de CMC y malta, después de 24 horas de almacenamiento. Suhendro y col. (1998), también utilizaron la prueba de rollabilidad para diferenciar tortillas comerciales con diferentes características de peso, diámetro, espesor, humedad y pH debidas a condiciones de proceso, formulación y tiempos de almacenamiento y encontraron que la prueba de rollabilidad fue muy sensible para detectar cambios en las tortillas comerciales. Para tortillas elaboradas en planta piloto bajo la misma formulación, encontraron coeficientes de variación de alrededor de 24%, lo que atribuyeron a que la prueba es muy sensible a la variabilidad de las tortillas elaboradas bajo estas condiciones. Cuando controlaron el espesor de la tortilla, encontraron que después de un día de almacenamiento, la prueba permitió detectar que las tortillas más gruesas presentan mayor fuerza y trabajo de rollabilidad. En el presente estudio, los coeficientes de variación de la fuerza de rollabilidad se encuentran entre 0.13 y 17%, observándose mayores coeficientes en las tortillas recién elaboradas y menores en las tortillas con un día de almacenamiento. A partir de lo antes citado concluimos que la prueba de rollabilidad no detectó diferencias significativas por efecto de la adición de HMN a la masa fresca debido a que se utilizó la misma formulación, contenido de humedad y las pruebas se efectuaron en las tortillas recién hechas y con un día de almacenamiento, por lo que se recomienda realizar el estudio a mayores tiempos.

### Conclusiones

El nivel de DRA influye de manera importante en la manifestación de las propiedades texturales de la masa, lo que se hizo evidente en la forma de las curvas de perfil de textura y en las propiedades texturales evaluadas. El análisis factorial y la prueba de Tuckey, solo encontraron que la MHMN es más dura y resiliente y presenta mayor recuperación elástica instantánea comparada con la MFMN, mientras que las demás masas son iguales. El patrón de cambio de las propiedades texturales de la masa por efecto de la concentración de HMN adicionada, es influenciado por el nivel de DRA. Cuando se evalúa a niveles bajos de DRA, la adición de hasta 30% de HMN a la MFMN imparte mayor dureza, resiliencia y elasticidad (instantánea y total),

mientras que con niveles altos de DRA esta mezcla exhibe menor cohesividad, resiliencia y elasticidad total. La incorporación de 30% de HMN a la MFMN disminuye su fuerza adhesiva a valores iguales a la MHMN y la adhesividad a niveles aún más bajos.

Los cambios en las propiedades texturales de la masa por efecto de la incorporación de HMN no tuvieron impacto en las propiedades texturales evaluadas en las tortillas, ya que la prueba de rollabilidad no arrojó diferencias significativas ni entre la MFMN y la MHMN, ni por efecto de la adición de HMN aún después de 24 h de reposo. Esto se puede atribuir a que el corto tiempo de almacenamiento empleado no dio lugar a la retrogradación del almidón, y/o a que el ajuste de humedad de la masa para la elaboración de la tortilla permitió una buena rehidratación, minimizando la recristalización. Se sugiere efectuar pruebas en las tortillas a mayores tiempos de almacenamiento y explorar otras pruebas como extensibilidad en una dimensión, doblado y corte con la finalidad de determinar si son más sensibles para detectar cambios en la textura de las tortillas por efecto de la adición de HMN.

### Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Empresarial de la Industria del Maíz y sus Derivados y al propietario y personal del Molino San Marcos, por el apoyo otorgado para el desarrollo del trabajo.

### Referencias

- Aguilera, J.M. y Durán L., Eds., (1996). Glosario de términos reológicos para alimentos en español y portugués, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Red Iberoamericana de Propiedades Físicas de Alimentos para el Desarrollo Industrial, Valencia.
- Almeida-Dominguez, H.D. y Rooney, L.W. (1997). Techniques for measuring the texture of alkaline cooked corn products: nixtamal, masa, tortilla, tortilla chips and taco shells, Cereal Quality Laboratory, Soil and Crops Sciences Department, Texas A&M University.
- Bourne, M., y Comstock, H. (1981). Effect of degree of compression on texture profile parameters, *J. Texture Stud.* 12, 201-216.
- Calzada, J.F. y Peleg, M. (1978). Mechanical interpretation of compressive stress strain relationships of solid foods. *Journal of Food Science* 43, 1087-1092.
- Gomez, M.H., Lee, J.K., McDonough, C.M., Waniska, R.D. y Rooney, L.W. (1992). Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chemistry* 69(3), 275-279.

- Gomez, M.H., McDonough, C.M. Rooney, L.W y Waniska, R.D. (1989). Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *Journal of Food Science* 54, 330-336.
- Gomez, M.H., Rooney, L.W. y Waniska, R.D. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32(5), 372-377.
- Gomez, M.H., Waniska, R.D. y Rooney, L.W. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chemistry*. 68(6), 578-582.
- Guo, Z., Castell-Perez, M.E., y Moreira, R. G. (1999). Characterization of masa and low-moisture corn tortilla using stress relaxation methods. *Journal of Texture Studies* 30, 197-215.
- Pons, M., y Fiszman, S.M. (1996). Instrumental texture profile analysis with particular preference to gelled systems. *Journal of Texture Studies* 27, 597-624.
- Ramírez-Wong, B., Sweat, V.E., Torres P.I., y Rooney, L.W. (1993). Development of two instrumental methods for corn masa texture evaluation. *American Association of Cereal Chemistry* 70(3), 286-290.
- Ramírez-Wong, B., Sweat, V.E., Torres P.I., y Rooney, L.W. (1994). Cooking time, grinding, and moisture content effect on fresh corn masa texture. *Cereal Chemistry* 71(4), 337-343.
- Rojas-Martínez, A. (2001). Evaluación del efecto de la congelación por aire en las propiedades texturales de masa y tortilla elaborada con harina de maíz nixtamalizado. Tesis de licenciatura, Departamento de Ingeniería y Tecnología, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rosentrater, K.A., Richard, T.L., Bern, C.J., y Flores, R.A. (2005). Small-scale extrusion of corn masa by-products. *American Association of Cereal Chemistry* 82(4), 436-446.
- Suhendro, E.L., Almeida-Dominguez, H.D., Rooney, L.W., y Waniska, R.D. (1995). Evaluation of functionality of hydrocolloids, bran, and enzymes for improvement of corn tortilla texture, *Annual Meeting of the American Association of Cereal Chemists*.
- Suhendro, E.L., Almeida-Dominguez, H.D., Rooney, L.W., y Waniska, R.D. (1998). Objective rollability method for corn tortilla texture measurement, *American Association of Cereal Chemistry* 75(3), 320-324.
- Torres, F., Moreno, E., Chong, I. y Quintanilla, J. ed. (1996). La Industria de la masa y la tortilla. Desarrollo y tecnología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, 11-13.
- Twillman, T. J. y White, P. J. (1998). Influence of monoglycerides on the textural shelf life and dough rheology of corn tortillas, *Cereal Chemistry* 65(3), 253-257.