

# EFFECTO DE LA HUMIDIFICACIÓN DURANTE EL HORNEADO EN LA CALIDAD DE PANIFICADOS DULCES

Micaela Ureta<sup>1</sup>, Daniela Olivera<sup>1,3</sup>, Viviana Salvadori<sup>1,2</sup>

## 1. RESUMEN

El horneado es una etapa muy importante en la elaboración de panificados debido a que implica numerosos cambios físicos, químicos y bioquímicos, entre otros la evaporación de agua, la formación de la estructura de la miga, la expansión de volumen, la desnaturalización de las proteínas y la gelatinización del almidón. Las condiciones operativas del proceso son determinantes a la hora de obtener las características deseadas de calidad final. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto combinado de la temperatura de proceso y la incorporación de vapor de agua a la cámara de cocción durante el horneado en la calidad final de un panificado dulce, *madalena*. Se utilizó un horno semi-industrial con convección forzada, operando con y sin inyección de vapor en el rango de temperaturas de 140 °C a 220 °C. Se determinó el rendimiento del proceso, así también como el espesor de corteza mediante ultrasonido, el contenido de humedad tanto de corteza como de miga, y se cuantificó la relación corteza/miga del producto obtenido. Adicionalmente, se caracterizó la estructura de la miga: densidad, porosidad y textura. La incorporación de vapor de agua a la cámara de horneado permitió obtener un producto con menor espesor de corteza. Esta disminución se corrobora en la pérdida de peso, considerada una medida directa del rendimiento. Para altas temperaturas de operación la presencia de humedad generó un producto con miga más porosa, aireada y liviana, de menor densidad. Por último, la relación masa de corteza / masa de miga también resulta menor al agregar humidificación. En términos generales, la humidi-

---

CONTACTO: Daniela Olivera [danielaolivera@conicet.gov.ar](mailto:danielaolivera@conicet.gov.ar)

1. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos (CIDCA - CONICET La Plata). Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

2. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

3. Facultad de Veterinaria, Universidad Nacional de La Plata.

ficación permite obtener un producto con atributos altamente apreciados por parte de los consumidores.

## 2. INTRODUCCIÓN

Las *madalenas*, producto de gran consumo en varios países europeos y de América Latina con apariencia similar a la de una torta pequeña, pertenecen al grupo de panificados batidos debido a que para su preparación los ingredientes son mezclados hasta formar una emulsión. Durante el horneado, dicha emulsión se convierte en una estructura sólida porosa gracias a numerosos cambios físicos, químicos y bioquímicos, entre otros la evaporación de agua, la formación de la estructura de la miga, la expansión de volumen, la desnaturalización de las proteínas y la gelatinización del almidón.

Las condiciones operativas del proceso de horneado son determinantes a la hora de obtener las características deseadas de calidad final. La posibilidad de generar un ambiente saturado en la cámara del horno en la práctica panadera afecta el avance de la reacción de Maillard (responsable del desarrollo del color del panificado), la velocidad de cocción, y el desarrollo de las reacciones responsables de las características sensoriales del producto. Esto se ve reflejado en atributos de calidad de la corteza, como espesor, contenido de humedad y color, y en las características de expansión volumétrica que afectan directamente el tamaño y forma del producto horneado (Le Bail y col., 2011).

En este sentido Xue y col. (2004) estudiaron diferentes atributos de calidad de pan, bizcochuelo y galletitas horneados con distintos niveles de humedad en la cámara del horno; encontrando que al aumentar la humedad en la cámara del horno se obtienen productos con un color superficial más claro, de mayor volumen específico y mayor rendimiento, menor pérdida de contenido de humedad, y de menor firmeza en los tres tipos de productos panificados estudiados.

Por su parte, Sommier y col. (2005) monitorearon la pérdida de masa, la expansión volumétrica y la formación de corteza durante el horneado de pan francés variando la temperatura del horno y la cantidad de vapor inyectado. Los autores encontraron que la inyección de vapor durante la primera etapa del proceso favorece la expansión global, el desarrollo gradual de la corteza y disminuye la constricción volumétrica sobre el final del proceso de cocción del pan francés.

Schirmer y col. (2011) estudiaron la influencia del vapor agregado en la cámara del horno teniendo en cuenta también la cantidad de humedad liberada por el producto durante el proceso de cocción de pan. Como conclusiones generales establecieron que la humedad del aire en la cámara del horno afecta directamente al espesor de la corteza y a su color y luminosidad.

En el marco de un estudio completo acerca del efecto de distintas condiciones de horneado, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto combinado de la temperatura de proceso y la incorporación de vapor de agua a la cámara de cocción durante el horneado en la calidad final de un panificado dulce, *madalena*.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **MUESTRAS**

Las madalenas fueron preparadas a partir de una premezcla comercial (Satin Tregal Cream Cake Purato S.A.), la cual se bate junto con margarina, leche y huevo, obteniendo como resultado una emulsión fluida. La composición nutricional de la mezcla preparada, calculada en base a las fracciones en masa de los distintos ingredientes consiste en 46.2 % de hidratos de carbono, 5.3 % de proteínas, 14.0 % de grasas y 34.5 % de agua. Para cada muestra, se dosificaron 40 g de emulsión en un molde individual de aluminio de 47 mm de diámetro y 50 mm de alto.

#### **COCCIÓN /HORNEADO**

Las experiencias de horneado se realizaron en un horno eléctrico semi-industrial de convección forzada, Multiequip HCE-3, cuyas dimensiones útiles son 0.42 m largo, 0.40 m de profundidad y 0.35 m de altura (58 l de volumen útil). La circulación de aire es propulsada por un ventilador que provee una velocidad de circulación de aire igual a 2.8 m/s. El equipo está equipado con un depósito externo de agua líquida, que permite la inyección de pequeños volúmenes de agua que se vaporizan en el interior de la cámara de cocción. En consecuencia, los ensayos se efectuaron bajo dos modos: convección forzada (CF) y convección forzada con humidificación (CFH). Para este último, se inyectó vapor en tres instantes de la cocción: al comienzo de la misma y en dos momentos intermedios, a intervalos definidos en función de la duración total de cada ensayo (300 ml totales).

Para ambas series de ensayos, se preestablecieron cinco niveles de temperatura de horno,  $T_h$ : 140, 160, 180, 200 y 220 °C. En cada corrida experimental, el horno fue precalentado durante unos minutos, sin colocar muestra, hasta alcanzar la temperatura correspondiente. A su vez, para caracterizar cada condición ensayada, se registró la temperatura en una zona cercana a la ubicación de las muestras con termocuplas tipo T (Omega, USA) conectadas a un adquisidor de datos (Keithley DASTC, USA).

#### **PÉRDIDA DE PESO GLOBAL**

Se calculó la pérdida de peso de las madalenas al final del proceso de cocción, definida como la diferencia en porcentaje entre el peso inicial y el peso a tiempo final  $t$  (base húmeda), expresado como  $W_i$  y  $W$ , respectivamente. Esto es:

$$WL = \frac{(W_i - W)}{W_i} \times 100 \quad (ec 1)$$

#### **ESPESOR DE CORTEZA**

Para cuantificar el espesor de corteza de las madalenas, se recurrió a un método no destructivo de análisis de imágenes empleando ultrasonido de baja intensidad o ecografías (Kossoff, 2000). Para la adquisición de las imágenes, se empleó un ecógrafo portátil Mindray modelo 2200, con transductor lineal 17 cm regulado a 3.5 Mhz. Luego de dejar enfriar unos minutos las muestras recién horneadas, se realizaron las mediciones de ultrasonidos colocando el transductor sobre la superficie de cada muestra, adquiriendo la imagen a partir de la cual es factible medir el espesor de la corteza. El ensayo se realizó por triplicado para las condiciones de temperatura de horno 140, 180 y 220 °C, debido a que la medición es costosa y requiere un traslado rápido de las muestras (el ecógrafo se encuentra en la Facultad de Ciencias Veterinarias).

#### **RELACIÓN CORTEZA/MIGA**

La relación corteza/miga fue calculada de acuerdo a la metodología propuesta por Le-Bail y col. (2011): las muestras fueron retiradas del horno y se dejaron enfriar unos minutos. La corteza fue separada de la miga utilizando un bisturí, considerando la corteza como la zona deshidratada localizada en la superficie del producto de color más oscuro. La relación corteza/miga es expresada como relación másica peso en peso (g/g) en base húmeda.

## **CONTENIDO DE HUMEDAD**

El contenido de humedad del producto fue cuantificado en las dos regiones características de los productos panificados: miga y corteza, utilizando la corteza removida cuidadosamente de acuerdo al procedimiento explicado precedentemente. Estas determinaciones se realizaron por secado de 3 a 5 g de muestra aproximadamente, en estufa a temperatura constante de 103 °C, hasta alcanzar peso constante. El contenido de humedad se expresa en porcentaje en base húmeda.

## **DENSIDAD**

Para determinar la densidad de miga ( $\rho_m$ ) se tomó un cilindro de la región central del producto. El volumen del cilindro de miga fue calculado de acuerdo a sus dimensiones (diámetro y altura), medidos con calibre, luego cada cilindro fue pesado en balanza analítica. Los resultados se presentan en g/cm<sup>3</sup>.

## **POROSIDAD**

La porosidad de la miga, ( $\phi$ , cel/cm<sup>2</sup>), fue definida como la relación entre el número de poros y el área. El número de poros fue medido por análisis de imágenes de acuerdo al siguiente procedimiento: la muestra horneada se corta transversalmente a la mitad, y se obtienen imágenes de la miga con una cámara digital Samsung ST60 (Samsung, Indonesia), con una resolución de 3,264×2,448 (8 M). Las imágenes adquiridas se transforman del sistema RGB a escala de grises (imágenes binarias) mediante las herramientas para el procesamiento de imágenes del programa Matlab 7.0 (Matlab, USA), permitiendo observar como secciones de color negro los poros (de 0.2mm<sup>2</sup> a 35 mm<sup>2</sup>). Luego, las imágenes binarias se procesan con un editor de imágenes (Microsoft Picture Manager, USA), donde se contabiliza el número de poros presentes en un área normalizada de 2.8 cm<sup>2</sup>, seleccionada aleatoriamente.

## **TEXTURA**

La textura de la miga se caracterizó mediante pruebas de compresión utilizando el texturómetro TA.XT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK) con plato de aluminio de 75 mm de diámetro (sonda P/75). El nivel de deformación se fijó en 80%, tomando como referencia el método estandarizado AACCC 74-09. Se analizaron cilindros de la miga del centro del producto de 2.65 cm de diámetro y 1 cm de alto. Los resultados se expresan como nivel de firmeza de la muestra (resistencia a la deformación).

Todas las determinaciones experimentales mencionadas previamente fueron realizadas por cuadruplicado para cada condición estudiada.

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El registro de las temperaturas efectivas de operación permitió observar que en la zona de cocción la temperatura medida difiere sensiblemente de la temperatura nominal seleccionada en el horno. Por esta razón, el análisis de los resultados se presenta de acuerdo a la condición ensayada y a la temperatura efectiva de operación, definida como la temperatura media registrada durante el proceso. Puede observarse en las figuras 1 y 2 que la temperatura efectiva siempre es menor que la temperatura nominal, siendo más importante la disminución para la condición CFH.

En la Figura 1 se presentan los resultados de pérdida de peso. En ambas condiciones, al aumentar la temperatura de operación, la pérdida de peso global disminuye, manteniendo una dependencia lineal. Sin embargo, bajo la condición de convección forzada con humidificación los valores son sensiblemente menores. Teniendo en cuenta que este parámetro suele utilizarse para cuantificar el aprovechamiento de la materia prima (rendimiento), el horneado con incorporación de vapor favorece un mayor rendimiento (en masa) de la materia prima.

Como consecuencia de la transferencia de calor hacia el centro del producto durante el horneado, se induce el transporte de agua y por lo tanto, un cambio en la distribución de agua en su interior. Tan pronto el producto es situado en el horno, la capa superficial comienza a secarse, absorbiendo calor latente de vaporización. De este modo, se desarrolla una zona de secado, la cual lentamente aumenta en espesor y forma la corteza. En la Figura 2 se presentan los valores de contenido de humedad en las dos regiones principales de este tipo de producto: corteza y miga. También en la mencionada figura se presenta el contenido de humedad de la emulsión inicial previa al horneado. Del análisis de los resultados surge que la humedad de la miga presenta una leve disminución con respecto a la humedad inicial cuando el proceso ocurre bajo convección forzada, mientras que el horneado bajo convección forzada con humidificación presentó un contenido de humedad en la miga prácticamente igual al valor de la emulsión inicial, comportamiento similar observaron Schirmer y col. (2011) durante el horneado de pan.

Por otro lado, la corteza presenta una deshidratación importante, el contenido de humedad medido en esta región se encontró en el rango de 10-12.5 %, no encontrándose diferencias entre las condiciones CF y CFH. Sin embargo, el aumento de la temperatura de operación favoreció la formación de una corteza con mayor contenido de humedad. Esto se puede atribuir a que mayores temperaturas requieren tiempos de proceso significativamente menores.

En la Figura 3 se presentan a modo de ejemplo las imágenes obtenidas a partir de los ensayos de ultrasonido. Los resultados obtenidos mostraron que la incorporación de vapor de agua a la cámara de horneado permitió obtener un producto con menor espesor de corteza, reduciéndose en promedio un 18 % con respecto a convección forzada (Tabla 1), asimismo la condición convección forzada con humidificación presentó una menor relación corteza/miga en general para todas las temperaturas ensayadas, resultados que siguen las tendencias establecidas por Le Bail y col., 2011. Para ambas condiciones se observó una reducción de la proporción corteza/miga al incrementar la temperatura operativa.

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de firmeza (N) de las madalenas horneadas bajo las distintas condiciones estudiadas. Los resultados indican que el efecto del agregado de vapor a la cámara del horno durante el proceso provoca una leve disminución de la firmeza en general, no siendo influenciado este parámetro por la temperatura de operación. Estos resultados concuerdan con los informados por Xue y col. (2004) y Ahrné y col. (2007) quienes reportan que una atmósfera rica en humedad provoca cambios en la textura del panificado, logrando un desarrollo más suave y gradual de esta característica sensorial. En la misma Tabla 2 se presentan también los valores calculados de densidad de miga. Las muestras horneadas bajo convección forzada con humidificación presentaron valores menores de densidad a los calculados para convección forzada y más uniformes, sin una influencia marcada de la temperatura de operación.

Si bien las muestras obtenidas bajo convección forzada presentaron valores sensiblemente mayores de porosidad que las obtenidas con humidificación, resulta importante mencionar que esta última condición favoreció el desarrollo de poros de menor tamaño y más uniformes, los cuales en la transformación de las imágenes no llegaron a distinguirse. Por lo cual, para hacer referencia al nivel de aireado del producto, resulta fundamental analizar este parámetro en conjunto con densidad de miga y textura.

## 5. CONCLUSIONES

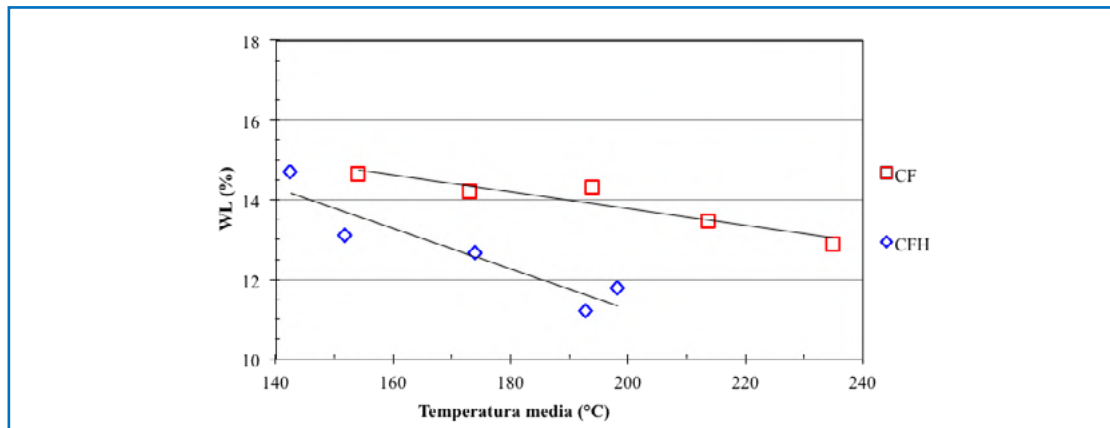
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y el análisis realizado sobre los mismos, se puede afirmar que, la presencia de humedad generó un producto con menor corteza, y con una miga más aireada y liviana, de menor densidad. Esto se puede atribuir a que la presencia de humedad en la cámara de horneado favorecería la extensibilidad y la expansión de la masa durante la cocción. Estudios propios preliminares empleando análisis sensorial indican que estos atributos de corteza y miga son altamente apreciados por los consumidores. Por lo tanto, en términos generales, la humidificación beneficia el desarrollo de características de calidad favorables para la aceptación de este tipo de productos en el mercado.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

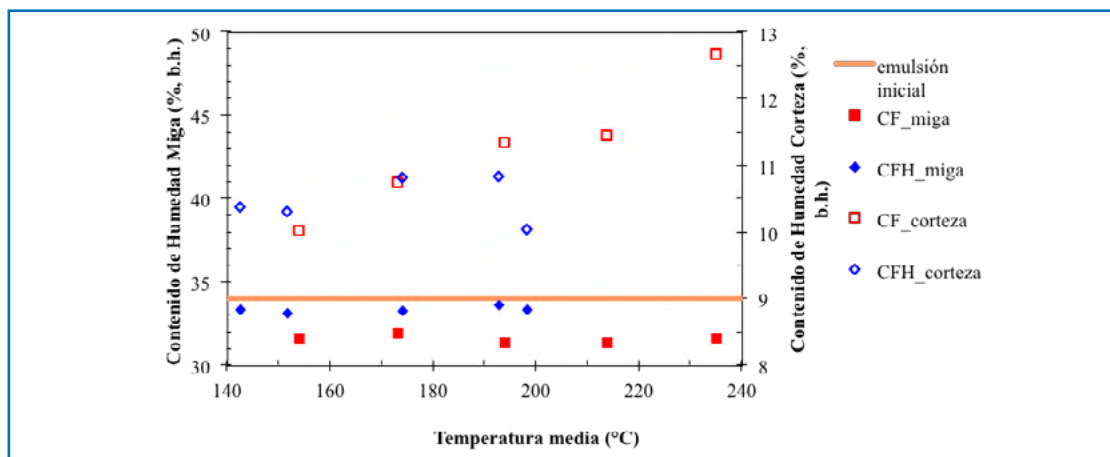
- AHRNÉ, L., Andersson, C.G., Floberg, P., Rosén, J., Lingnert, H. (2007). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: steam and falling temperature baking, *LWT - Food Science and Technology*, 40: 1708–1715.
- KOSSOFF, G. (2000). Basic physics and imaging characteristics of ultrasound. *World Journal of Surgery* 24(2):134-42.
- LE BAIL, A., Dessev, T., Leray, D., Lucas, T., Mariani, S., Mottollese, G., Jury, V. (2011). Influence of the amount of steaming during baking on the kinetic of heating and on selected quality attributes of bread. *Journal of Food Engineering*, 105, 379-385.
- SCHIRMER, M., Hussein, W.B., Jekle, M., Hussein, M.A., Becker, T., (2011). Impact of air humidity in industrial heating processes on selected quality attributes of bread rolls. *Journal of Food Engineering* 105, 647-655.
- SOMMIER, A., Chiron, H., Colonna, P., Della Valle, G., Rouille, J. (2005). An instrumented pilot scale oven for the study of French bread baking. *Journal of Food Engineering* 69, 97-106.
- XUE, J., Lefort, G., Walker, C.E. (2004). Effects of oven humidity on foods baked in gas convection ovens. *Journal of Food Processing Preservation*, 28, 179-200.



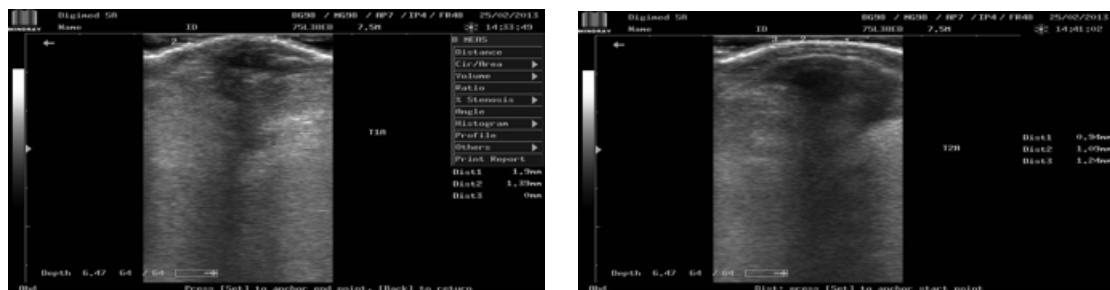
## 7. TABLAS Y FIGURAS



**FIGURA 1.** Pérdida de peso global en función de la temperatura de operación para condición forzada (CF) y condición forzada con humidificación (CFH). Valores promedio, con un error asociado menor a 1.0% en todos los casos



**FIGURA 2.** Contenido de Humedad en la miga y la corteza de las muestras horneadas para las distintas condiciones estudiadas. Valores promedio, con un error asociado menor a 0.8% en todos los casos



**FIGURA 3.** Imágenes de las muestras obtenidas mediante ecografía. A. Convección forzada.  
B. Convección Forzada con Humidificación

**TABLA 1.** Resultados de caracterización de miga y corteza de las madalenas horneadas a las distintas temperaturas ensayadas bajo **convección forzada**

	RELACIÓN CORTEZA/MIGA (g/g)	ESPELOR DE CORTEZA (mm)	POROSIDAD (cel/cm <sup>2</sup> )	FIRMEZA (N)
CF1	0.21±0.020	1.62±0.12	9.14±0.54	6.46±0.50
CF2	0.16±0.004	-----	11.20±0.59	8.06±1.60
CF3	0.15±0.013	1.51±0.06	12.64±0.61	6.52±0.55
CF4	0.16±0.009	-----	12.90±0.95	5.03±0.65
CF5	0.14±0.010	1.54±0.09	11.40±0.54	4.70±0.88

**TABLA 2.** Resultados de caracterización de miga y corteza de las madalenas horneadas a las distintas temperaturas ensayadas bajo **convección forzada con humidificación**

	RELACIÓN CORTEZA/MIGA (g/g)	ESPELOR DE CORTEZA (mm)	POROSIDAD (cel/cm <sup>2</sup> )	FIRMEZA (N)
CFH1	0.084±0.026	1.26±0.13	6.9±1.0	4.51±0.19
CFH2	0.066±0.044	-----	7.4±1.2	3.18±0.43
CFH3	0.062±0.048	1.35±0.17	8.1±1.08	3.36±0.83
CFH4	0.059±0.049	-----	8.7±1.3	3.14±0.50
CFH5	0.065±0.020	1.35±0.13	8.30±1.0	4.04±0.44