

# CALIDAD DE PANES ELABORADOS CON ALMIDÓN RESISTENTE

Carlos Gabriel Arp, María Jimena Correa, Cristina Ferrero

## 1. RESUMEN

El almidón resistente (AR), definido como la suma del almidón y los productos de degradación del mismo que resisten la digestión en el intestino delgado de individuos sanos, es un ingrediente funcional con un amplio abanico de actividades biológicas, incluso actuando como prebiótico. Su reducido tamaño de partícula, sabor suave y color blanco mantienen inalterados los caracteres organolépticos a la vez que otorgan funcionalidad a los alimentos. En este trabajo se plantea la utilización de almidón resistente (AR) en la obtención de panificados aptos para regímenes especiales, conservando las características de calidad del pan tradicional. Se desarrollaron formulaciones para pan en 4 niveles de reemplazo de harina de trigo por AR: 0, 10, 20 y 30 % (control, AR10, AR20 y AR30, respectivamente). El estudio de la calidad de los productos incluyó ensayos de fermentación, volumen específico de pan, análisis del alveolado, perfil de textura y determinación de humedad de la miga. Se incluyó un estudio para estimar el índice glicémico de los panes a través de ensayos de digestibilidad *in vitro* del almidón. Se encontró que el volumen específico disminuye al incorporar AR en concentraciones crecientes, lo cual correlaciona con la menor variación de volumen durante la fermentación. El alveolado exhibió variaciones en la estructura de la miga de AR30 mostrándose menos aireada, con alveolos más pequeños, simétricos y de forma elíptica, en contraposición con las demás muestras. Control y AR10 mostraron iguales valores de humedad, mientras que AR20 y AR30 expusieron valores decrecientes al aumentar la concentración de AR. La textura de los panes se vio afectada con el empleo de AR, encontrándose migas más duras, menos elásticas y menos integradas. Los ensayos de digestibilidad

---

CONTACTO: Carlos Gabriel Arp [arp\\_gabriel@hotmail.com](mailto:arp_gabriel@hotmail.com)  
Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología  
de Alimentos (CIDCA), Fac. de Cs. Exactas, Universidad Nacional  
de La Plata — CONICET, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

*in vitro* del almidón mostraron tasas glicémicas decrecientes a mayores concentraciones de AR, bajando hasta valores del 22 % para AR30. A pesar de que el volumen específico y la textura de miga se ven parcialmente afectados, los panes presentan una drástica disminución de la digestibilidad del almidón, lo cual los haría aptos para ser incorporados en regímenes especiales.

## 2. INTRODUCCIÓN

El almidón resistente (AR), definido como el almidón y sus productos de degradación que resisten la digestión a través del intestino delgado de individuos sanos (Asp, 1992), es un ingrediente funcional con probados efectos biológicos relacionados a su consumo. Recientemente se lo ha considerado como una importante fuente de fibra dietaria con gran potencial para incorporarse en diversos alimentos, otorgándoles funcionalidad. Su sabor suave, color blanco y reducido tamaño de partícula constituyen una ventaja ante las fibras convencionales, ya que puede ser empleado en la formulación de alimentos sin alterar sus caracteres organolépticos (Sajilata y col., 2006).

En Argentina, los productos panificados constituyen un elemento básico de la dieta cotidiana de la mayor parte de la población, estando distribuidos a lo largo de todo el territorio (Lezcano, 2011). Sin embargo, estos productos presentan un aporte calórico muy elevado y muestran un marcado efecto glicémico tras su consumo. Cuando se producen elevaciones bruscas de la glicemia de forma repetitiva a lo largo de la vida, el riesgo de padecer enfermedades como la diabetes tipo 2 aumenta (Augustin y col., 2002; Brand-Miller, 2003). Es por esto que los panificados no son recomendados para personas con diversas patologías crónicas como diabetes u obesidad, las cuales deben restringir su ingesta. En este sentido y dado su amplio consumo, productos como el pan constituirían un vehículo adecuado para la incorporación de almidón resistente. Una estrategia para lograrlo es el reemplazo de harina de trigo por AR en la formulación, consiguiendo disminuir el aporte calórico del pan y minimizar el efecto glicémico producido, obteniendo así un producto saludable apto para regímenes especiales.

No obstante, la incorporación de nuevos ingredientes en formulaciones para masa panaria generalmente conlleva un desafío tecnológico en tanto que disminuye la calidad final del pan, siendo afectados principalmente el volumen específico y la textura. En el presente trabajo se busca analizar el efecto de la incorporación de AR en la formulación para pan blanco sobre la calidad global del mismo, mediante

ensayos de fermentación, volumen específico, alveolado, humedad y textura. Asimismo se propuso determinar la digestibilidad del almidón *in vitro* en las muestras para así estimar el índice glicémico de las mismas y poder analizar la calidad saludable de los productos finales.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### MATERIALES

En la formulación de pan blanco se empleó harina de trigo 000 comercial (Molino Campodónico S.A., Argentina), almidón de trigo resistente tipo IV (AR) de calidad alimentaria (Fibersym RW, MGP, Estados Unidos), sal de mesa (Celusal, Argentina), levadura fresca comercial (Calsa, Argentina) y agua destilada. Las formulaciones empleadas se obtienen mediante el reemplazo de harina de trigo por AR en proporciones del 0 (control), 10 (AR10), 20 (AR20) y 30 % (AR30). Las formulaciones y los parámetros farinográficos absorción de agua (A) y tiempo de desarrollo (B) para la panificación se muestran en la Tabla 1. La enzima  $\alpha$ -amilasa utilizada fue de tipo IA, 1200 U/mg (Sigma, Alemania).

#### MÉTODOS

##### *Ensayos de fermentación*

Se confeccionaron curvas de fermentación para obtener el tiempo óptimo que deben permanecer las masas panarias en la fermentadora. Bollos de masa de 50 g fueron colocados en probetas graduadas, se llevaron a una fermentadora (Brito Hermanos, Argentina) y se incubaron a 30 °C. Se registró el aumento de volumen ( $\Delta V$ ) en función del tiempo. El tiempo de fermentación se consideró como el tiempo necesario para alcanzar el 75 % del máximo incremento de volumen ( $\Delta V_{\max}$ ).

##### *Obtención de panificados*

La preparación de las masas se llevó a cabo según los parámetros farinográficos A y B, utilizando las proporciones mostradas en la Tabla 1. Luego del amasado las masas se laminaron y, posteriormente, se armaron bollos, dejando reposar las masas por 10 minutos entre los distintos pasos del proceso. Luego se armaron los panes y se fermentaron a 30 °C durante el tiempo óptimo obtenido en 3.2.1. Posteriormente se hornearon durante 26 minutos a 210 °C.

### ***Volumen específico***

Se pesaron 4 panes provenientes de dos panificaciones independientes con precisión de 0,1 g. A cada uno se le realizaron 15 medidas de volumen mediante desplazamiento de semillas de colza en un pan-volumenómetro (CIDCA, Argentina) con una columna de 10,18 cm<sup>2</sup> de área transversal. El volumen específico se determinó como el cociente entre el volumen promedio y el peso del pan.

### ***Alveolado de la miga***

Se analizó el alveolado de 8 rodajas provenientes de 4 panes de 2 panificaciones independientes. Se empleó un scanner HP Scanjet 4070 para tomar imágenes de las rodajas. Las imágenes se procesaron con el programa Image J1.47v (Wayne Rasband National Institute of Health, Estados Unidos) para determinar los parámetros área alveolar promedio, perímetro, moda, fracción de aire, número de alvéolos y circularidad. No se tuvieron en cuenta las partículas menores de 0,002 cm<sup>2</sup>.

### ***Humedad de la miga***

Se pesaron placas de Petri conteniendo aproximadamente 3 g de miga de pan desmigajada (precisión de 0,1 mg) por triplicado. Las placas fueron secadas en estufa a 105 °C hasta peso constante, se enfriaron a temperatura ambiente en desecador y se pesaron para calcular la pérdida de agua.

### ***Análisis del perfil de textura (TPA)***

Con el empleo del texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems, Reino Unido) se realizaron ensayos de TPA en rodajas de pan de 2 cm de espesor. Se comprimieron hasta un 40 % de su altura original en dos ciclos. Se determinaron los parámetros: dureza, consistencia, cohesividad, elasticidad, resiliencia y masticabilidad de cada muestra de pan.

### ***Digestibilidad in vitro por el método de Holm (1985)***

Se pesó por duplicado aproximadamente 1 g de pan en vasos de precipitado, en los cuales se agregaron 50 ml de buffer fosfato (pH 6,9) y se incubaron a 37 °C con agitación constante. Fueron tomadas dos alícuotas de 0,2 ml y se determinó el contenido de maltosa antes de iniciar la hidrólisis (tiempo cero). Se agregaron 1,25 ml de  $\alpha$ -amilasa y luego se tomaron alícuotas de 0,2 ml a los 5, 15, 30 y 60 min, las

cuales se colocaron en tubos de ensayo con 0,8 ml de agua destilada. Los tubos se calentaron en baño de agua a 100 °C por 10 min. Una vez fríos, se agregó 1 ml de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) en todos los tubos y se calentaron durante otros 10 minutos. A cada tubo se agregaron 15 ml de agua destilada. Se determinó la absorbancia a  $\lambda=530$  nm. Se calculó la tasa de hidrólisis a los distintos tiempos con la ayuda de una curva de calibración confeccionada en las mismas condiciones con una solución estándar de maltosa (0 – 2 mg/2 ml). Los resultados se expresaron como los mg de maltosa liberada por gramo de almidón total en la muestra.

### *Análisis estadístico*

Se empleó el software de análisis de datos OriginPro 8 SR0 v8.0725 (Northampton, Estados Unidos). Se empleó ANOVA de un solo factor para determinar, con un nivel de confianza del 95 %, si existían diferencias significativas entre las medias obtenidas. Para determinar cuáles medias difieren entre sí en un 95 % se utilizó el test de Bonferroni.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **ENSAYOS DE FERMENTACIÓN**

Para evaluar el efecto ocasionado por el AR sobre la fermentación de la masa se confeccionaron curvas de fermentación. El modelo de Chapman de 3 parámetros (Ecuación 1) ajustó de forma adecuada a los datos experimentales ( $r^2 > 0,9777$  en todos los casos), indicando que el modelo es adecuado para los cálculos. En la Figura 1 se muestra la curva de la muestra AR30 a modo de ejemplo.

$$y = a ( 1 - e^{-b \cdot x} )^c \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde  $y$  es el incremento de volumen ( $\Delta V$ ),  $x$  es el tiempo de fermentación en minutos,  $a$  es la máxima variación de volumen ( $\Delta V_{\max}$ ),  $b$  y  $c$  son parámetros relacionados con la forma de la curva.

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los valores de  $\Delta V_{\max}$  presentados por todas las muestras (Tabla 2). Niveles de reemplazo del 10 % de harina por AR fueron suficientes para ocasionar una disminución del máximo volumen alcanzado.

A pesar de que un menor  $\Delta V$  final en masas con AR puede relacionarse con menor volumen específico de pan, el empleo de niveles tan elevados de fibra presenta un potencial beneficio para la salud. Adicionalmente, los menores tiempos de fermentación asociados a menores  $\Delta V_{\max}$  implicarían acortar el tiempo de panificación, siendo favorable para el elaborador.

#### **VOLUMEN ESPECÍFICO DE PAN**

El empleo de almidón resistente condujo a una disminución del volumen específico del pan (Figura 2), habiéndose observado un detrimento progresivo del mismo con concentraciones crecientes de AR. Todas las muestras presentaron diferencias significativas entre ellas ( $P < 0,05$ ) sugiriendo que la utilización de AR en la formulación afecta negativamente volumen específico de los panes.

#### **ALVEOLADO DE LA MIGA**

El reemplazo de harina por AR en un 30 % ocasionó una disminución significativa del área alveolar total (fracción de aire), mientras que los otros dos niveles no mostraron diferencias respecto al control (Tabla 3). Este parámetro representa la proporción de área evaluada que contiene alvéolos (Zghal y col., 1999), por lo que menores valores se relacionan con migas menos aireadas, de menor calidad. Esto se corresponde, a su vez, con los menores volúmenes específicos hallados para panes con AR.

El perímetro, parámetro relacionado con la regularidad del contorno alveolar, exhibió una disminución significativa para AR30 respecto a las otras muestras (Tabla 3). Para una misma área, menores valores del perímetro se asocian a una mayor regularidad del alvéolo. Por otro lado, la circularidad media, indicador de la simetría alveolar, no se vio afectada por la utilización de AR. Se calcularon el área alveolar media y la moda (valor de área alveolar más frecuente). Mientras que el área alveolar media disminuyó significativamente cuando el AR se utilizó al 30 %, en el valor de la moda ( $0,00291 \text{ cm}^2$ ) no se encontraron diferencias significativas entre las formulaciones ( $P > 0,05$ ). Por último, el número de alvéolos se incrementó para la muestra AR30 con respecto al control y a las otras formulaciones con AR (Tabla 3). Por lo tanto, AR30 es la muestra que presenta mayores variaciones en el alveolado de la miga respecto al control, con alvéolos más pequeños y de mayor simetría.

### **HUMEDAD DE LA MIGA**

A pesar de que las masas de todas las muestras fueron preparadas con la misma cantidad de agua (igual absorción farinográfica, Tabla 1), los valores de humedad no fueron iguales para todas las formulaciones (Tabla 4). Se observaron menores valores en los panes AR20 y AR30 respecto del control, mientras que AR10 presenta un valor estadísticamente igual al mismo.

### **TEXTURA DE LA MIGA**

No se observaron diferencias significativas al realizar un reemplazo del 10 % en ningún parámetro, excepto en la cohesividad, la cual fue menor a la del control (Tabla 5). Los panes AR20 y AR30 presentaron parámetros diferentes en todos los casos, encontrándose valores mayores al control para la dureza, consistencia y masticabilidad, mientras que la cohesividad, resiliencia y elasticidad fueron significativamente menores. Esto indica la formación de migas más duras, menos elásticas y menos integradas a niveles altos de AR. Para 10, 20 y 30 % de reemplazo, las cantidades de proteína de gluten en la formulación pasan de  $7,98 \pm 0,09$  % (control) a  $7,24 \pm 0,09$ ;  $6,60 \pm 0,03$  y  $5,67 \pm 0,00$  %, respectivamente, indicando una “dilución” de la red de gluten que afectaría las características texturales.

Estos resultados estarían indicando una menor capacidad de formar una red de gluten de buena calidad en la medida que se emplean niveles más altos de AR.

### **DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL ALMIDÓN**

Se estudió la cinética de hidrólisis del almidón (Figura 4) a través de la formación de azúcares reductores. Los panes AR20 y AR30 mostraron una importante reducción en la liberación de maltosa por gramo de almidón a lo largo del tiempo. Así, tras 60 min de hidrólisis, el control presentó un valor de  $651 \pm 15$  mg maltosa/g almidón mientras que AR10, AR20 y AR30 arrojaron valores de  $628 \pm 26$ ;  $196 \pm 23$  y  $116 \pm 12$  mg maltosa/g almidón, respectivamente. Por lo tanto, el uso de AR conlleva una importante disminución del almidón disponible. La velocidad a la cual el mismo es digerido reviste importancia ya que una rápida absorción producirá un aumento brusco y alto de la glucemia seguido por una caída abrupta, mientras que una digestión lenta producirá una respuesta aplanada y sostenida en el tiempo.

Adicionalmente, se estimó el índice glicémico *in vitro* de los panes con AR como la relación de áreas debajo de la curva de los panes con AR respecto al pan control.

Los valores encontrados fueron 74; 29 y 22 % para AR10, AR20 y AR30, respectivamente. Por lo tanto, estos valores nos estarían indicando que el agregado de AR es una buena estrategia para la disminución del IG del pan tipo francés.

## 5. CONCLUSIONES

Si bien la calidad de los panes obtenidos se ve afectada con cantidades crecientes de reemplazo de harina por AR, principalmente en el volumen de pan y la textura de la miga, los mismos presentan tiempos de elaboración más acotados que pueden significar en un beneficio económico para los productores. Además, los panes con AR exhibieron una disminución muy importante de la digestibilidad del almidón. A medida que aumentan los niveles de reemplazo los valores del IG estimados mediante ensayos *in vitro* disminuyen desde el 100 % (pan control, referencia) hasta valores del 22 % para AR30, representando un atributo de calidad saludable muy importante que los haría aptos para ser incorporados en regímenes especiales.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASP, N.G. (1992). Resistant starch –Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA: European FLAIR Concerted Action, 11 on physiological implications of the consumption of resistant starch in man. Preface. *European Journal of Clinical Nutrition* 46:S1.
- AUGUSTIN L. S., Franceschi S., Jenkins D. J., Kendall C. W., La Vecchia C. (2002). Glycemic index in chronic disease: a review. *Eur J Clin Nutr*, 56: 1049–1071.
- BRAND-MILLER J. C. (2003). Glycemic load and chronic disease. *Nutr Rev*, 61: S49–S55.
- HOLM J., Björck I., Asp N.G., Sjöberg L.B, Lundquist I. (1985). Starch availability in vitro after flaking, steam-cooking and popping of wheat. *Journal of Cereal Science*, 3: 193-206.
- LEZCANO, E. 2011. Productos panificados: cadenas alimentarias. En revista *Alimentos Argentinos* N°51. <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/>
- SAJILATA, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant Starch — A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), 1–17. doi:10.1111/j.1541-4337.2006.tb00076.x
- ZGHAL, M.C., Scanlon, M.G., Sapirstein, H.D. (1999). Prediction of bread crumb density by digital image analysis. *Cereal Chemistry* 76(5): 734-742.

## 7. TABLAS Y FIGURAS

**TABLA 1.** Formulaciones de las mezclas harina de trigo/AR y parámetros farinográficos

	Control	AR10	AR20	AR30
Harina de Trigo (g)	100	90	80	70
Almidón Resistente (g)	0	10	20	30
Sal (g)	2	2	2	2
Levadura (g)	3	3	3	3
A (ml)	56 ± 0	56 ± 0	56 ± 1	56 ± 0
B (min)	11 ± 0	9 ± 1	7 ± 2	9 ± 1

**TABLA 2.** Incrementos máximos de volumen y tiempos de fermentación

Muestra	$\Delta V_{\max}$ (cm <sup>3</sup> )	Tiempo de fermentación (min)
Control	101 ± 0 <sup>c</sup>	77 ± 0 <sup>d</sup>
AR10	82 ± 5 <sup>b</sup>	55 ± 1 <sup>b</sup>
AR20	85 ± 2 <sup>b</sup>	63 ± 2 <sup>c</sup>
AR30	71 ± 1 <sup>a</sup>	47 ± 2 <sup>a</sup>

Promedio ± Desvío estándar

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

**TABLA 3.** Parámetros estructurales de la miga

Muestra	% Aire	Área alveolar promedio (cm <sup>2</sup> )	Número de alvéolos	Perímetro (cm)	Circularidad
Control	28 ± 1 <sup>b</sup>	0,012 ± 0,002 <sup>b</sup>	183 ± 26 <sup>ab</sup>	0,66 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,44 ± 0,01 <sup>a</sup>
AR10	28 ± 1 <sup>b</sup>	0,011 ± 0,001 <sup>b</sup>	195 ± 20 <sup>ab</sup>	0,63 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,45 ± 0,01 <sup>a</sup>
AR20	26 ± 1 <sup>b</sup>	0,011 ± 0,001 <sup>b</sup>	178 ± 24 <sup>a</sup>	0,71 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,01 <sup>a</sup>
AR30	19 ± 1 <sup>a</sup>	0,008 ± 0,001 <sup>a</sup>	214 ± 9 <sup>b</sup>	0,52 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,44 ± 0,01 <sup>a</sup>

Promedio ± Desvío estándar

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

**TABLA 4.** Humedad de la miga

MUESTRA	HUMEDAD (%)
Control	44,2 ± 0,1 <sup>c</sup>
AR10	44,2 ± 0,1 <sup>c</sup>
AR20	42,9 ± 0,1 <sup>a</sup>
AR30	43,3 ± 0,1 <sup>b</sup>

Promedio ± Desvío estándar

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

TABLA 5. Parámetros texturales de la miga de pan

Muestra	Parámetros					
	Dureza	Cohesividad	Consistencia	Elasticidad	Resiliencia	Masticabilidad
Control	7 ± 1 <sup>a</sup>	0,55 ± 0,01 <sup>d</sup>	139 ± 21 <sup>a</sup>	0,97 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,46 ± 0,03 <sup>c</sup>	3,9 ± 0,6 <sup>a</sup>
AR10	8 ± 1 <sup>a</sup>	0,53 ± 0,01 <sup>c</sup>	153 ± 30 <sup>a</sup>	0,97 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,02 <sup>c</sup>	4,1 ± 0,6 <sup>a</sup>
AR20	13 ± 2 <sup>b</sup>	0,50 ± 0,01 <sup>b</sup>	230 ± 27 <sup>b</sup>	0,94 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,41 ± 0,03 <sup>b</sup>	6,0 ± 0,8 <sup>b</sup>
AR30	16 ± 1 <sup>c</sup>	0,46 ± 0,01 <sup>a</sup>	293 ± 15 <sup>c</sup>	0,92 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,34 ± 0,03 <sup>a</sup>	6,7 ± 0,7 <sup>b</sup>

Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

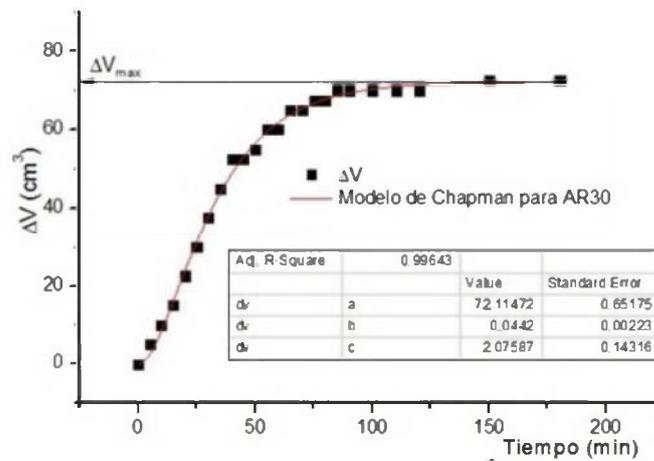


FIGURA 1. Curva de fermentación para AR30 ( $r^2 = 0,9964$ ). Se muestran los datos experimentales (puntos) y el ajuste según el modelo de Chapman (línea). La tabla muestra los parámetros obtenidos

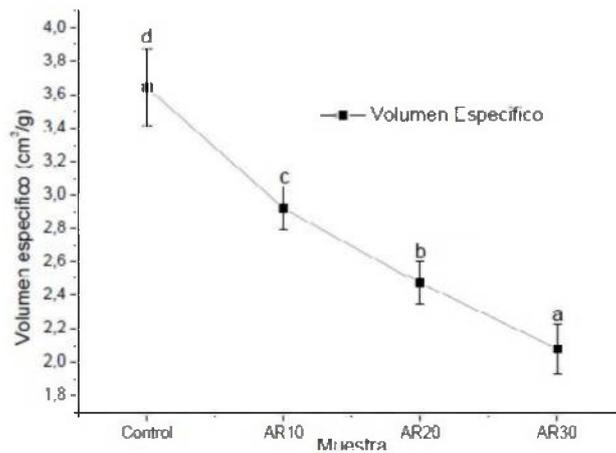


FIGURA 2. Volumen específico de pan para cantidades crecientes de AR ( $P < 0,05$ )

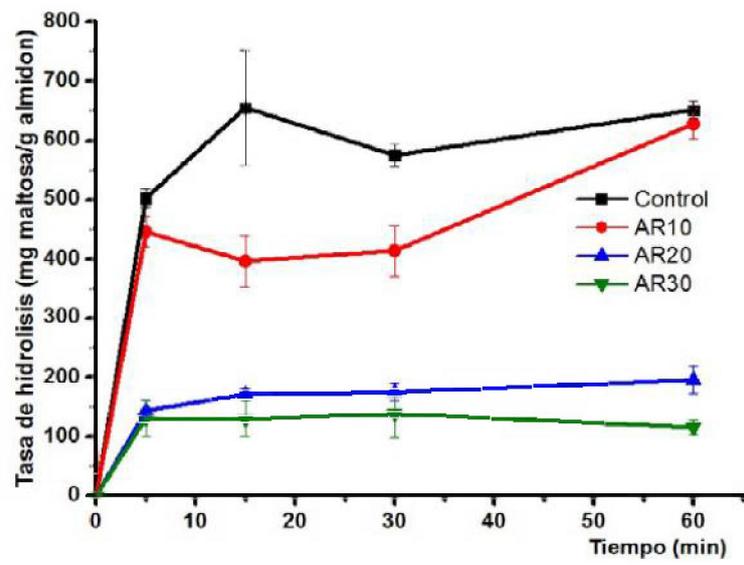


FIGURA 3. Cinética de la hidrólisis del almidón en los panes control, AR10, AR20 y AR30