



Efecto de hidrocoloides en las propiedades de pan recalentado en horno de microondas

G. Pérez-García*, F. Vergara-Balderas y M. E. Bárcenas-Pozos

Departamento de Ingeniería Química y Alimentos, Fundación Universidad de las Américas Puebla. Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, Cholula, Puebla. CP 72820. México.

Resumen

El recalentamiento del pan en horno de microondas en la actualidad es muy utilizado, sin embargo da lugar a un producto húmedo y demasiado blando, por lo cual en esta investigación se estudió el efecto de la adición de pectina o hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) en dos concentraciones (0.1 ó 0.5% p/p) en la textura evaluada sensorialmente y en otras propiedades medidas de manera objetiva (dureza y humedad) de pan recalentado en horno de microondas. El pan fue almacenado sin empaque y sobre un soporte perforado; fue analizado a temperatura ambiente a las 0, 24 y 48 horas de almacenamiento, tanto recalentado como sin recalentar; además se evaluó un pan testigo. Aunque los resultados obtenidos en la medición de la dureza mostraron que éste disminuye como consecuencia del recalentamiento, las calificaciones obtenidas durante la evaluación sensorial para la textura del pan recalentado no fueron significativamente diferentes ($p < 0.05$) con respecto a las de los panes que no fueron recalentados. Se concluyó que los jueces no identificaron diferencias en la textura del pan recalentado en horno de microondas, adicionadas con hidrocoloides.

Palabras clave: pan recalentado, microondas, hidroxipropilmetilcelulosa, pectina, evaluación sensorial, dureza.

Abstract

Nowadays, reheating of bread by microwave oven is widely used; however, it results in a product with a higher level of moisture and softness. Therefore, in this investigation the effect of pectin or hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) at two levels (0.1 or 0.5% w/w) on the texture through sensory evaluation, and other properties measured in an objective way (hardness and moisture) of bread reheated by microwave were evaluated. The bread, reheated or not, was stored at room temperature, without packaging over a perforated support and analyzed after 0, 24 and 48 hours of storage; besides, a reference sample was also evaluated. Although the results of the hardness measurement showed that it decreases as a result of reheating, the scores obtained during the sensory evaluation for texture of reheated bread were not significantly different ($p < 0.05$) respect to the breads that were not reheated. It was concluded that judges did not identify the differences in texture of reheated bread by microwave added with hydrocolloids.

Keywords: reheated bread, microwave, hydroxypropylmethycellulose, pectin, sensory analysis, hardness.

*Programa de Maestría en Ciencias de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: gabriela.perezg@udlap.mx

Introducción

El pan de sal posee una vida útil corta, que se atribuye al fenómeno de envejecimiento, el cual implica la presencia de todos los procesos que ocurren durante el almacenamiento del pan, exceptuando los cambios y deterioro provocados por microorganismos. Las principales características del pan envejecido son el cambio de sabor, la pérdida de aroma, la pérdida de agua y, principalmente, el endurecimiento de la miga y el ablandamiento de la corteza. Estos cambios se presentan poco tiempo después de que el pan ha sido sacado del horno (Matz, 1992; Guarda *et al.*, 2004).

El recalentamiento del pan con horno convencional permite revertir el envejecimiento (Rogers *et al.*, 1990; Eliasson y Larsson, 1993). En la actualidad, el calentamiento en horno de microondas es muy popular en el hogar; sin embargo, los productos de panificación recalentados en horno de microondas por lo regular son considerados de mala calidad, debido a que presentan características indeseables como pérdida de sabor, un recalentado heterogéneo, gomosidad, dificultad para romper la corteza, dificultad para masticar la miga, endurecimiento rápido después del recalentado, entre otras (Rogers *et al.*, 1990; Sumnu, 2001; Mandala y Sotirakoglou, 2005).

Para mejorar la calidad de los productos de panificación recalentados en horno de microondas se han probado diferentes formulaciones, enfocadas principalmente en el efecto del gluten, en el uso de emulsificantes y en la combinación de diferentes ingredientes, incluyendo agentes para la retención de agua (Clarke y Farrel, 2000).

Se ha comprobado que el recalentamiento de pan en horno de microondas causa pérdidas de agua, debido a la ebullición interna generada, la cual favorece el endurecimiento del pan. Sin embargo, Mandala y Sotirakoglou

(2005) encontraron que la inclusión de hidrocoloides en la formulación de pan que luego fue congelado, dio lugar a la obtención de un producto recalentado en horno de microondas de mejor calidad que la del pan que no fue adicionado con estos compuestos.

De la O (2008) y Torres (2008) realizaron estudios sobre el efecto de la adición de hidrocoloides en las propiedades físicas de pan recalentado en horno de microondas. Como resultado de dichos estudios se obtuvo pan en el cual fue posible revertir el endurecimiento al calentar en horno de microondas, sin tener cambios significativos en la humedad y fracturabilidad de la corteza, y sin la textura húmeda y blanda, desagradable, antes mencionada. Sin embargo, no se realizó una evaluación sensorial formal del pan obtenido.

La evaluación sensorial ofrece la oportunidad de obtener información de las propiedades que perciben los sentidos de los humanos. Las pruebas afectivas, conocidas como pruebas hedónicas, se realizan con la finalidad de saber el grado de aceptabilidad o gusto por un producto. En este tipo de prueba, el juez expresa su reacción ante el producto, indicando su nivel de agrado (Wilbur, 1993).

El propósito del presente estudio fue conocer cómo afecta la adición de algunos hidrocoloides (hidroxipropilmetilcelulosa y pectina) a la calificación otorgada a la textura evaluada sensorialmente de pan recalentado en horno de microondas, así como a la dureza y la humedad de este mismo producto, con la finalidad de establecer su grado de aceptación y calidad.

Materiales y Métodos

1. Materias primas

Las materias primas utilizadas para la elaboración del pan de sal fueron: harina de

trigo con un contenido proteico de 11 a 12% (Elizondo, México); sal (Comercializadora Salinera de Yucatán, México) y azúcar comercial (Ingenio San Miguel, México); agua purificada y levadura prensada fresca (La Florida, México). Para el caso del pan con hidrocoloides se utilizaron: hidroxipropilmetilcelulosa (Demacol 2208 HK 4M, Demacsa, México) o pectina cítrica de alto metoxilo (Laumann[®], México).

2. Métodos

2.1 Elaboración, almacenamiento y recalentamiento del pan de sal

El pan fue fabricado utilizando un proceso directo a través de una formulación básica que consistió en: harina, 61%; agua, 36%; sal, 1%; azúcar, 1%; y levadura, 1%. Los hidrocoloides fueron incorporados a la mezcla de ingredientes al iniciar el mezclado en una concentración de 0.1% ó 0.5% (p/p). Todos los ingredientes fueron mezclados y amasados formando una masa, la cual luego fue dividida, boleada y formada en barras de 180 gramos, de acuerdo a un formato tipo “baguette”. Enseguida se permitió la fermentación en una fermentadora industrial (GPG, España) controlando, durante 30 minutos, una temperatura de 35°C y una humedad relativa del 65%. Posteriormente, el horneado del pan se realizó a 250°C durante 14 minutos en un horno convencional (GPG, España) y luego el producto horneado se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una hora. Para el caso del pan testigo se realizó el mismo procedimiento de elaboración que el utilizado con el pan adicionado, con la diferencia de que sólo se usaron los ingredientes de la formulación básica.

El almacenamiento del pan se llevó a cabo sin empaque, a temperatura ambiente y sobre un soporte perforado de poliestireno (altura, 9.3 cm; diámetro interno, 7.4 cm; diámetro externo, 8.2 cm).

Para el recalentamiento del pan, se utilizó un horno de microondas doméstico (DAE7028G, Naoki, México) con una potencia nominal de 1300 W. El recalentamiento de cada baguette se realizó durante 20 segundos con una potencia efectiva de 600 W, sobre un soporte perforado de poliestireno. Posteriormente, la baguette se dejó enfriar al ambiente, durante 8 minutos, sobre el mismo soporte perforado.

2.2 Análisis del pan

2.2.1 Volumen específico y relación ancho/alto

Para el pan recién horneado se determinó tanto el volumen específico, utilizando una modificación del método 10-05 de la AACC (2000) mediante el desplazamiento de semillas de nabina, como la relación ancho/alto de acuerdo al método reportado por Lainez *et al.* (2008) a través de la medición directa de las dimensiones ancho y alto en la rebanada central (25 mm de espesor). Ambas mediciones fueron realizadas por triplicado.

2.2.2 Pruebas durante el almacenamiento

En las baguettes recién horneadas y después de cada periodo de almacenamiento, se tomaron dos muestras del mismo tipo y concentración de hidrocoloide, una de las cuales fue recalentada en un horno de microondas y otra permaneció sin recalentar; en ambas muestras se realizó una evaluación por triplicado de los siguientes parámetros:

2.2.2.1 Evaluación sensorial de textura

La evaluación sensorial de la textura del pan fue realizada por 21 jueces no entrenados. Las muestras fueron evaluadas de acuerdo a una prueba afectiva de escala hedónica estructurada de nueve puntos, los cuales corresponden a: “me gusta muchísimo”, “me gusta mucho”, “me gusta moderadamente”, “me gusta poco”, “ni me gusta ni me

disgusta”, “me disgusta poco”, “me disgusta moderadamente”, “me disgusta mucho” y “me disgusta muchísimo”, siendo el punto nueve el nivel máximo de agrado (Stone y Sidel, 2004). Los resultados fueron obtenidos del promedio de las calificaciones dadas por los jueces.

2.2.2.2 *Dureza y humedad de la miga*

Para medir la dureza se utilizó una adaptación del método 74-10a de la AACC (2000), la cual consistió en tomar la rebanada central (2 cm de espesor) de la hogaza, a la que le fue removida la corteza. Posteriormente, se determinó la dureza por compresión de la miga, utilizando un texturómetro TA-TX2 (Stable Microsystems, Surrey, EE.UU.) en modo manual y una sonda cilíndrica de plexiglás de 20 mm de diámetro. Para el recorrido de la sonda cilíndrica se programó una velocidad de 1.7 mm/s y una distancia de recorrido del cilindro de 10 mm.

En cuanto a la humedad, la determinación se realizó siguiendo el método 44-15a de la AACC (2000), por secado en dos etapas y diferencia de peso.

2.3 *Análisis estadístico de los resultados*

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo usando el programa Statgraphics Plus (v. 5.1, Statistical Graphics Corp.), de acuerdo a una comparación de múltiple efecto, considerando un diseño anidado combinado

con factorial, con un nivel de confianza del 95%. Las variables independientes fueron: el tipo y la concentración de hidrocoloide, el tiempo de almacenamiento y el recalentamiento en horno de microondas; mientras que las variables dependientes fueron: la dureza, el contenido de humedad y la evaluación sensorial de textura.

Resultados y Discusión

1. *Efecto de la adición de hidrocoloides en el volumen específico y relación ancho/alto del pan*

La adición de hidrocoloides en diferentes concentraciones trae consigo un efecto sobre la masa panadera, lo cual da lugar a diversos cambios en parámetros de calidad del pan, tales como el volumen específico y la relación ancho/alto. En la Tabla I se presentan los resultados obtenidos al estudiar el efecto de la adición de hidrocoloides sobre el volumen específico y la relación ancho/alto del pan. De igual forma, se presentan los resultados obtenidos para la medición de ambos parámetros en un pan testigo.

Se observa que la presencia de hidrocoloides aumentó el volumen específico de los panes adicionados con respecto al del pan testigo, con excepción del de los panes con HPMC al 0.1%.

Tabla I. Volumen específico y relación ancho/alto de pan con y sin hidrocoloides recién horneado^a

Muestra	Volumen específico (cm ³ /g)	Relación ancho/alto
Testigo	3.46 ± 0.15	1.35 ± 0.07
Pectina		
0.1%	4.42 ± 0.50	1.41 ± 0.05
0.5%	3.76 ± 0.14	1.62 ± 0.10
HPMC		
0.1%	3.22 ± 0.28	1.38 ± 0.10
0.5%	4.06 ± 0.13	1.51 ± 0.09

^a Promedio y desviación estándar de la evaluación de tres panes “barra mediana” tipo baguette.

Se ha comprobado que la adición de hidrocoloides provoca un aumento del volumen específico del pan (Rosell *et al.* 2001; Guarda *et al.*, 2004; Bárcenas *et al.*, 2005; De la O, 2008; Torres, 2008). Debido a lo anterior, en este estudio se esperaba que la adición de HPMC o pectina, en ambas concentraciones, trajera consigo un aumento en el volumen específico.

De acuerdo con Bárcenas y Rosell (2005), la adición de HPMC al 0.5% mejora el volumen del pan debido a que cuando este hidrocoloide se hidrata y se expone a altas temperaturas, se presenta una interacción importante entre sus cadenas formándose una red temporal, lo cual disminuye la pérdida de gas, favoreciendo, consecuentemente, una expansión mayor de la masa durante el horneado. El bajo volumen específico del pan adicionado con 0.1% de HPMC, pudo deberse a las variaciones propias del proceso de panificación, ya que el gran número de puntos críticos de este proceso lo hacen muy susceptible a las pequeñas alteraciones que pudieran ocurrir durante el mismo.

En cuanto a la relación ancho/alto (Tabla I), se observa que las muestras adicionadas con HPMC o pectina presentaron valores mayores de este parámetro con respecto al pan testigo. Las hogazas adicionadas con pectina o HPMC al 0.5% tuvieron una relación ancho/alto mayor en relación a las adicionadas con concentraciones menores de los hidrocoloides. La relación ancho/alto del pan proporciona información sobre la forma del mismo: una relación ancho/alto mayor indica un pan plano, mientras que una relación ancho/alto menor, corresponde a un pan con mayor altura y mejor proporcionado. El valor de la relación ancho/alto de una hogaza comercial, de peso similar al de las elaboradas en este estudio es de 1.45 (Pérez, 2008).

Tanto Guarda *et al.* (2004) como De la O (2008), observaron una menor relación

ancho/alto en los panes adicionados con HPMC al 0.5%, respecto a la de los adicionados con HPMC al 0.1%; sin embargo, en este trabajo se observó lo contrario, es decir, los panes adicionados con HPMC al 0.5% presentaron una relación ancho/alto mayor.

Por otra parte, se observó que la adición de pectina tuvo una respuesta similar a la de la adición de HPMC, debido a que al aumentar la concentración de pectina se presentó una relación ancho/alto mayor. Esto no concuerda con lo reportado por De la O (2008), quien observó una relación ancho/alto mayor para los panes adicionados con pectina al 0.1%.

Los resultados obtenidos permiten demostrar que los panes adicionados con hidrocoloides presentaron una forma más plana que la del pan testigo. Es probable que este hecho se deba a la escasa experiencia de los panaderos que elaboraron este producto, para realizar de manera adecuada el boleado de la masa y el formado de las hogazas, dada la importancia del efecto de estas operaciones en el desarrollo del gluten y, consecuentemente, en la expansión de la masa durante la fermentación y el horneado.

2. Dureza de la miga de pan con hidrocoloides y recalentado en horno de microondas

El recalentamiento del pan revierte la retrogradación del almidón y permite obtener un producto cuya miga es suave. Por otra parte, la adición de hidrocoloides retarda el endurecimiento del pan. En este estudio se evaluó la dureza del pan adicionado con hidrocoloides y recalentado en horno de microondas, luego de diferentes tiempos de almacenamiento. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 1. Se encuentra que la dureza del pan aumentó conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, observándose la mayor dureza para todas las muestras sin recalentar a las 48 horas de almacenamiento.

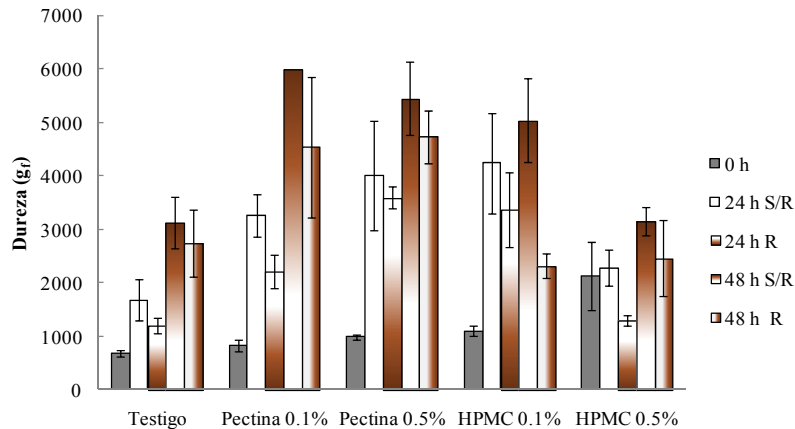


Fig. 1. Dureza de la miga de pan con hidrocoloides y pan testigo, recalentado en horno de microondas (R) y sin recalentar (S/R), a las 0, 24 y 48 horas de almacenamiento.

Además, se observa que el recalentamiento de las muestras a los diferentes tiempos de almacenamiento dio lugar a una reducción en la dureza de la miga.

Así mismo, se observa que la presencia de hidrocoloides provocó un aumento en la dureza de la miga, ya que en las hogazas adicionadas recién horneadas se observó una dureza mayor en comparación con la muestra testigo. De igual forma, a las 24 y 48 horas de almacenamiento la dureza de las muestras adicionadas fue mayor que la del testigo.

El efecto de hidrocoloides en la dureza se analizó también después del recalentamiento del pan. A las 24 horas, las muestras adicionadas con pectina al 0.1% y HPMC al 0.1% y 0.5% presentaron una mayor reducción en la dureza de la miga en comparación con el resto de las muestras. De igual forma, a las 48 horas de almacenamiento la muestra adicionada con HPMC al 0.1% tuvo la disminución más notoria en la dureza debida al recalentamiento, con respecto a las demás muestras.

3. Contenido de humedad de pan con hidrocoloides y recalentado en horno de microondas

El envejecimiento del pan es la consecuencia de diversos cambios, entre los que destacan la pérdida y redistribución del agua en el producto (Lineback, 1982; Pyler, 1988; Eliasson y Larsson, 1993; Baik y Chinachoti, 2000). La redistribución del agua consiste en la ganancia de humedad por parte de la corteza y la pérdida de la misma por parte de la miga, debido a la menor a_w de la primera respecto a la de la segunda (Eliasson y Larsson, 1993).

Por su parte, los hidrocoloides poseen la capacidad de incrementar la retención de agua de los productos a los que se adicionan (Armero y Collar, 1996; Guarda *et al.*, 2004). En el caso del pan, se sabe que los hidrocoloides ayudan a retener el agua, retardando así el envejecimiento de este alimento. De aquí que en este estudio se haya determinado el contenido de humedad en las muestras adicionadas y en la muestra testigo, a los diferentes tiempos de almacenamiento, así como también en el pan que fue recalentado y en el que permaneció sin recalentar. Los resultados se presentan en la Fig. 2. Se observa que el contenido de humedad disminuyó

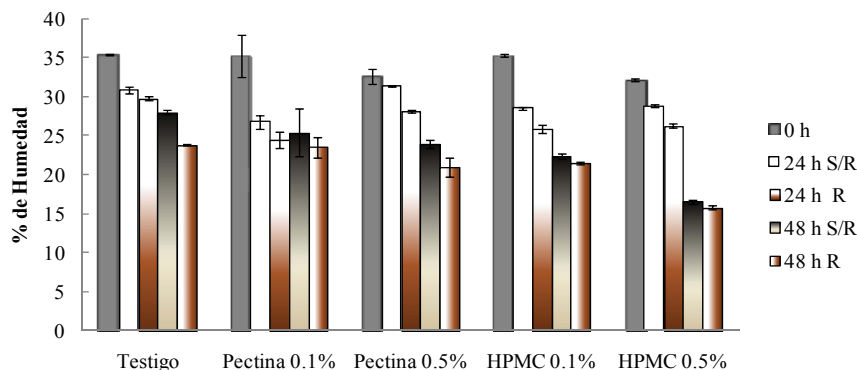


Fig. 2. Contenido de humedad de pan con hidrocoloides y pan testigo, recalentado en horno de microondas (R) y sin recalentar (S/R), a las 0, 24 y 48 horas de almacenamiento.

conforme aumenta el tiempo de almacenamiento. Además, se encuentra que el recalentamiento dio lugar a una disminución en el contenido de humedad de todas las muestras. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Rogers *et al.* (1990), quienes realizaron una medición del contenido de humedad en hogazas de pan recalentadas en horno de microondas, en horno convencional y en un horno con vapor, observando que el recalentamiento de las muestras causó un decremento en el contenido de humedad.

En cuanto al efecto de los hidrocoloides, su adición disminuyó el contenido de humedad en las hogazas recién horneadas. A las 24 horas de almacenamiento se observó que de las muestras evaluadas, las adicionadas con 0.5% tanto de pectina como de HPMC presentaron la menor pérdida de agua. A las 48 horas, la menor pérdida de humedad con respecto a la muestra almacenada durante 24 horas fue presentada por las hogazas adicionadas con pectina al 0.1%.

4. Evaluación sensorial de la textura de pan con hidrocoloides y recalentado en horno de microondas

La evaluación sensorial es un método subjetivo utilizado para medir diversos atributos organolépticos de los alimentos, tales como la textura, sabor, color, aroma, entre

otros. Este método está basado en el juicio de las personas que evalúan las propiedades organolépticas del alimento (Bourne, 2002). Se debe destacar que las personas poseen el criterio más importante, el que determina la elección y la evaluación de las características sensoriales del alimento.

Con el propósito de evaluar el efecto de la adición de hidrocoloides el recalentamiento del pan en horno de microondas y en el tiempo de almacenamiento sobre la textura del pan, se realizó una evaluación sensorial utilizando una prueba afectiva con una escala hedónica estructurada de nueve puntos. En la Fig. 3 se muestran las calificaciones obtenidas en dicha evaluación.

Se observa que las hogazas recién horneadas recibieron calificaciones entre siete y ocho, es decir, entre “me gusta mucho” y “me gusta moderadamente”.

Por otra parte, se encuentra que al incrementarse el tiempo de almacenamiento, la calificación dada a la textura del pan fue menor; además a tiempos de almacenamiento mayores, la presencia de hidrocoloides no mejoró la calificación otorgada por parte de los jueces.

A las 24 horas de almacenamiento las calificaciones dadas para el pan testigo y las

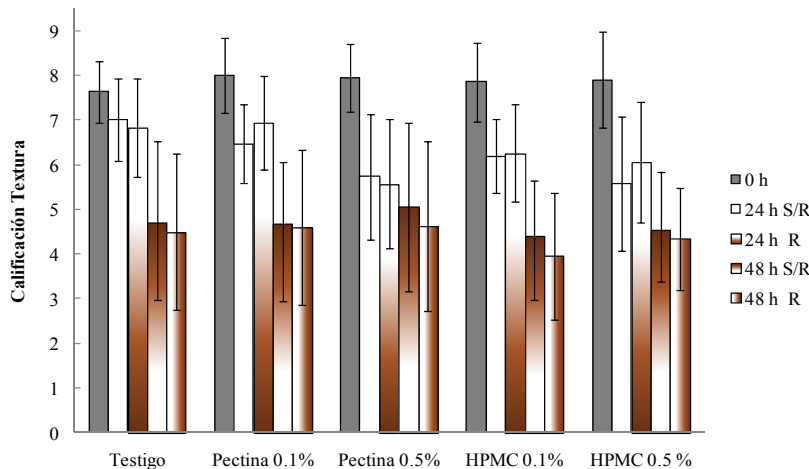


Fig. 3. Calificación de la textura evaluada sensorialmente de pan con hidrocoloides y pan testigo, recalentado en horno de microondas (R) y sin recalentar (S/R), a las 0, 24 y 48 horas de almacenamiento.

muestras adicionadas con los hidrocoloides al 0.1%, sin recalentar, fueron entre seis y siete, correspondientes a “me gusta poco” y “me gusta moderadamente”. El resto de las muestras recibió una calificación entre cinco y seis, las cuales en la escala hedónica corresponden a “ni me gusta ni me disgusta” y “me gusta poco”, respectivamente; por tanto, es posible considerar que fueron aceptadas por los jueces (Guarda *et al.*, 2004). A las 48 horas de almacenamiento las calificaciones otorgadas estuvieron por debajo de los cinco puntos, por lo cual puede afirmarse que no fueron aceptadas por los jueces.

Para las muestras recalentadas a las 24 horas de almacenamiento, se obtuvieron calificaciones entre seis y siete, siendo la muestra testigo y la adicionada con pectina al 0.1% las que obtuvieron la calificación más alta. Por otro lado, las muestras recalentadas y con 48 horas de almacenamiento presentaron calificaciones entre cuatro y cinco correspondientes a “me disgusta poco” y “ni me gusta ni me disgusta” respectivamente, por lo cual no existió aceptación por parte de los jueces.

5. Resultados del análisis estadístico

Tomando en cuenta que el efecto de cada hidrocoloide sobre las propiedades del pan depende de la concentración en la que haya sido adicionado, no es posible considerar el efecto de la concentración del hidrocoloide sobre las variables dependientes de manera individual. Entonces se dice que el efecto de la concentración del hidrocoloide está anidado al efecto del tipo de hidrocoloide. El resto de las variables independientes se analizaron utilizando un modelo factorial. De aquí que el análisis estadístico se haya realizado de acuerdo con una comparación de múltiple efecto, considerando un diseño anidado combinado con factorial. En las Tablas II, III y IV se presenta la comparación de múltiple efecto del tipo de hidrocoloide, el recalentamiento y el tiempo de almacenamiento, respectivamente, y sobre la dureza, la humedad, y la calificación otorgada por los jueces a la textura de las hogazas de las muestras adicionadas con hidrocoloides y del testigo.

5.1 Efecto del tipo de hidrocoloide

En la Tabla II se observa que el contenido de humedad fue significativamente ($p < 0.05$) afectado por el tipo de hidrocoloide, siendo el pan testigo el que tuvo la humedad más alta y el pan con HPMC el que presentó el menor contenido de humedad.

En varios estudios (León *et al.*, 1997; Rojas *et al.*, 1999; Guarda *et al.*, 2004; Ribotta *et al.*,

Tabla II. Comparación múltiple del efecto del tipo de hidrocoloide sobre el contenido de humedad, la dureza y la calificación de textura de pan de sal^(1,2)

Hidrocoloide	Humedad (%)	Dureza (gr)	Calificación Textura
Testigo	30.11 c	1617.17 a	6.21 a
Pectina	27.70 b	2967.53 c	6.24 a
HPMC	26.39 a	2433.62 b	6.07 a

¹ Entre las medias seguidas por la misma letra para cada columna, no existe diferencia significativa, con un nivel de confianza del 95%.

² Promedio de todos los valores obtenidos para cada uno de los parámetros.

2004) se ha demostrado que la adición de hidrocoloides a la masa panadera da lugar a la obtención de panes con mayor contenido de humedad, respecto a la muestra testigo. Sin embargo, en este estudio no ocurrió así. Una posible causa es el hecho de que algunas formulaciones se prepararon usando diferentes proporciones de agua, ya que los hidrocoloides modifican la cantidad de agua requerida para formar masas con características adecuadas para la panificación. Otra posible explicación es que el tiempo de horneado aplicado a los distintos lotes de pan fabricados, no haya sido exactamente el mismo (Saravacos y Kostaropoulos, 2002).

En la dureza de la miga, se encuentra que las muestras adicionadas con hidrocoloides tuvieron durezas significativamente mayores

($p < 0.05$) en comparación con las hogazas no adicionadas.

Se ha comprobado que la adición de diferentes tipos de hidrocoloides da lugar a una disminución en la dureza (Guarda *et al.*, 2004; Bárcenas *et al.*, 2005; De la O, 2008), debido probablemente a que interfieren con la movilidad de las cadenas de amilosa y amilopectina durante el almacenamiento, afectando así la retrogradación del almidón (Bárcenas y Rosell, 2005). Por lo tanto, en este estudio se esperaba que la adición de HPMC o pectina provocara una disminución en la dureza de la miga de las hogazas.

De la O (2008) observó una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la dureza de hogazas adicionadas con pectina y la de hogazas sin adicionar, encontrando que las muestras adicionadas mostraron una dureza menor. Sin embargo, en este estudio se observó lo contrario.

En el caso de HPMC, De la O (2008) estudió el efecto de su adición sobre la dureza de la miga, observando que la presencia de este hidrocoloide redujo significativamente la dureza en relación a la de las hogazas no adicionadas. Rosell *et al.* (2001) y Guarda *et al.* (2004) encontraron que muestras adicionadas con HPMC tuvieron una dureza menor que muestras sin adicionar. Por el contrario, en este estudio la adición de HPMC aumentó significativamente ($p < 0.05$) la dureza de la miga en relación al testigo.

En general, el pan adicionado con HPMC al 0.5% presentó características muy distintas a las esperadas de acuerdo con lo reportado por otros investigadores (Rojas *et al.*, 1999; Guarda *et al.*, 2004; Bárcenas *et al.*, 2005; Bárcenas y Rosell, 2005), lo cual pudo deberse a que en este estudio el pan fue elaborado por panaderos sin suficiente experiencia, por lo que las etapas de amasado, boleado y formado pudieron no haber sido realizadas

adecuadamente, afectando la formación óptima del gluten y la textura del pan, y dando lugar a un producto con mayor dureza que la del pan no adicionado.

En el caso de las calificaciones otorgadas a la textura por los jueces, no hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las calificaciones recibidas por la textura de los distintos tipos de pan. En este trabajo se esperaba que los panes adicionados recibieran calificaciones más altas debido a que en diversos estudios se ha demostrado que la adición de hidrocoloides aumenta la calidad sensorial del pan (Guarda *et al.*, 2004; Bárcenas y Rosell, 2005).

5.2 Efecto del recalentamiento

La comparación múltiple del efecto del recalentamiento se presenta en la Tabla III. En cuanto al contenido de humedad, las muestras que permanecieron sin recalentar presentaron valores significativamente ($p < 0.05$) más altos en comparación con las muestras que fueron recalentadas en horno de microondas. De la O (2008), Rogers *et al.* (1990) y Mandala (2005) comprobaron que el recalentamiento del pan en horno de microondas disminuye la humedad. La reducción en el contenido de humedad del pan al ser recalentado en horno de microondas, se debe principalmente a la evaporación del agua como consecuencia del calentamiento (Uzzan *et al.*, 2007).

En el caso de la dureza, se observa una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras recalentadas y las que permanecieron sin recalentar, siendo menor la dureza del pan recalentado. De la O (2008) y Torres (2008) evaluaron el efecto del recalentamiento en horno de microondas sobre la dureza de la miga en hogazas adicionadas con diferentes hidrocoloides y en muestras no adicionadas; dichos autores observaron una diferencia

significativa entre las muestras recalentadas y las no recalentadas, notando una dureza mayor en las muestras que no fueron recalentadas, lo cual coincide con lo obtenido en este estudio.

El recalentamiento del pan revierte la retrogradación del almidón (Rogers *et al.*, 1990; Eliasson y Larsson, 1993). La disminución de la dureza de la miga de las muestras que fueron recalentadas, se debe a que las estructuras formadas durante la retrogradación de la amilosa y la amilopectina pierden su arreglo al ser sometidas a altas temperaturas, causando que el pan recupere su textura blanda (Hug-Iten *et al.*, 2003).

En la calificación de textura otorgada por los jueces, se observa que no hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las hogazas recalentadas y aquellas sin recalentar, es decir, los jueces no mostraron preferencia por hogazas recalentadas o sin recalentar.

5.3 Efecto del tiempo de almacenamiento

En la Tabla IV se presenta la comparación múltiple del efecto del tiempo de almacenamiento. En el contenido de humedad, se observa que éste disminuyó significativamente ($p < 0.05$) conforme el tiempo de almacenamiento se incrementó. De la O (2008) observó un efecto significativo del tiempo de almacenamiento sobre la humedad en diferentes puntos de hogazas de pan adicionadas con pectina y HPMC; por tanto, hay concordancia entre lo obtenido en este estudio y lo observado por dicho autor. Además, el comportamiento observado en este estudio, también coincide con lo reportado por Baik y Chinachoti (2000), quienes estudiaron

Tabla III. Comparación múltiple del efecto del recalentamiento en horno de microondas sobre el contenido de humedad, la dureza y la calificación de textura de pan de sal ^(1,2)

Recalentamiento	Humedad (%)	Dureza (gr)	Calificación Textura
Sin	29.20 b	2792.13 b	6.12 a
Con	26.93 a	1886.75 a	6.23 a

¹ Entre las medias seguidas por la misma letra para cada columna, no existe diferencia significativa, con un nivel de confianza del 95%.

² Promedio de todos los valores obtenidos para cada uno de los parámetros.

Tabla IV. Comparación múltiple del efecto del tiempo de almacenamiento sobre el contenido de humedad, la dureza y la calificación de textura de pan de sal ^(1, 2)

Tiempo (horas)	Humedad (%)	Dureza (gr)	Calificación Textura
0	33.07 c	617.70 a	7.72 c
24	28.32 b	2505.01 b	6.19 b
48	22.81 a	3895.60 c	4.61 a

¹ Entre las medias seguidas por la misma letra para cada columna, no existe diferencia significativa, con un nivel de confianza del 95%.

² Promedio de todos los valores obtenidos para cada uno de los parámetros.

la redistribución de humedad durante el envejecimiento del pan almacenado con y sin corteza. Piazza y Masi (1995) reportaron que el promedio en el contenido de humedad en la

Debido a que el pan fue almacenado sin envase y expuesto al ambiente, se plantea que la disminución en el contenido de humedad conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento se debió a la migración del agua desde el pan hacia el ambiente.

Para el caso de la dureza, se observa que ésta aumentó significativamente ($p < 0.05$) conforme al tiempo de almacenamiento; este fenómeno ha sido ampliamente estudiado (Armero y Collar, 1998; Hallberg y Chinachoti, 2002; Murat, 2006; Bárcenas y Rosell, 2007). El incremento en la dureza de la miga durante el almacenamiento del pan se debe principalmente a la retrogradación del almidón (Hallberg y Chinachoti, 2002; Bárcenas y Rosell, 2005). Además, la pérdida y redistribución de agua que experimenta el

miga central de la rebanada central, de diferentes formulaciones de pan, disminuye conforme al tiempo, lo cual concuerda con lo observado en este estudio.

pan, también contribuye al endurecimiento de la miga (He y Hoseney, 1990; Piazza y Masi, 1995). En el caso del pan evaluado en este estudio, el haber almacenado el pan sin empaque y en contacto directo con el ambiente, favoreció su endurecimiento.

Finalmente, se observa que las calificaciones otorgadas por los jueces a la textura de las hogazas disminuyeron significativamente ($p < 0.05$) conforme aumentó el tiempo de almacenamiento. Los panes recién horneados recibieron las calificaciones más altas. El incremento de la dureza y la disminución de la humedad del pan durante el almacenamiento, pudieron haber causado que las calificaciones otorgadas por los jueces a la textura, disminuyeran.

Conclusión

Se observó que la dureza y la humedad del pan adicionada con hidrocoloides disminuyeron debido al recalentamiento. Sin embargo, estas diferencias no fueron detectadas por los jueces en la evaluación sensorial de la textura. Por tanto, se considera necesario llevar a cabo un estudio sensorial más riguroso que incluya la definición de descriptores para evaluar la textura, un método de evaluación apropiado, la participación de jueces entrenados, entre otros aspectos.

Por otra parte, las contradicciones encontradas en varios resultados y atribuidas a la inexperiencia de los panaderos, llevan a proponer que la panificación se realice de forma más escrupulosa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la ingeniera Amalia Alba Torres y a la empresa PABISAN, S.A. de C.V. su apoyo para la realización de este estudio.

Referencias

- AACC. American Association of Cereal Chemists. 2000. *Approved methods of the AACC*. Décima edición. The American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EE.UU.
- Armero, E. y Collar, C. 1996. Antistaling additive effects on fresh wheat bread quality. *Food Science and Technology Internacional*. 2(5):323-333.
- Armero, E. y Collar, C. 1998. Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. *Cereal Chemistry* 28(2):165-174.
- Baik, M. y Chinachoti, P. 2000. Moisture redistribution and phase transitions during bread staling. *Cereal Chemistry*. 77(4):484-488.
- Bárcenas, M. E., Benedito, C. y Rosell, C. M. 2005. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Food Hydrocolloids*. 18(2):769-774.
- Bárcenas, M. E. y Rosell, C. M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*. 19(6):1037-1043.
- Bárcenas, M. E. y Rosell, C. M. 2007. Different approaches for increasing the shelf life of part-baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition. *Food Chemistry*. 100(4): 1594-1599.
- Bourne, M. 2002. *Food Texture and Viscosity*. Segunda edición. Academic press, EE.UU. 257 p.
- Clarke, C. y Farrell, G. 2000. The effects of recipe formulation on the textural characteristics of microwave-reheated pizza bases. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80(8): 1237-1244.
- De La O, J. 2008. *Efecto de la adición de hidrocoloides sobre la calidad y envejecimiento de pan recalentado en horno de microondas y sobre las propiedades de los componentes del pan*. Tesis de Maestría. Universidad de las Américas, Puebla.
- Eliasson A. C. y Larsson, K. 1993. *Cereals in breadmaking: a molecular colloidal approach*. Tercera edición. Marcel Dekker. EE.UU. 327 p.
- Guarda, A., Rosell, C. M. y Galotto, M. J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids* 18(2):241-247.
- Hallberg, L. M. y Chinachoti, P. 2002. A fresh perspective on staling: the significance of starch recrystallization on the firming of bread. *Journal of Food Science*. 67(3):1092-1096.
- He, H. y Hoseney, R. C. 1990. Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chemistry*. 67(6):603-605.
- Hug-Iten, S., Escher, F. y Conde-Petit, B. 2003. Staling of bread: role of amylose and amylopectin and influence of starch-degrading enzymes. *Cereal Chemistry*. 80(6):654-661.
- Lainez, E., Vergara, F. y Bárcenas, M.E. 2008. Quality and microbial stability of partially baked bread during refrigerated storage. *Journal of Food Engineering* 89:414-418
- León, A., Durán, E. y Benedito C. 1997. A new approach to study starch changes occurring in the dough-baking process and during bread storage. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung A*, 204(4):316-320.

- Lineback, I. 1982. *Food Carbohydrates*. The Avi Publishing Company. EE.UU. 237 p.
- Mandala, I. G. 2005. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids. *Journal of Food Engineering*. 66(3):291-300.
- Mandala, I. G. y Sotirakoglou, K. 2005. Effect of frozen storage and microwave reheating on some physical attributes of fresh bread containing hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*. 19(44):709-719.
- Matz, S. 1992. *Bakery Technology and Engineering*. Tercera edición. Pan-Tech International, INC., EE.UU. 154-157 p.
- Murat, M. 2006. Effect of baking procedure and storage on the pasting properties and staling of part-baked and rebaked white pan bread. *International Journal of Food Properties*. 9(4):609-622.
- Pérez, G. 2008. *Efecto del uso de hidrocoloides en la calidad sensorial y las propiedades de pan de sal recalentado en horno de microondas*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla
- Piazza, L. y Masi, P. 1995. Moisture Redistribution throughout the bread loaf during staling and its effect on mechanical properties. *Cereal Chemistry* 72(3):320-325.
- Pyler, E. 1988. *Baking Science and Technology*. Tercera edición. Sosland Publishing Company. Kansas, EE.UU. 815-817 p.
- Ribotta, P. D., Pérez, G. T., León, A. E. y Añón, M. C. 2004. Effect of emulsifier and guar gum on microstructural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids*. 18:305-313.
- Rogers, D. E., Doescher, L. C. y Hosene, R. C. 1990. Texture characteristics of reheated bread. *Cereal Chemistry*. 67(2):188-191.
- Rojas, J. A., Rosell, C. M. y Benedito C. 1999. Pasting properties of different wheat flour-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*. 13:27-33.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A. y Benedito, C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 15:75-81.
- Saravacos G. y Kostaropoulos, A. 2002. *Handbook of food processing equipment*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, EE.UU. 412 p.
- Stone, H. y Sidel J. L. 2004. *Sensory evaluation practices*. Tercera edición. Food Science and Technology, International Series. EE.UU. 247 p.
- Sumnu, G. 2001. A review on microwave baking of foods. *Journal of Food Engineering*. 71(2):150:155.
- Torres, R. 2008. *Efecto de la adición de hidrocoloides sobre las características de pan recalentado con microondas*. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas, Puebla
- Wilbur, A. 1993. *Total quality assurance for the food industries*. Tercera edición. CTI Publications, Inc. EE.UU. 95 p.
- Uzzan, M., Ramon, O., Kopelman, I. J., Kesselman, E. y Mizrahi, S. 2007. Mechanism of crumb toughening in bread-like products by microwave reheating. *Journal Agriculture Food Chemistry*. 55(16): 6553-6560..