Efecto del tamaño de partícula y temperatura en la viscosidad de botanas extrudidas nixtamalizadas de maíz azul integral

Escalante-Aburto A.[a*], Ponce-García N.[bc], Ramírez-Wong B.[d], Figueroa J.D.C.[e]

[a]Departamento de Nutrición, Universidad de Monterrey, Ave. Ignacio Morones Prieto 4500 Pte, 66238, San Pedro, Garza García, N.L. México

[b]UAEMex Campus Universitario 'El Cerrillo', Facultad de Ciencias Agrícolas, Piedras Blancas s/n, Toluca, Estado de México, 50200, México

[c]Centro de Biotecnología FEMSA, Escuela de Ingeniería y Ciencias, Tecnológico de Monterrey, Av. Eugenio Garza Sada 2501 sur, 64849, Monterrey, N.L. México

[d]Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, 83000, Hermosillo, Son. México

[e]CINVESTAV-Unidad Querétaro. Libramiento Norponiente 2000, Fracc. Real de Juriquilla, 76230, Querétaro, Qro., México

* anayansi.escalante@udem.edu

RESUMEN:

El objetivo este trabajo fue evaluar el efecto de los parámetros de extrusión en la viscosidad máxima de botanas nixtamalizadas las cuales se elaboraron de maíz azul integral utilizando la nixtamalización por extrusión, utilizando diferentes tamaños de partícula en las harinas, humedades de alimentación y temperaturas en la cuarta zona. Se utilizó un diseño experimental factorial de 6x2x2. Los factores fueron humedad de alimentación con seis niveles (14, 15, 16, 16.5, 18.5 y 20.5%), índice de tamaño de partícula con dos niveles (M1 y M3), y temperatura de la cuarta zona del extrusor con dos niveles (130 y 140°C). Se realizó un análisis de varianza con 95% de confiabilidad. Además se realizó un análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P<0.05$). Los tres factores de procesamiento tuvieron un efecto altamente significativo en la viscosidad máxima de los extrudidos. Los resultados sugieren que la severidad de la molienda y el proceso de extrusión provocan una elevada degradación del almidón, específicamente en las botanas elaboradas con baja humedad de alimentación (14%) e índice de tamaño de partícula de 83.97, lo que indicó alta dextrinización de las moléculas de almidón y mayor contenido de almidón dañado..

ABSTRACT:

The aim of this study was to evaluate the effect of the extrusion parameters on the maximum viscosity of nixtamalized snacks. The samples of whole blue corn were obtained by extrusion, using different particle size indexes, feed moistures, and temperature of the fourth zone of the extruder. It was applied an experimental factorial design of 6x2x2. The factors were: feed moisture with six levels (14, 15, 16, 16.5, 18.5 and 20.5%), particle size index with two levels (M1 and M3), and temperature of the fourth zone with two levels (130 and 140°C), and an analysis of variance was applied with a 95% of confidence. To determine differences among treatments it was applied Tukey test ($P<0.05$). The three processing factors showed high statistical effects on the maximum viscosity of the extrudates. Results suggested that the severity of the milling and extrusion process caused high starch degradation, specifically in snacks elaborated with low feed moisture (14%) and particle size index of 83.97, which indicated high dextrinization of starch molecules and higher content of damaged starch..

Palabras clave:

Maíz azul, viscosidad, nixtamalización, extrusión, tamaño de partícula.

Keywords:

Blue corn, viscosity, nixtamalization, extrusion, particle size.

Área: Cereales

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal utilizado comúnmente para elaborar una gran variedad de productos obtenidos después de someterlo a nixtamalización tradicional. Sin embargo, esta forma de procesamiento requiere de largos periodos de tiempo y elevadas cantidades de agua, produciendo una gran cantidad de efluentes contaminantes (nejayote) (Santiago-Ramos *et al.* 2015). El proceso de extrusión se ha adaptado para la producción de productos nixtamalizados como harinas para producir tortillas, masa y botanas directamente expandidas. La ventaja de este método, es la reducción del tiempo de procesamiento (de horas a segundos) y la utilización mínima de agua, ya que el maíz molido es acondicionado a diferentes humedades (máximo 50% p/p) para la obtención del material extrudido. La extrusión además, conlleva cambios estructurales en los componentes químicos del maíz, principalmente en el almidón. Las propiedades del almidón definen en gran manera las características de los productos dependiendo de las condiciones de procesamiento. El comportamiento de éste polímero durante el procesamiento ha sido descrito como viscoelástico, sin embargo, en granos enteros de maíz existen otros componentes no almidonosos que pueden afectar este comportamiento. El incremento en el tamaño de partícula de las harinas de maíz causa incremento en la dureza de los extrudidos, en contraste, la disminución de este parámetro incrementa la solubilidad y provoca un incremento en la viscosidad (Jozinović *et al.* 2012). Otros efectos del tamaño de partícula reportados durante el procesamiento por extrusión provocan cambios en la gelatinización, pasting, hinchamiento, así como la digestibilidad enzimática (Escalante-Aburto *et al*. 2016). Las propiedades reológicas de productos de cereales integrales, también dependen de las variaciones genéticas de la fuente de almidón (tipo de maíz) y están relacionadas con el flujo del material dentro del extrusor (Tadeu Paraginski *et al.* 2014). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del tamaño de partícula y las condiciones de extrusión en la viscosidad máxima de botanas nixtamalizadas de maíz azul integral.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Se utilizó maíz azul criollo (cosecha, 2011) obtenido en Toluca, Estado de México. Los granos se limpiaron (Clipper BLOUNT/Ferrell-Ross, Modelo M2BC; Bluffon Inc., USA) retirando granos quebrados e impurezas. El maíz limpio se almacenó a 5°C en bolsas de polietileno selladas y en completa oscuridad hasta su utilización.

Reactivos

Se utilizó cal comercial (Calhidra de Sonora, SA de CV, Hermosillo, Son. México) y agua destilada.

Proceso de molienda

Para obtener el maíz molido 1 ó 3 veces, se procedió de la siguiente manera: se pesaron 7 kg de maíz azul y se molieron utilizando una malla con abertura de 0.8 mm, en un molino de 6 aspas y coraza acanalada (Modelo 200, Pulvex S.A. de C.V., serial 1030401, México, D.F). Posteriormente, se separaron 3 kg del maíz molido al finalizar la molienda, se colocaron en una bolsa de polietileno y se denominó "maíz de la primera molienda, M1". El resto del maíz (3kg) se pasó por el molino dos veces más, se colocó en una bolsa de polietileno y se denominó "maíz de la tercera molienda, M3".

Las bolsas de polietileno separadas con el maíz molido de la primera y tercera molienda, se sellaron para evitar la pérdida de humedad, y se almacenaron en ausencia de luz a 5°C en una cámara de refrigeración hasta su utilización. Las moliendas M1 y M3, se realizaron con la finalidad de obtener muestras con diferente índice y distribución de tamaño de partícula.

Distribución de tamaño de partícula (DTP)

Este parámetro es importante para la determinar la funcionalidad de las harinas obtenidas y su aplicación en la elaboración de ciertos productos. Se obtuvo utilizando un separador de tamices (Rotachoc, Chopin Instruments, serial 46902, Villenueve-La-Garenne, France), pasando 50 g del material molido a través de los siguientes tamices: No. 20 (841 µm), 40 (420 µm), 60 (250 µm), 80 (177 µm), 100 (149 µm) y fondo (<149 µm) (Platt *et al.* 2010).

Las fracciones de maíz molido retenidas en cada malla se pesaron para obtener la DTP utilizando la siguiente ecuación:

$$DTP = (g\ retenidos\ en\ cada\ malla)(muestra\ inicial\ de\ harina)\ x\ 100 \quad (1)$$

El resultado de esta determinación se reportó en %. El análisis se realizó por triplicado.

Índice de Tamaño de Partícula (ITP)

Entre más alto es el ITP, mayor cantidad de partículas finas se encuentran en el material evaluado. Se calculó de acuerdo a lo reportado por Bedolla & Rooney (1984) utilizando la siguiente fórmula:

$$ITP = \sum[(\mathrm{FN0M}i)(\%\ \mathrm{DTP}) + \cdots + (\mathrm{FN0M}n)(\%\ \mathrm{DTP})] \quad (2)$$

Dónde:

FN0M: Factor de número de malla y DTP: Distribución del tamaño de partícula (%).

El factor de número de malla se asignó de acuerdo al número de la serie de tamices U.S.: 0.2, malla No 20; 0.4 malla No 40; 0.6 malla No 60; 0.8 malla No 80; 1.0 malla No 100 y fondo. El % de retención de cada malla se obtuvo en el análisis de DTP. La determinación se realizó por triplicado.

Obtención de los extrudidos

Acondicionamiento. Lotes de muestra de 250 g de maíz de las moliendas M1 y M3 se colocaron individualmente en una mezcladora (Kitchen Aid, Modelo MK45SSWH, St. Joseph, Michigan, U.S.A), se adicionó cal (0.3% p/p) y agua destilada hasta alcanzar contenidos de humedad de 14, 15, 16, 16.5, 18.5 ó 20.5% (p/p). Una vez acondicionado, cada lote se reposó durante 12 h a 4°C en ausencia de luz, en un refrigerador comercial (Whirlpool, Modelo 2155060-A, Benton Harbor, Michigan, U.S.A.), esto con el fin de obtener una mejor hidratación de los gránulos de almidón.

Proceso de nixtamalización por extrusión. Cada lote acondicionado de maíz molido con cal y diferente contenido de humedad, fue procesada con el fin de obtener un producto expandido. Se utilizó un extrusor de tornillo simple (Brabender Instruments, Model E 19/25 D, OHG Duisburg, Duisburg, Germany). El equipo consta de un cañón separado en 4 zonas independientes de calentamiento/enfriamiento (1,300 W cada una). Las temperaturas en el cañón fueron: 60, 80, 110°C en la primera, segunda y tercera zona, respectivamente. La temperatura de la cuarta zona fue de 130 ó 140°C. La velocidad de alimentación fue de 50 rpm. La velocidad del tornillo se mantuvo constante a 120 rpm. Se utilizó el tornillo número 3 (razón de compresión 3:1) y un dado con diámetro de 4 mm. Las condiciones de operación se seleccionaron de combinaciones factoriales de las siguientes variables de procesamiento: 2 ITP´s (M1 o M3), 6 humedades de alimentación (14, 15, 16, 16.5 18.5 ó 20.5%) y 2 temperaturas en la cuarta zona del extrusor (130 ó 140°C).

La combinación de estos factores resultó en un total de 24 tratamientos. Cada tratamiento fue colocado en la tolva de alimentación del extrusor con las condiciones antes mencionadas y se obtuvieron los expandidos de maíz azul. Una vez obtenidos los materiales expandidos, se seccionaron en piezas de 3 centímetros de largo y se enfriaron a temperatura ambiente (25°C) durante 1 h. Posteriormente, se secaron en un secador tipo túnel (sin marca) a una temperatura de 60°C durante 2 horas. Los extrudidos se molieron, se almacenaron en bolsas de polietileno y se mantuvieron a 5°C hasta la realización de las pruebas.

Viscosidad máxima

Una muestra de 3.5 g (14% de humedad) de extrudido molido de cada tratamiento, se pesó en un recipiente de aluminio y se le adicionaron 25.5 mL de agua destilada. Se utilizó un equipo analizador rápido de viscosidad (Rapid Visco Analyser, modelo Super 4, Newport Scientific). La muestra se mezcló con una paleta agitadora de plástico y se analizó mediante una rampa de calentamiento: la temperatura inicial fue de 50°C, posteriormente, se incrementó a 95°C manteniéndose a esta temperatura durante 5 min. Finalmente, la temperatura disminuyó

nuevamente hasta alcanzar 50°C. El parámetro de interés fue la viscosidad máxima (pico), la cual se expresó en cP. El análisis se realizó por duplicado. Estos parámetros también en el maíz azul molido de la primera y tercera molienda (como control).

Diseño de experimentos y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental factorial de 6x2x2. Los factores fueron humedad de alimentación con seis niveles (14, 15, 16, 16.5, 18.5 y 20.5%), índice de tamaño de partícula con dos niveles (M1 y M3), y temperatura de la cuarta zona del extrusor con dos niveles (130 y 140°C). La variable respuesta fue viscosidad máxima. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con 95% de confiabilidad. Además se realizó un análisis de comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P<0.05$) para ver diferencias entre tratamientos específicos. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa estadístico Statistical Analytical System, versión 9.1.3 (SAS, Institute Cary Inc., EUA, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de tamaño de partícula

Cuando el maíz es transformado en harina los granos son molidos o triturados. Durante este proceso los principales componentes del grano, una porción de los gránulos de almidón y sus estructuras internas (regiones amorfas y cristalinas), son también dañadas o degradas físicamente por fuerzas mecánicas, lo que afecta significativamente sus propiedades químicas y físicas (Li *et al*. 2014).

Los productos obtenidos por extrusión dependen principalmente de las características del maíz molido: tamaño de partícula, contenido de almidón dañado por el proceso de molienda (tipo de molino) y condiciones del extrusor (Maldo *et al*. 2014). Para la distribución de tamaño de partícula, el análisis estadístico indicó que el grado de molienda (M1 o M3) afectó significativamente ($P<0.05$) esta determinación. Las fracciones retenidas en cada una de las mallas del maíz molido de la primera molienda (M1) fueron estadísticamente diferentes a aquellas obtenidas de la tercera molienda (M3). En la Figura 1, se presenta la distribución de tamaño de partícula (DTP) del maíz molido de M1 y M3.

Para ambas moliendas se observa una DTP de forma sigmoidal, esta forma en la distribución se ha reportado en maíz molido obtenido por atrición o molienda de martillo (Sahai *et al*. 2001). Para el maíz molido de M1 y M3, los mayores pesos retenidos se encontraron en las mallas No. 60 (250 µm) y fondo (<149 µm). Para la M1, el peso retenido en la malla No. 60 fue estadísticamente mayor que para el maíz de M3. Sin embargo, el peso retenido en el fondo (<149 µm) en el maíz de M3 fue significativamente mayor que el presentado por la M1. Por otro lado, en el resto de las mallas, el peso retenido fue significativamente mayor para M1 que para M3.

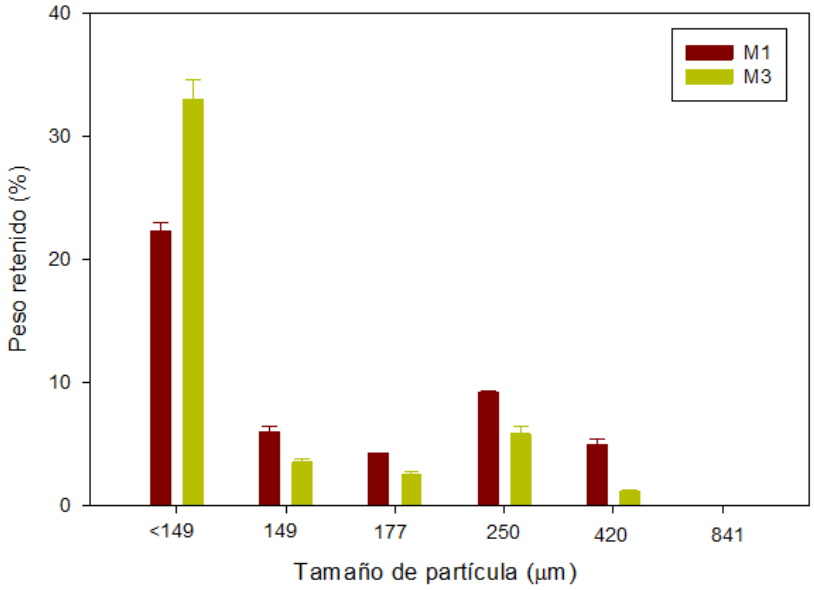

Figura 1. Distribución de tamaño de partícula del maíz obtenido de la primera (M1) y tercera (M3) molienda. Las barras indican la desviación estándar.

La fracción acumulativa de maíz molido en las mallas No. 20, 40, 60 y 80 (partículas gruesas), fue de 39.41% para el maíz molido de M1 y 20.92% para el maíz molido de M3. Estos resultados difieren a aquellos presentados por Fernández *et al.* (2010), quienes obtuvieron mayores porcentajes de retención (80-90%) en fracciones de harina nixtamalizada en las mallas No. 40, 60 y 80.

Cuando se comparan las fracciones acumulativas retenidas en la malla No. 100 y el fondo (partículas finas), los resultados muestran una diferencia marcada entre las fracciones de M1 (60.58%) y M3 (79.08%). De acuerdo a Carbas *et al*. (2016), la DTP de harinas nixtamalizadas está asociada al tratamiento térmico-alcalino, tiempo de acondicionamiento y molienda. Este proceso modifica los componentes del grano, lo cual se asocia a la inhibición de la gelatinización del almidón causada por la adición de hidróxido de calcio a los granos de maíz.

Índice de tamaño de partícula

El índice de tamaño de partícula (ITP) de las fracciones de maíz molido se presenta en la Tabla I. El ITP del maíz molido de M1 fue menor (P<0.05) al compararse con el maíz molido de M3. Los valores elevados de este parámetro, denotan una alta proporción de partículas finas. De acuerdo a Budâcan *et al.* (2013) las muestras de maíz molido fino producen extrudidos con más expansión que las muestras con molido medio y grueso (ITP bajo) a determinadas condiciones de procesamiento.

Tabla I. Índice de tamaño de partícula (ITP) en maíz azul molido de M1 y M3.

Número de molienda	ITP
Primera (M1)	83.97 ± 0.86a[a]
Tercera (M3)	94.15 ± 3.18b

[a] Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticas significativas (P<0.05)

Viscosidad máxima

Para evaluar la calidad de los productos extrudidos, la medición de la viscosidad amilográfica ha sido utilizada para determinar cambios ocasionados por efecto del cocimiento, y la adición de agua en maíz molido (Sánchez-Madrigal *et al.* 2014). En la Tabla II se presenta el ANDEVA del efecto de la temperatura, índice de tamaño de partícula y humedad de alimentación sobre la VM de los extrudidos.

Tabla II. Análisis de varianza, valor de *F*, del efecto de la T, ITP y HA sobre la viscosidad máxima de extrudidos de maíz azul.

Fuente de variación	GL[a]	*F*
Temperatura (T)	1	27.28**[b]
Índice de tamaño de partícula (ITP)	1	335.08**
Humedad de alimentación (HA)	4	893.42**
(T)(ITP)	5	33.27**
(HA)(ITP)	5	64.32**
(HA)(T)	5	258.98**
(HA)(T)(ITP)	1	48.72**
Error	24	
Total	46	

[a] GL, grados de libertad
[b] *Muy significativo (P<0.01)

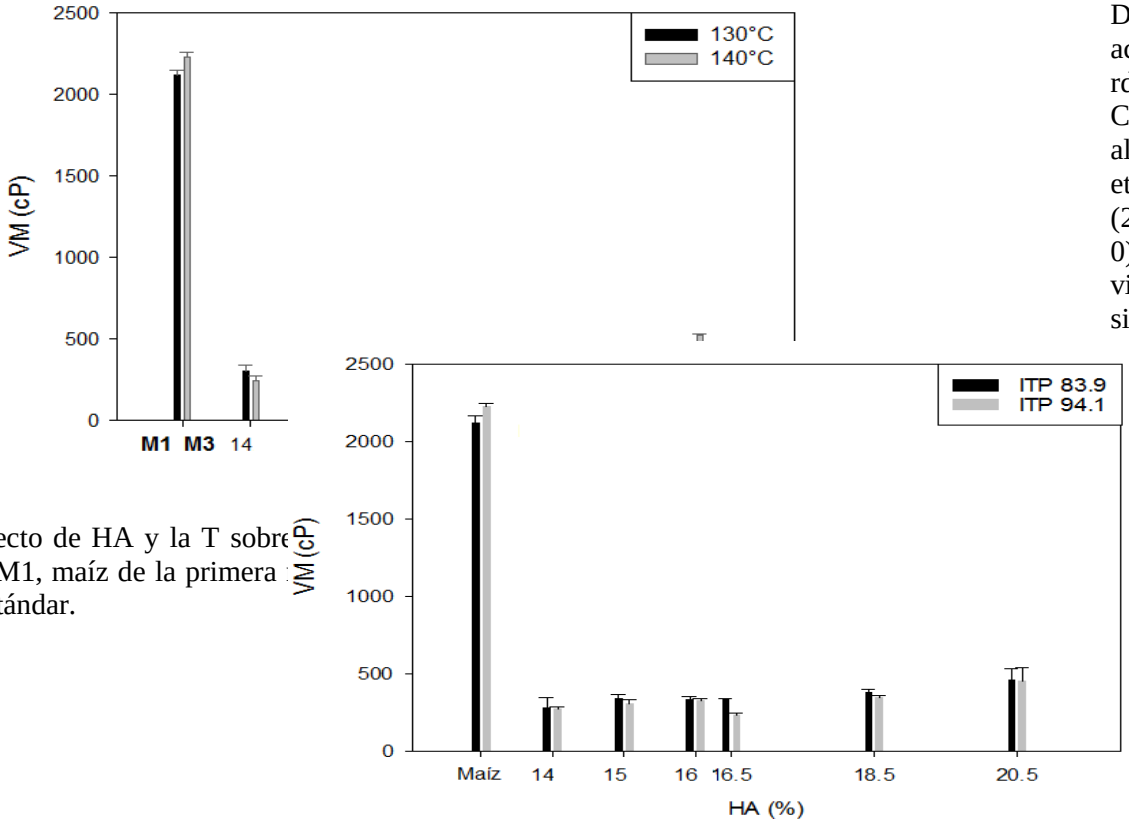

Figura 1. Efecto de HA y la T sobre temperatura. M1, maíz de la primera desviación estándar.

Figura 2. Efecto de la HA y el ITP sobre la VM de los extrudidos nixtamalizados elaborados con diferente ITP. Las barras indican la desviación estándar.

De acuerdo a Carvalho et al. (2010), la viscosidad de una pasta depende de en gran medida de la gelatinización y el grado de fragmentación molecular de los

gránulos de almidón. Al analizar el efecto de la HA sobre la VM, se observa que los valores más elevados (456 cP) se presentaron en los extrudidos procesados con HA de 20.5%, y los valores más bajos fueron para los extrudidos obtenidos con HA de 14% (275.6 cP) siendo estadísticamente diferentes ($P<0.05$) entre ellos. Sin embargo, no se presentó una tendencia clara para este parámetro evaluado. Se ha demostrado que un mayor daño al almidón conlleva a la disminución de la temperatura de gelatinización y menores valores de viscosidad, el maíz molido de ITP 94.1 presentó mayor contenido de almidón dañado.

El factor T no mostró diferencias estadísticas significativas, siendo la VM promedio de 331.8 y 341.2 cP para los extrudidos obtenidos a 130 y 140°C, respectivamente. Esto significa que el rompimiento de los gránulos de almidón, fue causado en parte por el efecto de la molienda y en mayor proporción por la fuerza de corte y presión dentro del extrusor (daño físico), y no por efecto térmico.

En la Figura 2 se presenta el efecto de la HA y el ITP sobre la VM de los extrudidos nixtamalizados. En general, la VM de los extrudidos incrementó en un rango de HA de 14 a 16%, posteriormente disminuyó en los tratamientos elaborados con HA de 16.5% y hasta 20.5%. Los datos obtenidos se ajustaron a una ecuación polinomial cúbica, obteniendo coeficientes de regresión (R^2) de 0.96 y 0.80, en la VM de extrudidos elaborados con maíz de ITP 83.9 y 94.1, respectivamente.

Los resultados obtenidos en esta investigación, sugieren que las moléculas de almidón sufren cierto grado de fragmentación durante la molienda, pero mayormente durante el proceso de extrusión donde la fuerza de corte y la

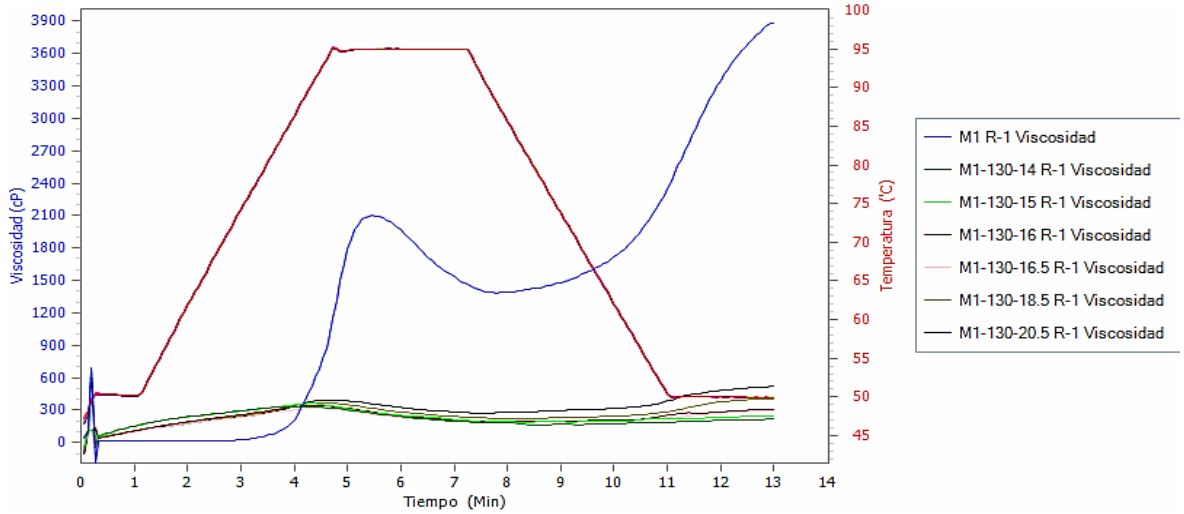

Figura 3. Curvas viscoamilográficas de los extrudidos procesados con diferente humedad de alimentación, maíz de la primera molienda (M1, ITP 83.9) y 130°C.

razón de compresión del tornillo, degradan los gránulos de almidón, seguido de una rápida transferencia de moléculas de agua hacia el interior de los mismos. Lo anterior se asocia con el efecto del grado de molienda en los extrudidos. Se observó que los tratamientos elaborados con maíz de ITP 83.9 presentaron la VM más alta (353.08 cP) que aquellos obtenidos con maíz de ITP de 91.4 (320.08 cP).

Debido a que el proceso de extrusión se llevó a cabo utilizando bajos contenidos de humedad, se asumió que el almidón contenido en los extrudidos nixtamalizados se encontraba completamente gelatinizado, ya que las curvas obtenidas en los viscoamilogramas presentaron valores de VM muy bajos en comparación con el maíz molido sin extrudir (Figuras 3, 4, 5 y 6).

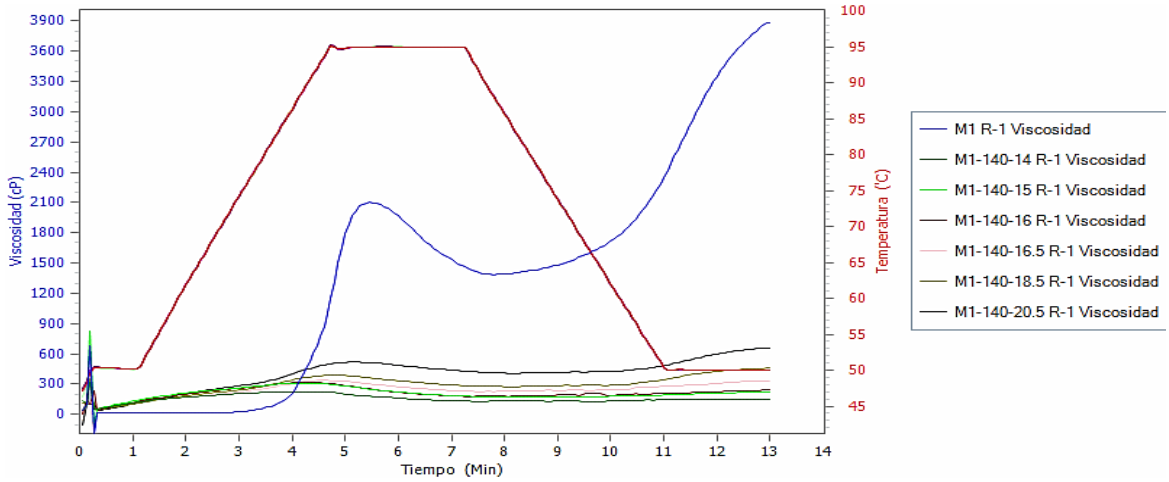

Figura 4. Curvas viscoamilográficas de los extrudidos procesados con diferente humedad de alimentación, maíz molido de la primera molienda (M1, ITP 83.9) y 140°C.

En la Figura 6, se observa una diferencia marcada en los extrudidos elaborados a 140°C, ITP 94.1 y HA de 20.5%, debido a que presentaron la VM mas alta (529 cP) de todos tratamientos. Lo anterior demuestra que el daño causado durante el procesamiento por extrusión, fue mayor que el producido durante la molienda de los granos. Al encontrarse mayor cantidad de gránulos de almidón intacto en el maíz molido sin extrudir, la viscosidad desarrollada por estos materiales fue mayor que en los sometidos a los diferentes procesamientos.

Hossen *et al.* (2011), indicaron que la pendiente formada antes de llegar al pico máximo de viscosidad (VM), depende en gran parte de la dureza del maíz analizado, es decir, que existe una correlación negativa entre la

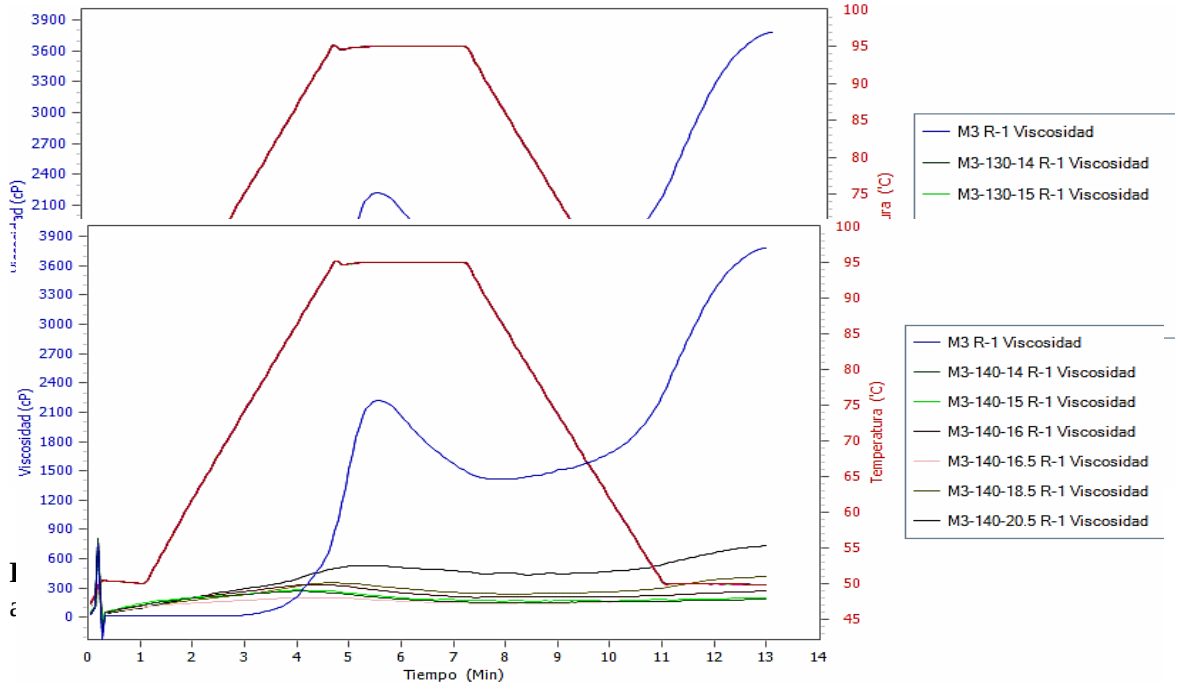

Figura 6. Curvas viscoamilográficas de los extrudidos procesados con diferente humedad de alimentación, maíz molido de la tercera molienda (M3, ITP 94.1) y 140°C.

dureza del grano y la pendiente. Los maíces con endospermo suave, desarrollan curvas de viscosidad más rápidamente, con mayor pendiente y más viscosidad pico, debido a que los gránulos de almidón del endospermo suave se encuentran más disponibles para hidratarse y gelatinizar durante el análisis con el RVA, lo cual ocurre en el maíz sin extrudir de ambas moliendas.

CONCLUSIÓN

El índice de tamaño de partícula fue mayor en el maíz molido obtenido de la tercera molienda (M3). La viscosidad máxima de los extrudidos nixtamalizados de maíz azul fue afectada significativamente por los tres factores de procesamiento índice de tamaño de partícula, humedad de alimentación y temperatura de la cuarta zona del extrusor. Las moléculas de almidón sufrieron daños considerables provocando una alta dextrinización y mayor cantidad de almidón dañado.

BIBLIOGRAFÍA

Santiago-Ramos, D., Figueroa, J.D.C., Véles-Medina, J.J., Mariscal-Moreno, M.R., & *et al.* (2015). Resistant starch formation in tortillas from an ecological nixtamalization process. Cereal Chemistry, 92, 185–192.

Jozinovič, A., Subaric, D., Ackar, D., Babic, J., & *et al.* (2012), Effect of screw configuration, moisture content and particle size of corn grits on properties of extrudates. Croatian Journal of Food Science and Technology, 4, 95–101.

Escalante-Aburto, A., Ponce-García, N., Ramírez-Wong, B., Santiago-Ramos, D., Véles-Medina, J.J., & Figueroa, J.D.C. (2016). Effect of extrusión factors and particle size on starch properties of nixtamalized whole blue corn snacks. Starch/Stärke, 68, 1-10.

Tadeu Paraginstki, R. Levien, V.N., Moomand, K., de Oliveira, M., da Rosa, Z.E., Marques e Silva, R., Dietrich, F.C., & Cardoso, E.M. (2014). Characteristics of starch isolated from maize as a function of grain storage temperature. Carbohydrates Polymers, 120, 88-94.

Platt, L.L.C., Ramírez, W.B., Torres, C.P.I., López, C.J., Sánchez, M.D.I., Reyes, M.C., Milán, C.J., & Morales, R.I. (2010). Improving textural characteristics of tortillas by adding gums during extrusion to obtain nixtamalized corn flour. Journal of Texture Studies, 41(5), 736-755.

Bedolla, S., & Rooney, L.W. (1984). Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for tortilla and snack preparation. Cereal Foods World, 29, 732-735.

Li, E., Dhital, S., & Hasjim, J. (2014). Effects of grain milling on starch structures and flour/starch properties. Starch/Stärke, 66(1-2), 1-13.

Maldo, P.A., & Conti-Silva, C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. Journal of Food Engineering, 121, 9-14.

Sahai, D., Mua, J.P., Surjewan, I., Buendia, M.O., Rowe, M., & Jackson, D.S. (2001). Alkaline processing (nixtamalization) of white Mexican com hybrids for tortilla production: Significance of corn physicochemical characteristics and process conditions. Cereal Chemistry, 78, 116-120.

Fernández-Muñoz, J. L., Ortiz, H., Rodríguez-García, M. E., Figueroa-Cárdenas, J. D., Leal-Pérez, M., & Martinez-Flores, H. E. (2010). Evaluación de los cambios fisicoquímicos a diferentes tamaños de partícula de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo de reposo. Superficies y vacío, 23(4), 21-24.

Carbas, B., Vaz-Patto, M.C., Bronze, M.R. Bento-da-Silva, A., Trigo, M.J., & Brites, C. (2016). Maize flour parameters that are related to the consumer perceived quality of 'broa' specialty bread. Food Science Technology, Campinas, 36(2), 259-267.

Budâcan, I., Pop, D., & Drocaş, I. (2013). Size distribution of maize milled particles obtained by using a hammer mill. Acta Technical Napocensis, 56(4), disponible en: https://atna-mam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/view/108.

Sánchez-Madrigal, M.A., Meléndez-Pizarro, C.O., Martínez-Bustos, F., Ruiz-Gutiérrez, M. G., & et al. (2014). Structural, functional, thermal and rheological properties of nixtamalized and extruded blue maize (Zea mays L.) flour with different calcium sources. International Journal of Food Science and Technology, 49, 578–586.

Carvalho, C.W.P., Takeiti, C.Y., Onwulata, C.I., & Pordesimo, L.O. (2010). Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. Journal of Food Engineering, 98, 103-109.

Hossen, S., Sotome, I., Takenaka, M., Isobe, S., Nakajima, M., & Okadome, H. (2011). Effect of particle size of different crop starches and their flours on pasting properties. Japan Journal of Food Engineering, 12(1), 29-35.