

EFFECTOS DE ALGUNAS VARIABLES DE EXTRUSION SOBRE LA HARINA DE MAIZ

*Rolando José González,¹ Dardo Mario De Greef,²
Roberto Luis Torres,² y Norma Alicia Gordo²*

Instituto de Tecnología de Alimentos
Universidad Nacional del Litoral
Santa Fe, Argentina

RESUMEN

La extrusión de harinas y sémolas es una operación relativamente simple. Sin embargo, la interpretación del mecanismo de transporte y de las transformaciones que se llevan a cabo durante la operación, es muy compleja.

El análisis de los efectos producidos sobre las propiedades del material a través de aquellos métodos que mejor describan las transformaciones producidas, y la correlación de estos "indicadores" o respuestas con las variables del proceso, permiten interpretar mejor el fenómeno y seleccionar las condiciones de operación a tener presentes, para la obtención de determinadas características en el producto.

En el presente estudio se evaluó el efecto de la humedad del material, la temperatura de extrusión y la relación de compresión y velocidad de rotación del tornillo sobre las propiedades de la harina de maíz, por medio de las siguientes respuestas: caudal másico, consumo específico de energía mecánica, volumen específico, expansión, solubilidad en agua y respuesta amilográfica.

De conformidad con los resultados, la humedad es la variable más relevante en la modificación de las propiedades, mientras que la importancia relativa de la temperatura y la relación de compresión depende de la propiedad a que se refiera. Así, por ejemplo, para el consumo específico de energía mecánica la relación de compresión es más importante, mientras que para la expansión y el volumen específico, lo es la temperatura.

Por otra parte, la solubilidad parece ser la propiedad que mejor describe los cambios producidos en la muestra extrudida, mientras que el volumen específico y el consumo específico de energía mecánica, aún siendo menos eficientes, resultan también ser respuestas muy útiles.

Manuscrito modificado recibido: 24-7-87.

- 1 Profesor Adjunto del Instituto de Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- 2 Jefe de Trabajos Prácticos del mismo Instituto.

INTRODUCCION

La extrusión termoplástica de harinas y sémolas constituye una operación relativamente simple, cuyas ventajas han sido destacadas por diferentes autores (1-4).

Sin embargo, la interpretación del mecanismo de transporte, así como de las transformaciones que se llevan a cabo en el material, es muy compleja (5-7). Esta complejidad es atribuida principalmente a la naturaleza de tales materiales y al número de variables que intervienen, tanto de diseño como de operación.

El análisis del efecto de estas variables sobre las propiedades físicas y químicas del material extrudido puede efectuarse según diferentes diseños experimentales; pero cuanto mayor sea el número de variables cuyos efectos conjuntos se desea investigar, mayor será la complejidad de la respuesta y menor la precisión (8). No obstante, es sabido que existe un alto grado de interrelación entre las variables; por ejemplo, humedad del material, temperatura del sistema, velocidad de rotación del tornillo y diseño del tornillo, del cilindro y de la boquilla (9-14).

Por otra parte, la caracterización del estado de una muestra extrudida puede efectuarse por diversos métodos (solubilidad en agua, respuesta amilográfica, susceptibilidad enzimática, absorción de agua, etc.). Sin embargo, el término "grado de cocción" se acepta generalmente como el grado de alteración y ruptura de la organización estructural del material original (gránulo de almidón) (11, 15-17).

En el presente trabajo se discutirán los efectos producidos en la harina de maíz cuando la humedad del material, la temperatura, la relación de compresión del tornillo y la velocidad de rotación (rpm) se varían.

MATERIAL Y METODOS

En todos los casos se utilizó un extrusor de laboratorio marca Brabender, Modelo 20 DN (relación longitud/diámetro = 20), equipado para la medición y registro de temperatura y momento torsor.

Como materia prima y a los efectos de disponer de un material de granulometría más homogénea se seleccionó la fracción comprendida entre 0.421 y 0.710 mm de una sémola proveniente de la molienda de maíz semidentado Cargill No. 2 con la siguiente composición:

- Humedad: 13^o/o
- Proteína (bs): 10.4^o/o (o/o N x 6.25)
- Almidón (bs): 84^o/o
- Materia grasa (bs): 0.62^o/o

Para cada experiencia, el caudal de entrada fue el máximo admisible por caída libre a través de la tolva de alimentación; de esta manera se aseguró el llenado completo de la zona de alimentación del tornillo.

En cada caso, las muestras se tomaron luego de alcanzar el estado estacionario, es decir, cuando el momento torsor, temperatura y el caudal de salida eran constantes. Los niveles elegidos para cada variable fueron:

- Humedad: 15% — 18% — 22% y 30%.
- Temperatura de extrusión: 150°C — 180°C y 210°C (estas temperaturas corresponden a la última zona del cilindro y a la boquilla, y fueron controladas por calefactores eléctricos).
- Relación de compresión del tornillo: 2:1 y 4:1.
- Velocidad de rotación del tornillo: 60, 120 y 180 rpm.
- Para la mayoría de los ensayos, el diámetro y longitud de la boquilla fueron: 4.25 mm y 20 mm, respectivamente, aunque también se utilizaron otras de diámetro 3 y 2 mm, ésta última de longitud 100 mm.

El efecto de las variables se analizó a través de las siguientes respuestas:

- *Caudal másico* (g_{ss}/min): Caudal de salida de producto expresado sobre la base de sólido seco.
- *Consumo específico de energía mecánica (CEEM)* — Se calculó de acuerdo a la fórmula:

$$CEEM = 2 \pi \times 9.81 \times 10^{-3} \frac{T.n}{Q_{ss}} = 0.0616 \frac{T.n}{Q_{ss}}$$

CEEM: Consumo específico de energía mecánica (joule/g)

T: Momento torsor en U.B. (g/min) (Unidades Brabender)

n: Velocidad del tornillo en rpm.

Q_{ss}: Caudal másico de salida en g. sólido seco/min.

- *Volumen específico* — Se determinó la velocidad lineal y el diámetro del material a la salida, y con el caudal másico se calculó el volumen específico del producto en cm³/gramo.
- *Expansión* — Es la relación entre el diámetro de salida y el diámetro de la boquilla.
Para determinar las otras propiedades de la harina, tales como solubilidad en agua y respuesta amilográfica, las muestras se secaron a 50°C con circulación de aire por el término de 48 hr y posteriormente fueron molidas en molino de rodos hasta que el 95 — 98% pasara por la malla No. 40 (0.421 mm).
- *Solubilidad en agua* — Se utilizó la técnica de Anderson *et al.* (18), excepto que la centrifugación se realizó en centrífuga Rolco AMC a 2,000 g.
- *Respuesta amilográfica* — Se utilizó el Amilógrafo de Brabender con el cabezal de 250 g-cm y la concentración de sólidos fue de 8.6% en todos los casos. Antes de iniciar el calentamiento se mantuvo la suspensión en agitación a máxima velocidad durante 5 min, para asegurar hidratación completa; luego la temperatura se elevó desde 30°C hasta 95°C. Se mantuvo a 95°C por 15 min, y se enfrió hasta 30°C. Tanto el calentamiento como el enfriamiento se efectuaron a razón de 1.5°C/min. La viscosidad se expresa en Unidades Amilográficas (U.A.).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características de los productos obtenidos en diferentes condiciones de temperatura, humedad y relación de compresión, se aprecian en la ilustración fotográfica al respecto.

Lo primero que cabe destacar es la presencia de un producto atípico que se obtiene a humedades bajas (alrededor del 15^o/o) para el tornillo de relación de compresión 2:1, y para los tres niveles de temperaturas cuyas propiedades tienen valores que se acercan a los de la materia prima. Estas muestras se caracterizan por contener aún una buena proporción de partículas de harina sin tratar, indicativo de que el proceso de extrusión en esas condiciones no alteró en gran medida las propiedades de la materia prima, actuando el extrusor como un equipo de cocción deficiente.

Las propiedades de una de estas muestras comparadas con las de la materia prima y la correspondiente de alto grado de cocción (caso del tornillo de relación de compresión 4:1), se observan en la Figura 1.

Lo que sucede es que para este diseño de extrusor existen algunas combinaciones de los niveles de las variables tales como humedad, diámetro de boquilla y relación de compresión, que impiden una transformación adecuada del material sólido en un flujo viscoso de una masa continua antes de llegar a la boquilla. Aspectos relacionados con este fenómeno han sido comentados por Paton *et al.* (19) y por González *et al.* (20).

Relación: Caudal Másico — Consumo Específico de Energía Mecánica (CEEM)

La Figura 2 muestra la diferencia de comportamiento entre los dos tornillos utilizados vinculando un parámetro indicativo del transporte de material (caudal) con otro indicativo del grado de cocción (CEEM).

Según se aprecia, para igual CEEM, el tornillo de relación de compresión 2:1 es más eficiente como transportador de material, mientras que para caudales iguales, el tornillo de relación de compresión 4:1 es más eficiente como recipiente de cocción.

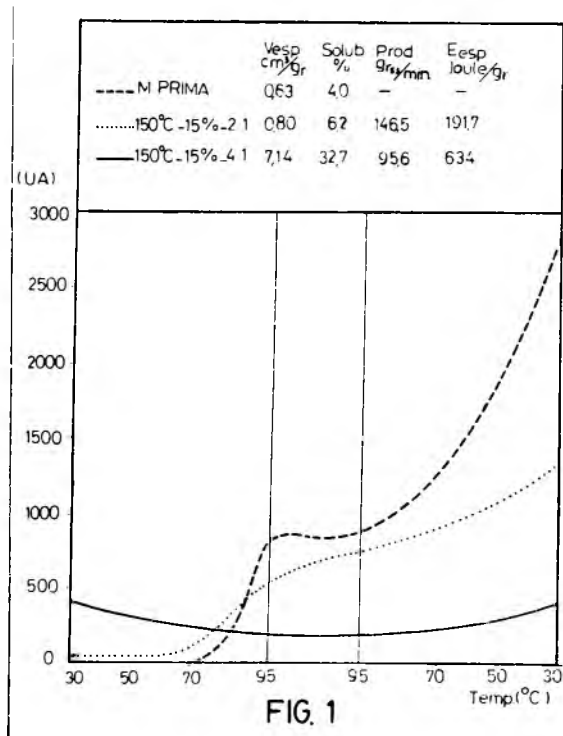
Se observa también que una disminución de humedad provoca un aumento del caudal y del CEEM. No obstante, en el caso del tornillo de relación de compresión 2:1, la aparición de las muestras atípicas produce una disminución brusca del CEEM.

El efecto de la temperatura, si bien claro para el tornillo relación de compresión 4:1 (a menor temperatura mayor CEEM), no lo es así en el caso del tornillo de relación de compresión 2:1, motivado fundamentalmente por la distorsión que se produce por la presencia de las muestras atípicas. A manera de ejemplo, en la Figura 2 se muestran también las propiedades de dos muestras cuyos CEEM son similares.

El caudal que se obtiene con el tornillo de relación de compresión 2:1 es 65^o/o mayor que el obtenido con el tornillo de relación de compresión 4:1, si bien las propiedades indicarían como más cocida a la muestra obtenida con el tornillo de relación de compresión 4:1 que muestra mayor solubilidad, mayor viscosidad inicial y menor retrogradación. Ahora bien, si las especificaciones del producto requerido están

VELOC. TORNILLO 120rpm DIAM. BOQUILLA 4,25mm		HARINA DE MAIZ EXTRUDADA	
Humed (%)	R.C	Temperatura (°C)	
		150	180
15	2:1		
	4:1		
18	2:1		
	4:1		
22	2:1		
	4:1		
30	2:1		
	4:1		

Características de los productos obtenidos en diferentes condiciones de temperatura, humedad y relación de compresión del tornillo.



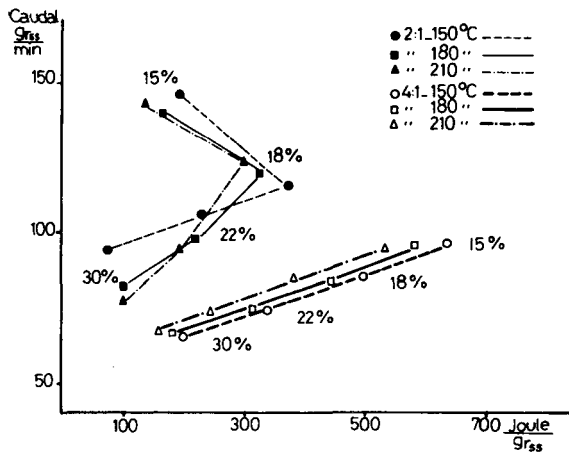
Comparación entre propiedades de dos muestras que sólo difieren en la relación de compresión del tornillo, y las de la materia prima.

en este rango de propiedades, obviamente convendrá trabajar con el tornillo de relación de compresión 2:1 que, además de brindar un aumento de producción, permite utilizar una humedad más baja, con el consiguiente ahorro de energía en el proceso posterior de secado.

Influencia sobre el Volumen Específico

El volumen específico da una idea de la porosidad del producto, y es razonable considerar que a mayor valor de esta propiedad le corresponderá un mayor grado de cocción.

En la Figura 3 se observa cómo esta propiedad es afectada con la humedad y la temperatura para los dos tornillos (2:1 y 4:1). Para el de relación de compresión 4:1, se verifica que el volumen específico aumenta con la disminución de humedad y con el aumento de la temperatura. Lo mismo ocurre con el tornillo de relación de compresión 2:1, exceptuando la región de humedad donde se producen las muestras atípicas.



	caudal (g/min)	vi (UA)	retrog. (UA)	solub. (%)	E. esp. (Joule/g _{ss})
4:1.180°C..22%	73	470	470	333	314,3
2:1.180°C..18%	120	280	520	275	327,3

FIGURA 2

Relación: caudal-consumo específico de energía mecánica para distintas condiciones de humedad, temperatura y relación de compresión del tornillo

Influencia sobre la Solubilidad

En general, la solubilidad aumenta con el aumento de la temperatura, disminución de la humedad y aumento de la relación de compresión (Figura 4). A 30% de humedad y a igualdad de temperatura, la relación de compresión no incide en la solubilidad, cosa que no ocurre a bajas humedades donde la solubilidad aumenta con el incremento de la relación de compresión.

El uso de humedades más bajas a partir de 22% se traduce en una pérdida de eficiencia de cocción (disminución de la solubilidad), siendo este efecto más notable en el caso del tornillo de relación de compresión 2:1. Dicho efecto se compensaría cuando la temperatura llega a 210°C en el caso del tornillo de relación de compresión 4:1, o bien colocando una boquilla que imponga mayor restricción al flujo, es decir, de mayor diámetro o mayor longitud. (Véase Figura 8).

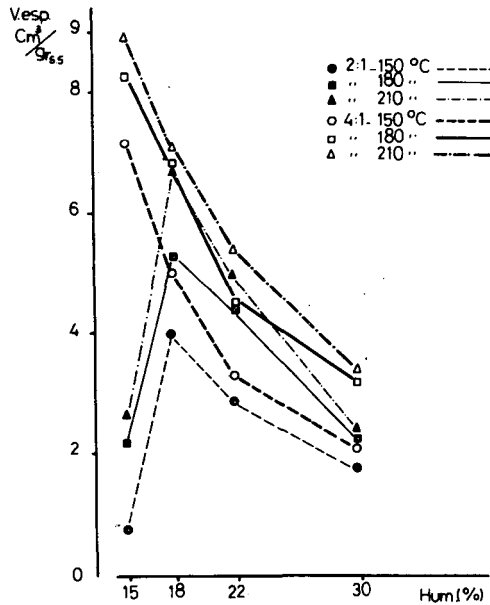


FIGURA 3

Influencia de la humedad de extrusión sobre el volumen específico para distintas condiciones de temperatura y relación de compresión

Influencia sobre el CEEM

La diferencia de consumo entre el tornillo de relación de compresión 4:1 y el de 2:1 se aprecia claramente en la Figura 5, ya que para cualquier humedad los valores de energía consumida son menores para este último.

En cuanto a la temperatura, las diferencias entre 150, 180 y 210°C son más notables para la relación 4:1, careciendo de importancia para el tornillo de relación de compresión 2:1.

La humedad es el parámetro que más variación produce con cualquiera de los tornillos.

Influencia sobre la Expansión

En la Figura 6 se puede ver que la expansión disminuye notablemente con el aumento de la humedad de ambos tornillos. En cuanto a la temperatura, al aumentar ésta, la expansión disminuye para ambas relaciones de compresión. Esto explica por qué a mayor temperatura la velocidad lineal de salida del material aumenta y, por lo tanto, el diámetro debe disminuir para poder mantener el mismo nivel de caudal. Un efecto similar se observa en la extrusión de almidón de maíz (21).

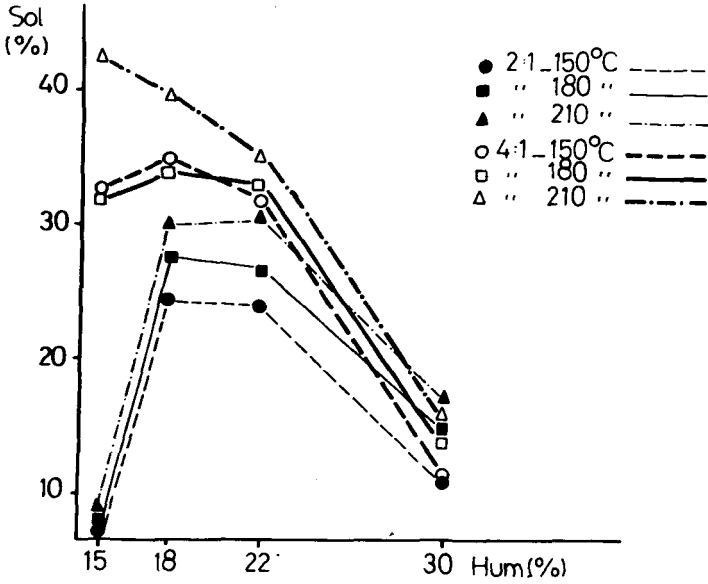


FIGURA 4

Influencia de la humedad de extrusión sobre la solubilidad para distintas condiciones de temperatura y relación de compresión

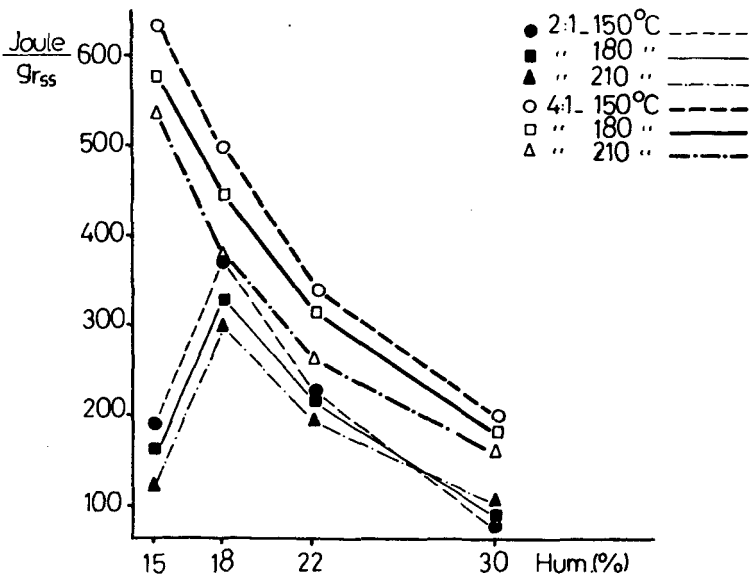


FIGURA 5

Influencia de la humedad de extrusión sobre el CEEM para distintas condiciones de temperatura y relación de compresión

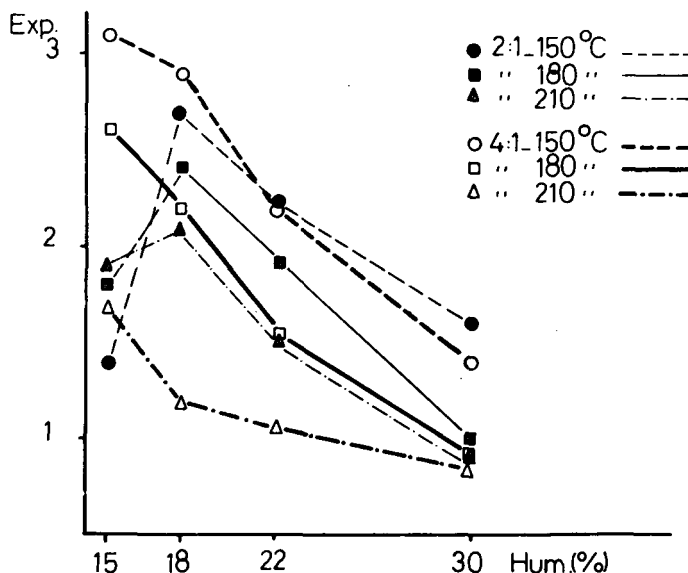


FIGURA 6

Influencia de la humedad de extrusión sobre la expansión para distintas condiciones de temperatura y relación de compresión.

Se nota que a las temperaturas de 180 y 210°C y humedad alta (30%), los valores de expansión son similares, lo que indicaría que ni la temperatura ni la relación de compresión parecen tener mucha influencia a humedades elevadas.

La relación de compresión muestra poca diferencia a 150°C, pero es apreciable a 180°C y más aún a 210°C, a humedades menores de 22%.

Influencia sobre la Respuesta Amilográfica

Con referencia a la respuesta amilográfica, también en este caso, la humedad es el parámetro más importante, mientras que la relación de compresión y la temperatura producen diferencias menos apreciables.

Podemos decir pues, que, en general, la respuesta amilográfica dada por el conjunto de muestras puede clasificarse en tres grandes grupos según su comportamiento durante la cocción (Figura 7).

Curvas del tipo 1— Caracterizadas por alta viscosidad inicial (mayor de 450 U.A.), caída de viscosidad durante el calentamiento con aumento de viscosidad alrededor de 70°C y posterior caída, indicativo de la presencia de cierta cantidad de material con capacidad de hinchamiento en caliente.

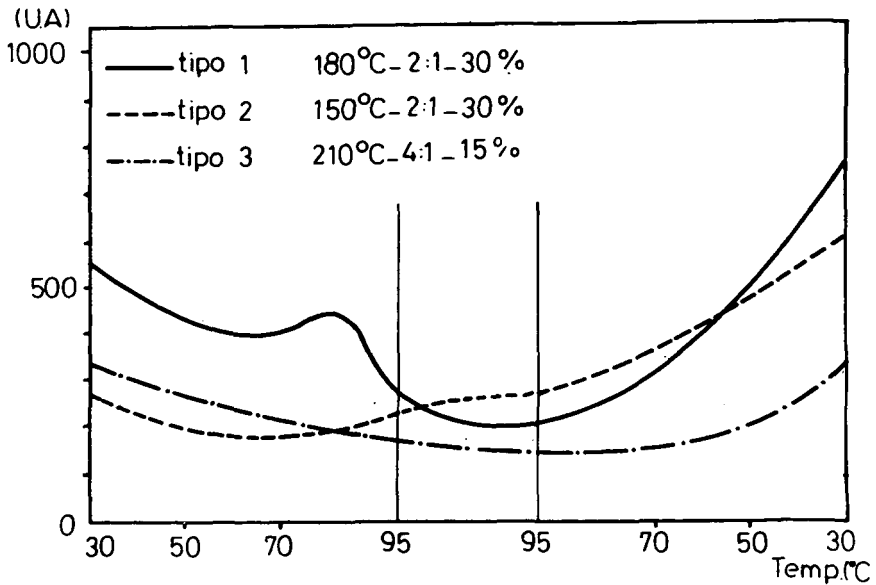


FIGURA 7

Curvas amilográficas características de los tres grupos de muestras obtenidas

Curvas del tipo 2— Baja viscosidad inicial (menor de 300 U.A.), manteniendo esa viscosidad en el período de calentamiento, con tendencia a crecer, y aumento de la misma durante la cocción.

Curvas del tipo 3— Viscosidad inicial intermedia (entre 300 y 450 U.A.), leve disminución en el calentamiento, y mantenimiento durante la cocción.

En general, las condiciones altamente críticas (tratamiento drástico) en la operación, es decir, alta relación de compresión, alta temperatura y humedad baja o intermedia, determinan curvas del tipo 3. Por el contrario, las muestras procesadas a un alto grado de humedad y temperaturas intermedias o altas, determinan curvas del tipo 1, y las procesadas a bajas temperaturas y humedades intermedias o altas, corresponden a las del tipo 2.

Las curvas amilográficas correspondientes al tornillo 2:1 y 18% de humedad para las tres temperaturas indican un comportamiento muy parecido a las del tipo 2. Ello significa que el amilograma, al igual que la solubilidad, estaría detectando ya a 18% la aparición de productos de cocción deficiente, que a 15% originan los productos atípicos. Esto ya no se nota a 22%, donde las curvas tienden a ser como las del tipo 3.

Para el tornillo de relación 4:1 no se observa esta anomalía en ningún caso.

Para finalizar los comentarios referentes a la respuesta amilográfica,

se puede concluir que ninguno de los puntos característicos de la curva, por separado, puede describir con suficiente claridad el estado del material, siendo necesario entonces el análisis de toda la curva. Una situación similar se encuentra en el caso de almidón de maíz extrudido (21). Esto se debe fundamentalmente a que las variaciones de la resistencia ejercida por la suspensión en el amilógrafo (momento torsor) son producto de un conjunto de interacciones, tales como las fuerzas intermoleculares e interparticulares (macromoléculas disueltas, granos de almidón, hidratados y fragmentos de los mismos, y agregados de partículas hidratadas), que dependen no sólo de las fuerzas de interacción sino también de la proporción de cada uno de estos componentes. Lo último está notablemente afectado por las condiciones de extrusión.

Efecto de la Rotación del Tornillo

Por último, para analizar la influencia de la rotación del tornillo sobre las características del producto, es necesario destacar que la velocidad de rotación es un parámetro que, por un lado, afecta al tiempo de residencia del material (masa de material retenido) y, por el otro, al gradiente de velocidad (velocidad tangencial del tornillo) impuesto al flujo.
caudal másico
altura filete del tornillo

Así, a mayor velocidad (mayor producción), menor tiempo de residencia y mayor gradiente, y viceversa. La importancia relativa de ambos efectos depende del nivel de las otras variables y del grado de cocción del material.

En otro grupo de experiencias cuyos resultados se exponen en la Figura 8, se puede observar que, cuando las condiciones de extrusión son tales que producen un alto grado de cocción (evaluado mediante la solubilidad), es decir, baja humedad, alta relación de compresión y alta restricción al flujo (menor diámetro y/o mayor longitud de boquilla), resulta el gradiente de velocidad ser el más importante y, entonces, la solubilidad aumenta con el incremento de la velocidad del tornillo. Por el contrario, cuando las condiciones son tales que producen un menor grado de cocción, o sea, menor restricción al flujo (boquillas cortas) o menor grado de fricción (humedades intermedias o altas), el gradiente parece tener menos influencia, permitiendo observar el efecto del tiempo de residencia a través de la constancia o disminución de la solubilidad con el aumento de la velocidad.

CONCLUSIONES

Respecto de las Variables

La humedad es la variable más importante en la modificación de las propiedades de la sémola de maíz, mientras que la importancia relativa de la temperatura y relación de compresión varía según la propiedad a que se refiera. Así por ejemplo, en el caso del CEEM, la relación de compresión es más importante, y en el de la expansión y el volumen específico, es más importante la temperatura. Por otra parte, el efecto de va-

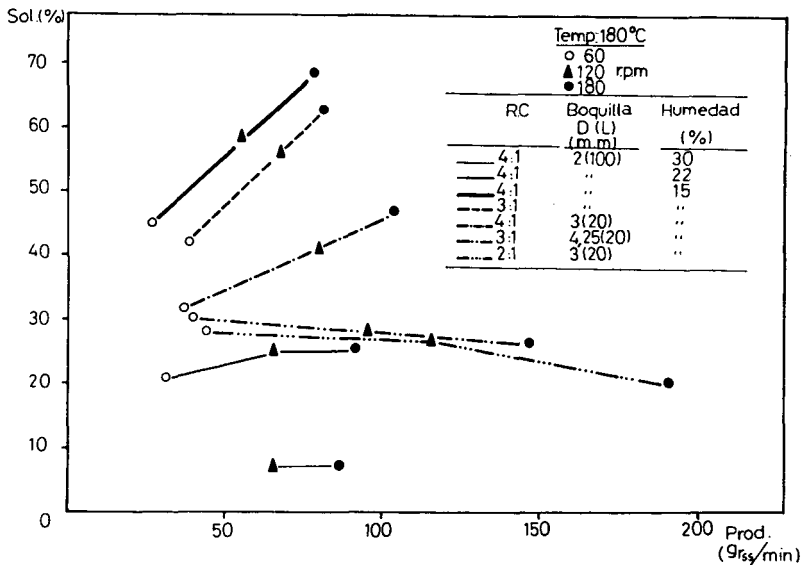


FIGURA 8

Efecto de la velocidad de rotación del tornillo sobre la solubilidad, para distintas condiciones de relación de compresión del tornillo, humedad y relación D (diámetro) — (L): (longitud) de la boquilla.

riables tales como relación de compresión, revoluciones del tornillo y diámetro de boquilla, es más notable a bajas humedades.

Respecto de las Propiedades

Si bien ninguna de las propiedades por sí sola puede describir totalmente el estado de la muestra extrudida, la solubilidad figura como la propiedad más sensible a los cambios. El volumen específico y el CEEM también pueden considerarse adecuadas para describir las modificaciones producidas, y por su simplicidad de determinación se transforman en buenos parámetros de control.

Con referencia a la curva amilográfica, cabe destacar que la evaluación de muestras utilizando esta técnica debe hacerse comparando las curvas completas, es decir, observando los distintos puntos del amilograma simultáneamente. No obstante, en general, valores bajos de viscosidad al final del período de cocción, y de retrogradación, corresponden a mayores grados de cocción.

Por último, debe hacerse notar que la aparición de las llamadas muestras atípicas es consecuencia del diseño simple que posee este extrusor, que para bajas humedades requiere que el nivel de restricción al transporte (relación de compresión, diámetro y longitud de la boquilla) supere cierto nivel mínimo para poder funcionar como recipiente de cocción.

SUMMARY

EFFECTS OF SOME EXTRUSION VARIABLES ON CORN FLOUR PROPERTIES

Grits and flour extrusion is a relatively simple operation. Nevertheless, understanding the transport mechanism and property modifications which occur during the operation, is quite complex.

Analysis of the effects produced on the material properties, through those methods that better describe the transformations produced, and the correlation of these "indicators" or responses with the process variables, would allow a better interpretation of the process as well as the selection of operation conditions to keep in mind so as to obtain the desirable characteristics in the product.

In the present study, the effect of feed moisture, extrusion temperature and screw speed as well as compression ratio on corn flour properties, was evaluated through the following parameters or responses: feed rate, specific consumption of mechanical energy, specific volume, expansion, water solubility and amylogram.

According to the results, feed moisture is the most relevant in modifying the properties, whereas the relative importance of temperature and compression ratio depend on the property being analyzed. Thus, for example, for specific consumption of mechanical energy, compression ratio is more important, while for expansion and specific volume, temperature is the most important.

On the other hand, solubility appears to be the property that best describes changes involved during processing of the sample, while specific volume and specific consumption of mechanical energy — although being less efficient — also turn out to be very useful responses.

BIBLIOGRAFIA

1. Anderson, R.A., H.F. Conway & A.J. Pelinski. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Die Stärke*, **22**: 130, 1970.
2. Smith, O.B. Extrusion cooking. Presentado en: **International Symposium on Oilseed Protein and Concentrates**. Misore, India, CFTRI, 1967.
3. Smith, O.B. Why use extrusion. *The North Western Miller*, **27(8)**: 12, 1971.
4. Williams, M.A., R.T. Horn & R.P. Rugals. Influence of process variables on the quality of extruded maize. Presentado en: **6th European Symposium on Food Engineering**. Cambridge, England, 1977.
5. Bruin, S., D.T. van Zuilichem & W. Stolp. Review of fundamental and engineering aspects of extrusion of biopolymers in a single-screw extruder. *J. Food Process Eng.*, **2(1)**: 1-37, 1978.
6. El-Dash, A. & R.J. González. Application and control of thermoplastic extrusion of cereal for food and industrial uses. Presentado en: **International Symposium on Cereals: A Renewable Resource Theory and Practice**. Copenhagen, Calsberg Research Center, 1981.
7. Harper, J.M. *Extrusion of Foods*. Vol. 1. Boca Ratón, C.R.C. Press, 1981, p. 41-58.
8. Giovanni, M. Response surface methodology and product optimization. *Food Technol.* **37(11)**: 41, 1983.
9. El-Dash, A., R.J. González & M. Ciol. Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. En: **Extrusion Cooking Technology**.

- R. Jowitt (Ed.). Chapter 3. London, Elsevier Applied Science Publishers, 1983, p. 51-55.
10. Harper, J.M. Extrusion proceeding of food. **Food Technol.** **32**(7): 67, 1979.
 11. Mercier, C. & P. Feillet. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. **Cereal Chem.** **52**(3) part 1: 283, 1975.
 12. Lawton, B.T., G.A. Henderson & E.J. Derlatka. The effects of extruder variables on the gelatinization of corn starch. **Canadian J. Chem. Engineering**, **50**(4): 168, 1972.
 13. González, R.J., R.L. Torres, D.M. De Greef & N.A. Gordo. Método de la superficie de respuesta en la extrusión de harina de maíz. Presentado en: **3er. Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (AATA)**, Santa Fe, Nov. 1983.
 14. Linko, P. & Y.Y. Linko. Extrusion cooking and bioconversions. **J. Food Engineering**, **2**: 243, 1983.
 15. Goring, K.J., D.N. Fritts & G.D. Allen. A comparison of loss of birefringence with the percent gelatinization and viscosity on potato, wheat, rice, corn, cow cockle and several barley starches. **Cereal Chem.**, **51**(6): 764, 1974.
 16. Paton, D. & W.A. Spratt. Simulated approach to the estimation of degree of cooking of an extruded cereal product. **Cereal Chem.**, **58**(3): 216, 1981.
 17. Gómez, M.H. & M. Aguilera. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. **J. Food Sci.**, **48**: 378, 1983.
 18. Anderson, R.A., H.F. Conway, V.H. Pfeifer & E.L. Griffin. Gelatinization of corn grits by roll cooking and extrusion cooking. **Cereal Sci. Today**, **14**(1): 4, 1969.
 19. Paton, D., G.D. Robertson, E.G. Timbers & W.A. Spratt. Laboratory food extrusion: The design of a horizontally split barrel. **J. Food Sci.**, **45**:224, 1980.
 20. González, R.J. D.M. De Greef, R.L. Torres & N.A. Gordo. Comportamiento de un extrusor de laboratorio en el procesamiento de materiales amiláceos. **Rev. La Alimentación Latinoamericana**, **159**: 72, 1986.
 21. González, R.J., R.L. Torres, D.M. De Greef & N.A. Gordo. Evaluación de almidón de maíz precocido por extrusión. **Rev. Agroquím. Technol. Aliment.**, **26**(4): 1986.