

# REOLOGÍA DE MASAS DE MAÍZ REFORZADAS CON MANITOL Y CMC

## RHEOLOGY OF REINFORCED MASSES OF CORN WITH MANITOL AND CMC

JOSE GARCÍA<sup>1</sup>, ALEJANDRO PÉREZ<sup>2</sup>, HAROLD ACOSTA<sup>3</sup>, HECTOR S. VILLADA<sup>4</sup>

### PALABRAS CLAVE:

Reología, masas de maíz, almidón, amilosa.

### KEYWORDS:

Reology, corn masses, starch, amylose.

### RESUMEN

*Se estandarizó la producción de masas de maíz y se modificaron estas con manitol y CMC. Las pruebas reológicas de compresibilidad y porcentaje de deformación revelaron que la combinación de aditivo que mejoró las propiedades de la masa con respecto al blanco fue la adición de 0.2% en peso de la mezcla 30% CMC - 70% Manitol. Se encontró también, que en la deformación de las masas solo influyó el tipo de aditivo empleado, pero en el punto de fluencia, interaccionaron tanto el aditivo utilizado como la cantidad del mismo. Este mejoramiento en las propiedades de la masa, se da por la acción plastificante de los aditivos, los cuales se incluyen dentro de la estructura tridimensional del almidón y reducen la fricción entre las estructuras lineales de amilosa. Así, el suavizamiento ante los esfuerzos cortantes, aumenta la resistencia de las masas y sus productos ante los maltratos del transporte y la manipulación.*

### ABSTRACT

*A process to produce maize masses was standardized and then, modified with manitol and CMC. Rheological tests of compressibility and deformation percentage showed that addition of 0.2% (w/w) of a 30% CMC and 70% manitol mixture improved masa properties. Also, the type of additive was*

---

Recibido para evaluación: Noviembre 16 de 2005. Aprobado para publicación: Febrero 27 de 2006

1 Ingeniero Químico. Jefe de Producción de Omniflife, Colombia.

2 Ingeniera Química. Papeles Nacionales, Cartago, Colombia.

3 Profesor Titular, Departamento de Ingeniería de Alimentos. Universidad del Valle. AA 25360. Cali, Colombia. Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial.

4 Universidad del Cauca, Departamento de Agroindustria, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

*important on the masa deformation, but at the fluency point interaction between additive and quantity of it, was significant. Improvement of masa properties is due to plasticizer addition, which is included in the tridimensional starch structure, reducing friction among lineal amylose molecules. Therefore, masas increased their strength against stress-strain forces, making them more resistant during transport and manipulation.*

## INTRODUCCIÓN

El maíz es un cereal de la familia de las Gramíneas que junto con el trigo y el arroz es considerado uno de los más importantes del mundo.(5) Suministra elementos nutritivos a los animales y seres humanos; además se utiliza como materia prima para la producción de almidón, aceites, proteínas y edulcorantes, entre otros.(8)

Las formas de consumo del maíz varían de acuerdo a la región, en México se consume en forma de tortillas, y en Colombia en forma de arepas, las cuales son pan de maíz tostado sin levadura de forma redondeada y que se prepara con cereal desgranado.(9)

La comercialización de arepas precocidas originó la empresa Industrias Alimenticias El Molino, pero encontraron que durante el transporte de las arepas, estas llegaban al consumidor final, resquebrajadas o partidas. (10)

Así, se planteó utilizar polialcoholes durante la preparación para mejorar la resistencia del producto terminado. La efectividad de esta alternativa, se evaluó mediante análisis de compresibilidad a las masas de maíz. Esto no solo permitió determinar la resistencia de los productos mejorados con los aditivos seleccionados sino también, realizar un estudio sobre las propiedades reológicas de las masas de maíz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se consideraron tres puntos fundamentales durante el trabajo, la determinación de almidón total durante el proceso, la adición de los polialcoholes y finalmente las pruebas de compresibilidad en masa.

### Determinación de almidón total durante el proceso

Para la preparación de las arepas el maíz trillado es sometido a un proceso de lavado, posteriormente es cocido con agua precalentada a 92°C por un tiempo aproximado de 2.5 a 3 h.

El maíz, ya cocido, es lavado nuevamente y posteriormente, se sometió a un proceso de molienda formando la masa de maíz. Posteriormente es amasado y luego troquelado dando forma a las arepas. Después es horneado hasta alcanzar la rigidez característica.

La determinación del contenido de almidón total se realiza con el fin de hacer seguimiento al almidón original a través del proceso de producción. Se realizaron los análisis a tres tipos de muestra:

1. Maíz crudo
2. Maíz cocido
3. Masa de maíz

Esta determinación se realizó siguiendo el procedimiento con solución de Fehling de acuerdo con las indicaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC 926.

### Adición de polialcoholes

Se comprobó el efecto de la adición de polialcoholes sobre las masas de maíz usando dos tipos de polialcoholes comerciales comunes en la industria: manitol y CMC.

Para la preparación de las muestras se implementó un procedimiento a escala teniendo en cuenta el proceso de producción en Industrias Alimenticias El Molino. Para esto, se usaron 150g de maíz trillado, 300 mL de agua para la cocción, un tiempo de cocción de una hora. El maíz cocido fue lavado, molido y troquelado posteriormente en un molde de 2.2 cm de altura y 5.5 cm de diámetro. Los aditivos fueron adicionados una vez la mezcla agua-maíz alcanzó el punto de ebullición.

Se agregó manitol y CMC puro, además de dos mezclas, la primera 30% de CMC y 70% de manitol, y la segunda 30% de manitol y 70% de CMC en diferentes dosificaciones, las cuales fueron 0.1%, 0.2% y 0.25% (w/w) con base en el maíz crudo.

## Pruebas de compresibilidad en masa

Las pruebas de compresibilidad se llevaron a cabo en el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), División ASTIN, Cali. Se utilizó una Máquina de Ensayos Universales, marca Goodbrand, en la cual se utilizó una celda de carga de 50 Kg. Como resultado de los análisis se obtuvieron las curvas de Esfuerzo vs. Porcentaje de Deformación. (1) Las muestras fueron arepas de 2.2 cm de altura y 5.5 cm de diámetro.

Para el análisis de los resultados se trabajó con un diseño experimental bifactorial balanceado de efectos fijos, utilizando el paquete estadístico MINITAB.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Determinación de Almidón total

Los resultados obtenidos para porcentaje de almidón total en masa de maíz, maíz crudo y maíz cocido se resumen en la Tabla 1.

Se encontró que el porcentaje de maíz crudo está dentro del rango reportado en a teoría. (2) También se puede ver que la diferencia en el porcentaje de almidón total entre el maíz crudo y los maíces ya cocidos es bastante grande, esto debido a que el maíz crudo es sometidos a un lavado anterior a la cocción, en donde pequeñas partículas (parte de ellas son almidón) que se encuentran en la superficie del grano son eliminadas. Posteriormente, durante la cocción, parte del almidón contenido en el grano de maíz se va liberando y solubilizando en el agua caliente.

Este almidón se gelatiniza liberando gran cantidad de cadenas de amilosa y amilopectina, las cuales quedan

en disolución en el llamado claro de maíz. (7) Parte del almidón contenido originalmente en el grano de maíz no se libera, pero si absorbe agua, lo que hace que el grano aumente su volumen; en total la cantidad de almidón liberada durante este proceso es de aproximadamente el 40% del almidón original del gran de maíz crudo.

Luego de la cocción, el claro de maíz es retirado y los granos se someten a un segundo lavado, en el cual se arrastran las partículas de amilosa que quedan aun adheridas a ellos. Estas partículas, de no ser retiradas, pueden aumentar la rigidez del producto terminado y hacerlo por tanto menos resistente a los esfuerzos a los que se somete durante el transporte y durante el manejo por parte del consumidor.

Durante el lavado del maíz cocido, solo una pequeña parte del contenido de almidón es arrastrado. Esto se ve reflejado en los porcentajes del contenido de almidón, los cuales son muy similares para el maíz cocido y la masa de maíz.

Durante el proceso de molienda y amasado, los gránulos de almidón que están hinchados y contenidos en el grano de maíz son liberados. (3) Durante el proceso de horneado, parte de la amilosa se difunde por fuera del granulo y se retrograda en el momento del enfriamiento, de tal manera que los restos de gránulos -ricos en amilopectina- se ve rodeados por moléculas de amilosa. Se tiene entonces que el endurecimiento del producto terminado se produce por la asociación de las cadenas de amilosa y amilopectina atrapadas en una red tridimensional que inicialmente se comporta como un gel. (4)

### Pruebas de compresibilidad en masa

Los resultados reportados por el Servicio Nacional de Aprendizaje, fueron analizados mediante el Criterio Q para rechazo de datos en series de 3 a 10 resultados, de este modo se eliminaron datos que se encontraban muy lejos del promedio de los datos restantes obtenidos.

Con los datos aceptados se realizó una prueba de análisis de varianza, utilizando un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$ . Teniendo en cuenta que se trabajó con dos variables de respuesta, el análisis de varianza se aplicó por separado para las dos variables.

**Tabla 1.** Porcentaje de almidón total

MUESTRA	ALMIDON (%)	DESVIACIÓN ESTANDAR	COEF. DE VARIACION
Maíz crudo	69.335	3.178	4.58
Maíz cocido	24.883	0.592	2.38
Masa de maíz	23.653	0.422	1.78

### **Análisis de Varianza para Porcentaje de Deformación.**

En los resultados de la prueba Anova para porcentaje de deformación se encontró que no existe evidencia estadística de efectos de interacción entre los factores analizados; de igual manera se encontró que no existe evidencia estadística entre los niveles del factor Dosificación. En cuanto al factor polialcohol, se encontró que existen razones para creer que los efectos promedio de los polialcoholes adicionados son diferentes. Teniendo en cuenta lo anterior, se aplica a los datos una prueba Post Anova -siguiendo la metodología de Tukey y aplicando el paquete estadístico MINITAB-, para determinar entre cuáles niveles del factor Polialcohol se presentan las diferencias estadísticas. Los resultados arrojados por esta prueba permiten afirmar que existen diferencias significativas entre los niveles del factor Polialcohol, concretamente entre los niveles 1 y 4 y entre los niveles 2 y 4, igualmente se determinó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles 3 y 4.

Se tiene entonces que sobre el Porcentaje de Deformación de las arepas de maíz no influye la cantidad de aditivo utilizada durante la preparación de las arepas sino el tipo de aditivo empleado durante la misma.

Se obtuvo un porcentaje de deformación mayor cuando se utilizó una mezcla de aditivos 30% CMC - 70% manitol. El menor porcentaje de deformación se obtuvo al adicionar únicamente manitol.

De acuerdo con el planteamiento del problema, resulta más efectivo trabajar con un aditivo que de a la masa un mayor rango de deformación elástica, por lo cual se hace necesario analizar los resultados para Carga en el Punto de Fluencia.

### **Análisis de varianza para carga en el punto de fluencia**

De acuerdo con la prueba anova para ésta variable de respuesta, se encontró efecto de interacción entre los factores analizados. De acuerdo con lo anterior, fue necesario analizar los resultados mediante un análisis condicionado, el cual permitió determinar que las masas de maíz soportaron mejor carga mayores cuando se trabajó con mezclas de polialcoholes, especialmente utilizando 30% CMC - 70% Manitol. Igualmente, se en-

contró que resulta más adecuado trabajar adicionando 0.2% en peso de polialcohol a la mezcla, puesto que aunque se obtiene una resistencia promedio menor que la obtenida al adicionar 0.25% de aditivo, la disminución en la carga es muy leve y desde el punto de vista de consumo de aditivo resulta más favorable trabajar con la dosificación más baja.

En resumen, considerando las dos variables de respuesta analizadas y teniendo en cuenta que se busca que la masa muestre una amplia región elástica, con un porcentaje de deformación alto que a su vez resista altas cargas en el punto de fluencia, puede afirmarse que resulta más eficiente trabajar con una mezcla de CMC y manitol en proporción 30:70 y empleando un 0.2% en peso del maíz crudo utilizado en la cocción.

### **Análisis de las curvas Esfuerzo-Deformación**

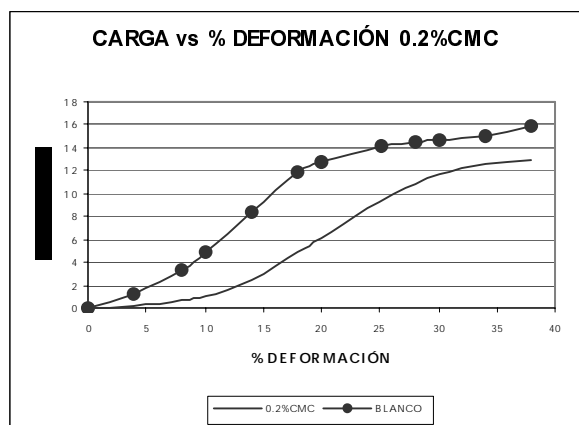
Con fin de ratificar los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico es necesario analizar los gráficos Esfuerzo-Deformación.

Se requiere un aditivo tal que otorgue a la masa una región elástica más amplia (mayor porcentaje de deformación y mayor carga en el punto de fluencia), que evite la deformación permanente del producto terminado.

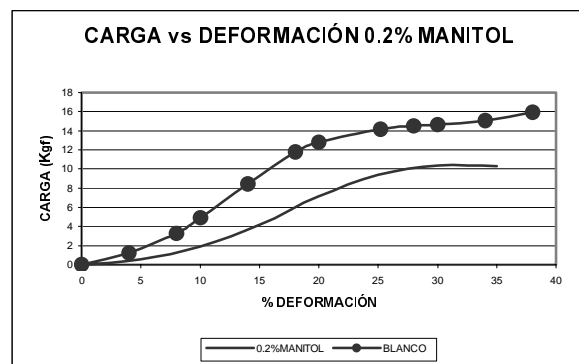
Al analizar el porcentaje de deformación se encontró que para esta variable respuesta la dosificación de los aditivos no es un factor determinante. Para esta variable resulta importante el tipo de polialcohol usado, por lo tanto se decidió analizar los tipos de aditivos a una dosificación de 0.2% en peso para considerar los efectos reológicos del aditivo. Se usa esta dosificación por ser un punto intermedio.

En el gráfico 1 se observa una pequeña curva cercana al origen y que se extiende hasta aproximadamente un 8% de deformación. Esta región se considera como una etapa de adaptación entre la muestra y el equipo utilizado para la prueba. Se tiene entonces que la región elástica de la masa comienza desde un 8% de porcentaje de Deformación hasta aproximadamente un 37%. Con respecto a la muestra blanco (sin aditivos), se tiene que ésta en su punto de fluencia se deforma hasta un 40% de su espesor inicial. En conclusión, se tiene que el utilizar CMC como aditivo no mejora las propiedades de la masa respecto al no uso de aditivos.

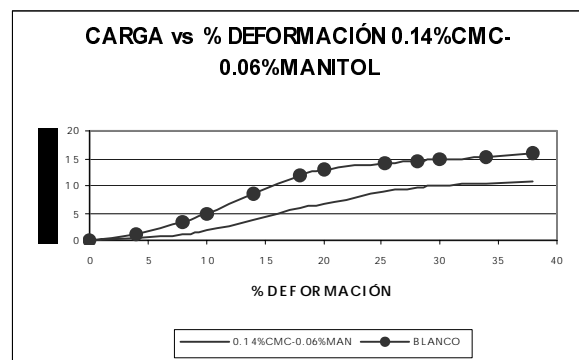
**Gráfico 1.** Curva Esfuerzo vs. Deformación para 0.2% en peso de CMC



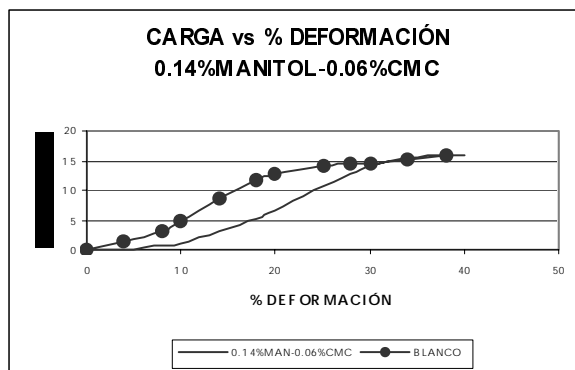
**Gráfico 2.** Curva Esfuerzo vs. Porcentaje de Deformación para 0.2% en peso de manitol.



**Gráfico 3.** Curva Esfuerzo vs. Porcentaje de Deformación para 0.2% en peso de mezcla 70-30.



**Gráfico 4.** Curva Esfuerzo vs. Porcentaje de Deformación para 0.2% de mezcla en proporción 30-70



En el gráfico 2 se observa la curva Esfuerzo vs. Porcentaje de Deformación para 0.2% en peso de manitol. Nuevamente la región cercana al origen es de adaptación y posteriormente se puede ver la región elástica. No obstante, con esta curva se puede determinar fácilmente que el uso de aditivos no mejora el porcentaje de deformación de la muestra en el punto de fluencia respecto al no uso de aditivos.

La curva mostrada en el gráfico 3 permite ver en cuanto al porcentaje de deformación, la muestra con aditivos se acerca bastante la muestra blanco (36% y 40% respectivamente); pero aunque este valor sea cercano, el aditivo no mejora las condiciones de la muestra respecto al no uso de aditivos, ya que el blanco tiene un mayor punto de fluencia respecto a la muestra con aditivos.

En el gráfico 4 se muestra que en este caso el uso de aditivos mejora las características de la masa respecto al blanco. Aunque en el punto de fluencia de la muestra con aditivos se observa una deformación aproximada del 37% frente a una deformación del 40% en el blanco; se tiene que en este mismo punto, la muestra con aditivos soporta una carga superior a la muestra blanco (16.4 Kgf frente a 15.2 Kgf en el blanco).

Con respecto a la carga, se tiene que según los resultados obtenidos luego del análisis estadístico de los datos, el aditivo que ofrece mejores resultados en cuanto a la resistencia de la masa de maíz obtenida es una mezcla 30% CMC y 70% Manitol, empleando un 0.2% en peso del maíz crudo utilizado durante la preparación. La curva esfuerzo deformación obtenida para esta combinación de aditivos puede observarse en el gráfico 4. Es

este tratamiento el que muestra una mejoría en las propiedades de la masa en comparación con la muestra blanco.

Esta mejoría se da gracias a la acción plastificante de los polialcoholes. En disolución, las cadenas largas de los aditivos y de la amilosa chocan generando las llamadas zonas de enlace, las cuales pueden existir en varios sitios de la misma cadena, generando una estructura desordenada. Se forma entonces una matriz tridimensional en la cual se incluye la amilopectina, que sirve como soporte adicional dentro de la estructura típica del almidón. Por su carácter higroscópico, el polialcohol ayuda a mantener la hidratación dentro de la matriz formada.

Teniendo en cuenta que tanto los polialcoholes como las fracciones del almidón poseen grupos hidroxilo, puede suponerse que las zonas de enlace se den gracias a la formación de puentes de hidrógeno que facilitan la formación de la red tridimensional.

Cuando la masa es horneada para obtener el producto terminado, el agua contenida dentro de la estructura se evapora dejando espacios libres o "huecos" dentro de la estructura. Estos vacíos afectan la resistencia de la masa a los esfuerzos que pueda ser sometida. Finalmente, con el enfriamiento del producto terminado se da el proceso de retrogradación en el cual la amilosa busca retomar su estructura lineal, organizando sus cadenas paralelamente unas con otras y asociándose mediante nuevos puentes de hidrógeno. (6) Ante la presencia del polialcohol, este queda incluido en medio de las cadenas reorganizadas, actuando como un soporte que suaviza el movimiento de la estructura cuando ésta es sometida a esfuerzos, facilitando por tanto el desplazamiento de las cadenas paralelas y minimizando el impacto que los esfuerzos aplicados puedan tener sobre la estructura en general. Finalmente, el polialcohol mejora el comportamiento de la estructura frente a esfuerzos cortantes y disminuye por tanto el resquebrajamiento que pudiera haberse dado en la ausencia del aditivo.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Sr. Juan Carlos Herrera, Gerente de Industrias Alimenticias El Molino y al personal de la empresa. Igualmente se aprecia la colaboración de la Bióloga Cristina Ramírez, M.Sc y a los Ingenieros Paula A. Marín, Sandra Betancourt y Jorge Iván Quintero por su soporte y orientación.

## CONCLUSIONES

- Mediante la determinación del contenido de almidón en grano cocido y crudo, se demostró que gran parte del almidón contenido en el maíz crudo se libera durante el lavado y la cocción del grano. El almidón superficial es inicialmente arrastrado con el agua de lavado y durante la cocción, parte del almidón se solubiliza en el agua caliente gelatinizándose y formando el llamado "claro de maíz".
- Teniendo en cuenta que el contenido de almidón en el maíz cocido sin lavar y en la masa de maíz es muy similar, puede decirse que durante el lavado del maíz cocido la cantidad de almidón que se retira es mínima y se limita a los restos que quedan adheridos al grano. De no ser retiradas, estas partículas darían a la masa una consistencia no adecuada para su moldeado y horneado.
- Se buscó una combinación de aditivo tal que otorgara a la masa una región elástica más amplia (mayor porcentaje de deformación y mayor carga en el punto de fluencia), que evite la deformación permanente de las arepas ante los esfuerzos soportados durante el transporte. La combinación de aditivo que mejoró las propiedades de la masa con respecto al blanco fue la adición de 0.2% en peso de la mezcla 30% CMC - 70% Manitol.
- Con base en los resultados del análisis estadístico realizado, se encontró que sobre el Porcentaje de deformación de las arepas no influye la cantidad de aditivo utilizada durante la preparación de las arepas sino el tipo de aditivo empleado durante la misma.
- De acuerdo con el análisis estadístico, se encontró que sobre la Carga en el Punto de Fluencia, existió efecto de interacción entre los factores analizados, es decir, que influyen tanto el aditivo utilizado como la cantidad del mismo.
- La mejora en las propiedades de la masa se da gracias a la acción plastificante de los polialcoholes, los cuales mediante puentes de hidrógeno se incluyen dentro de la estructura tridimensional del almidón y luego del enfriamiento -cuando se produce el fenómeno de retrogradación-, reducen la fricción entre las estructuras lineales de amilosa, suavizando las reacciones de la estructura ante los esfuerzos cortantes. De este modo aumenta su resistencia ante los maltratos a los que es sometida durante el transporte y la manipulación.

## REFERENCIAS

- (1) American Association of Cereal Chemists. Standard Methods. Method 76-11. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn., USA. p. 1-4. 1995.
- (2) American Association of Cereal Chemists. Method 76-12, AACC, Minneapolis, USA, p.1-5. 1995.
- (3) American Association of Cereal Chemists. Method 73-13, AACC, Minneapolis, USA, p.1-6. 1995.
- (4) ASKELAND, R. La ciencia y la ingeniería de los materiales. Grupo Iberoamericana, México. 1987.
- (5) BOYER, C. D. and SHANNON, J. C. The use of endosperm genes for sweet corn improvement in: Plant Breeding Reviews, Vol. 1, Janick, J., Ed. AVI, Eastport, Conn., USA. 1982.
- (6) DE MAN, J.M. Rheology and texture in food quality. AVI, Eastport, Conn., USA. 1986
- (7) HALLAUER, A. Specialty corns. Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, Iowa. 1994.
- (8) LUNVEN, P. El maíz en la nutrición humana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. 1993.
- (9) PEDRERO, F. y PANGBORN, R. Evaluación sensorial de alimentos: métodos analíticos. Editorial Alhambra Mexicana, México. 1996.
- (10) STANLEY, A.W. and RAMSTAD, P.E. Corn : Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minn., USA. 1994.