



ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente  
Vol. 14, 2010. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

## USO DE ENERGÍA SOLAR PARA LA COCCIÓN DE PAN SUSTITUIDO PARCIALMENTE POR HARINA DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.)

V. Passamai<sup>1,2</sup>, M. Armada<sup>3,4</sup>, V. Del Castillo<sup>3</sup> y C. Goldner<sup>5</sup>

<sup>1</sup>INENCO (Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales)-CONICET.

<sup>2</sup>Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas. UNSa.

<sup>3</sup>Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa)

<sup>4</sup>Facultad de Ingeniería. UNSa

<sup>5</sup>INIQUI (Instituto de Investigaciones para la Industria Química)-CONICET

C.P. 4400 – Salta. Tel. 0387-4255389 e-mail: passamai@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Objetivos: 1) Estudiar las condiciones de funcionamiento de dos hornos solares: tipo caja y tipo tambor; 2) Evaluar la cocción de panes elaborados con harina de quinoa y 3) Estudiar la respuesta del consumidor en su aceptabilidad. Los panes con 0, 10, 15 y 20% de sustitución se hornearon y se midió radiación ( $W/m^2$ ), temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ ) y temperatura interna del pan durante la cocción. Se realizaron pruebas de aceptabilidad con 112 consumidores. La hora local en que se alcanza la máxima temperatura interna del pan ( $tT^{\circ}max$ ), la velocidad de aumento de ésta ( $Va$ ), el tiempo de duración de la cocción ( $Tdur$ ) y el área bajo la curva ( $ABC$ ) fueron las variables más afectadas por las condiciones de radiación y temperatura ambiente. El tipo de horno y el porcentaje de sustitución no fueron significativos en la aceptabilidad. Se observó una tendencia a valorar más el pan con 10% de quinoa.

**Palabras clave:** horno solar, harina de quinoa, consumidores.

### INTRODUCCION

La cocción es una actividad primordial para el ser humano y consume una cuota muy importante de energía en los países en vías de desarrollo (Pohekar y col., 2005) donde se utiliza leña como combustible, consumiendo muchas toneladas por año con el consecuente daño ambiental (Hernández-Luna y Huelsz, 2008). En la región de la Puna, las familias utilizan principalmente leña de arbustos autóctonos, como por ejemplo la tola, yareta, rica-rica, donde para conseguirlos, todos los integrantes de la familia caminan varios kilómetros.

Para evitar el consumo de leña y la deforestación, la energía solar se presenta como una alternativa renovable, ampliamente disponible, práctica, simple y de bajo costo (Kimambo, 2007). La energía solar es utilizada para proveer agua segura (calentamiento, hervido), secar frutas y vegetales y para la cocción de diferentes tipos de alimentos (Prakash et al., 2004; Gallali y col., 2000).

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) es un cultivo ancestral de la región andina. El grano contiene del 15 al 18% de proteínas de alto valor biológico y adecuado nivel de aminoácidos esenciales (Repo-Carrasco y col., 2003) por lo que la sustitución de la harina de trigo por harina de quinoa en mezclas para panificación es una estrategia para conseguir alimentos funcionales (con algún beneficio para la salud). Por otro lado, existen estudios que afirman que el consumidor en general se opone a cambiar sus hábitos alimentarios aún cuando saben que lo que ingieren no es saludable y que por otro lado buscan cada vez más adquirir alimentos sanos (Williamson y col., 2000; Brunso y col., 1996). Sin embargo, los estudios sobre la aceptabilidad de alimentos cocidos en hornos solares son pocos. A nivel local, Santos de Gallardo (1987) realizó un trabajo sobre aceptabilidad de pan de trigo cocido en horno solar tipo caja donde no encontró diferencias en la aceptabilidad con respecto del pan cocido en horno convencional. Más recientemente, Buccianti (2001) halló que el pan de trigo cocido en horno solar tipo concentrador gustó mucho al 42% de los consumidores (niños entre 8 y 12 años).

Los objetivos de este trabajo fueron: 1) Estudiar el comportamiento de las condiciones de funcionamiento del horno solar tipo caja y tambor; 2) Evaluar la cocción de panes con sustitución parcial del harina de trigo con harina de quinoa y 3) Estudiar la respuesta del consumidor en la aceptabilidad de los panes.

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### Descripción del sistema

El sistema ensayado consta de dos cocinas solares: una tipo caja y otra tipo tambor, construida con un tambor de 200 litros (Saravia y col., 2003). El sistema de captación de datos cuenta con un datalogger Keithley con termocuplas de cobre-constantán y solarímetro Kipp & Zonnen conectado a una PC programada para tomar datos a intervalos de 5 minutos. Se midió radiación ( $W/m^2$ ), temperatura ambiente ( $^{\circ}C$ ) y temperatura en el centro geométrico del pan ( $^{\circ}C$ ); estas dos últimas, se midieron por duplicado, es decir, se asignaron dos termocuplas midiendo temperatura ambiente y dos termocuplas en dos panes distintos dentro de cada horno. Las experiencias se realizaron entre marzo y mayo del año en curso.

## Formulación y elaboración de los panes

Para la formulación de los panes se utilizó la herramienta informática ALIM v. 1.0 (Lescano y Del Castillo, 2010) que permite combinar distintos ingredientes a fin de obtener productos nutricionalmente balanceados. Los panes se elaboraron con los siguientes ingredientes: harina de trigo 0000 (marca Pureza) sustituida parcialmente por harina de quinoa (origen Bolivia) 0, 10, 15 y 20%, grasa vacuna (Faty), sal (Celusal), azúcar (Ledesma), levadura deshidratada (Fermipan) adquiridos en un comercio local. Para la elaboración se pesaron los ingredientes de acuerdo a la formulación teórica. Se dispusieron en un horno eléctrico de pan (ATMA modelo HP 813) en programa de amasado y fermentado. Una vez obtenida la masa se fraccionó en cuatro unidades de  $208 \pm 25$  g y se les dio forma manualmente. Las cuatro variedades de pan se cocinaron en cuatro días distintos. Cada pan se colocó dentro de una olla enlozada azul con tapa, dentro de las cocinas solares que se giraron  $15^\circ$  cada hora para acompañar el movimiento aparente del sol.

### Análisis sensorial con consumidores

Se realizaron pruebas de aceptabilidad con 112 consumidores (Hough y col., 2006) (18-59 años, 27 varones y 85 mujeres, consumidores habituales de pan integral). Las muestras se presentaron codificadas con tres dígitos al azar de acuerdo con un diseño en bloques completos aleatorizados. Se evaluó la valoración general en una escala hedónica de 9 puntos midiendo el nivel de agrado desde "me disgusta muchísimo" hasta "me gusta muchísimo". Entre cada muestra se les ofreció agua mineral para enjuagarse, como aconseja la norma.

### Análisis de datos

Las curvas de temperatura interna de los panes se promediaron e integraron y se extrajeron los siguientes parámetros: temperatura máxima interna del pan ( $T^{\circ}\text{máx}$ ), la hora local en la que se alcanzó la máxima temperatura ( $tT^{\circ}\text{máx}$ ), tiempo de duración de la cocción ( $t\text{dur}$ ), área bajo la curva (ABC, calculada como la integral definida entre el tiempo inicial  $-t_0$  y el tiempo de duración de la cocción  $-t\text{dur}$ ) y velocidad de aumento de la temperatura (Va). Se realizaron análisis de la varianza (ANOVA) para las variables medidas en los panes, teniendo en cuenta el tipo de horno y las condiciones de funcionamiento del día del ensayo (radiación máxima y temperatura ambiente máxima del día) como factores fijos; y un ANOVA para la aceptabilidad general teniendo en cuenta el porcentaje de sustitución con harina de quinoa y el tipo de horno. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0,05 (para indicar las medias que resultaron estadísticamente significativas se utilizaron letras, tal como indica la forma convencional para este tipo de pruebas *a posteriori*). Todos los datos se analizaron con Infostat v. 2009 p.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Efecto de las condiciones de funcionamiento de los hornos: radiación y temperatura ambiente

El ANOVA de las variables temporales medidas en los panes indicó que el efecto de la radiación máxima fue significativo ( $p < 0,05$ ) en el  $tT^{\circ}\text{máx}$  [ $F_{(3,12)}=3,58$ ] y en la Va [ $F_{(3,12)}=3,18$ ]; y altamente significativo ( $p < 0,001$ ) en el  $t\text{dur}$  [ $F_{(3,12)}=184379$ ] y el ABC [ $F_{(3,12)}=96,1$ ]; por lo contrario, no hubo efecto en la  $T^{\circ}\text{máx}$  [ $F_{(3,12)}=0,09$ ].

	Radiación máxima ( $\text{W/m}^2$ ) y fecha			
	918 (31/3)	887 (3/5)	816 (4/5)	804 (6/5)
$T^{\circ}\text{máx}$ . ( $^{\circ}\text{C}$ )	94 $\pm$ 2a	94 $\pm$ 1a	94 $\pm$ 4a	93 $\pm$ 1a
$tT^{\circ}\text{máx}$ . (h)	13,8 $\pm$ 0,2b	12,4 $\pm$ 0,2a	13,1 $\pm$ 0,2ab	12,9 $\pm$ 0,4ab
$t\text{dur}$ . (h)	5,44 $\pm$ 0,01d	2,85 $\pm$ 0,00a	5,02 $\pm$ 0,01c	3,44 $\pm$ 0,00b
ABC	462 $\pm$ 14c	253 $\pm$ 7a	382 $\pm$ b	268 $\pm$ 13a
Va ( $\text{W/m}^2/\text{h}$ )	31 $\pm$ 5a	65 $\pm$ 3b	44 $\pm$ 8ab	44 $\pm$ 12ab

Letras distintas en filas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).  
E.E.M.: error estándar de las medias.

Tabla 1. Medias  $\pm$  E.E.M. para las variables temporales evaluadas.

En la Tabla 1 se pueden observar las medias de las variables para cada radiación máxima alcanzada y en la Figura 1 las curvas de radiación solar. Se puede notar, en la Tabla 1, que si bien la radiación solar máxima fue de  $918 \text{ W/m}^2$  el 31 de marzo, la temperatura dentro del horno se alcanzó en forma significativamente más lenta (menor Va) y más tarde (alrededor de las 14 hs) con respecto de los experimentos realizados en mayo con radiaciones máximas menores. Las curvas de radiación solar muestran, para el día 31 de marzo, una disminución de la misma cerca del mediodía, cuando en mayo, ya se habían alcanzado las radiaciones máximas. Esto produjo que el  $t\text{dur}$  de la cocción de los panes se prolongara significativamente. El 4 de mayo la cocción duró más a pesar de radiaciones solares similares, ese día la temperatura ambiente no superó los  $24^{\circ}\text{C}$  en comparación con el resto cuyas temperaturas superaron los  $27^{\circ}\text{C}$  (Figura 2); además se registraron vientos de hasta  $29,0 \text{ km/h}$  (dato suministrado por el INTA). Posiblemente esto último haya sido un factor que también influyó en prolongar el tiempo de cocción (Kumar, 2004; Kekkonen y col., 1998). El ABC es una variable que indica

de forma global el comportamiento de las curvas de radiación; este área fue mayor cuanto mayor fue el tdur de la cocción (Tabla 1).

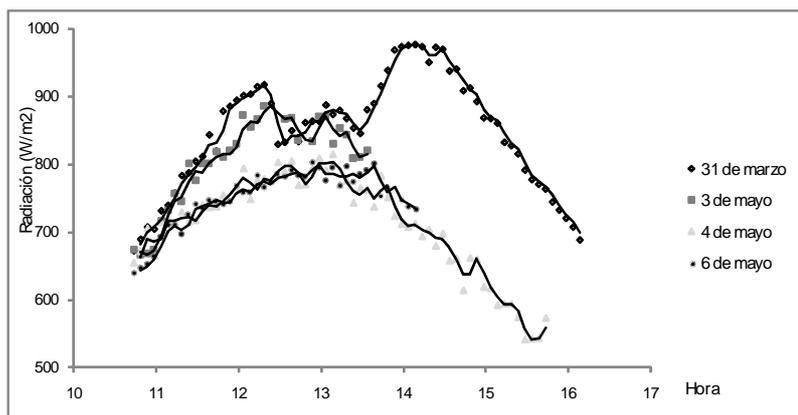


Figura 1. Curvas de radiación solar para cada día de experimentación.

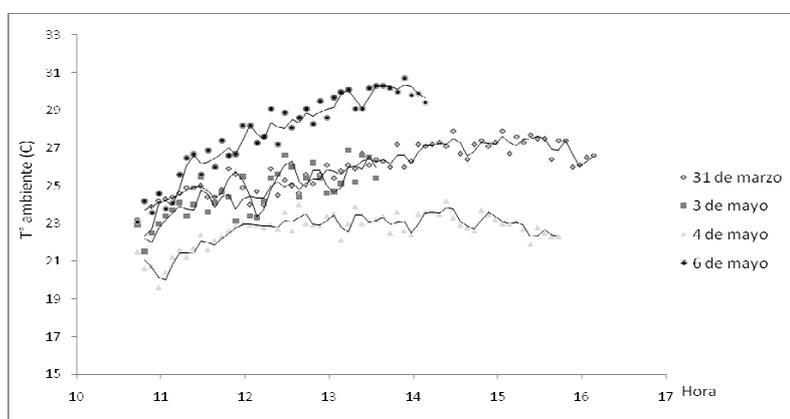


Figura 2: Curvas de temperatura ambiente para cada día de experimentación.

En la Figura 3 a y b se pueden observar las curvas promedio de temperatura interna de los panes en función de la hora local y los parámetros extraídos de las mismas. Los perfiles de las curvas son similares excepto el 4 de mayo.

#### Estudio con consumidores

El ANOVA para la aceptabilidad general indicó que la interacción tipo de horno  $\times$  % de sustitución no fue significativa [F(3,440)=0,48], tampoco el efecto del tipo de horno [F(1,440)=0,30] ni el porcentaje de harina de quinoa en las muestras [F(3,440)=1,14]. Esto indicó que el grado de aceptabilidad del consumidor no depende del tipo de horno solar –caja o tambor- utilizado, ni del porcentaje de sustitución con harina de quinoa; sin embargo, a pesar de que las diferencias no son significativas, se observó una tendencia a valorar más el pan con un 10% de sustitución y menos al pan con un 20% (Tabla 2), probablemente debido al gusto amargo que puede tener la harina integral de este cereal debido al contenido de saponinas (Brady y col., 2007).

	% sustitución			
	0%	10%	15%	20%
Eval. General	6,0 $\pm$ 0,2a	6,2 $\pm$ 0,1a	6,0 $\pm$ 0,2a	5,8 $\pm$ 0,2a

Tabla 2: Medias  $\pm$  E.E.M. para la evaluación general de los panes.

Esta tendencia es similar a lo hallado en otros trabajos donde también se reemplaza parte de la harina de trigo por otro cereal; por ejemplo Alpaslan y Hayta (2006) realizaron un trabajo donde concluyeron que la sustitución de hasta un 10% con harinas de linaza, soja y maíz tiene una aceptabilidad razonable en el consumidor. Hall y Johnson (2004) al evaluar la aceptación de panes con agregado de lupino dulce, reportaron que aquellos con un nivel de adición de 10% presentaron una media considerada como “más que aceptable”. Siddiq y col. (2009) al evaluar sensorialmente panes con adición de harina de germen desgrasada, no encontraron diferencias significativas entre el pan sin adición y aquel con un 15%. Sin embargo cuando la adición fue del 20% se observó un efecto negativo significativo en los atributos sensoriales. Esto se correlaciona

con el hecho que el consumidor selecciona preferentemente los panes blancos respecto de aquellos elaborados con harinas de granos enteros (Pham Van y col., 2007).

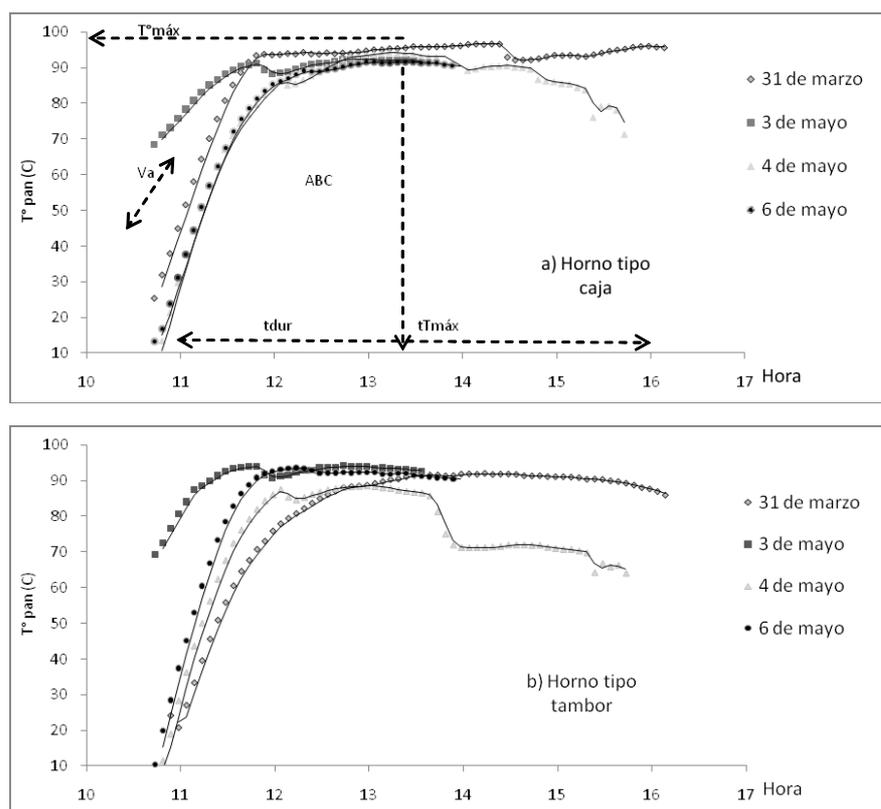


Figura 3: Curvas promedio de temperatura interna de los panes cocidos en horno tipo caja (a) y horno tipo tambor (b).

## CONCLUSIONES

La hora local en que se alcanza la máxima temperatura interna en el pan, la velocidad de aumento de la misma, el tiempo de duración de la cocción y el área bajo la curva fueron las variables de cocción que más estuvieron afectadas por las condiciones diarias de radiación y temperatura ambiente. En cambio, el tipo de horno –caja o tambor- y el porcentaje de quinoa no influyeron en el gusto del consumidor.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de los proyectos CIUNSa 1702 y 1905.

## REFERENCIAS

- Alpaslan, M. y Hayta, M. (2006). The effects of flaxseed, soy and corn flours on the textural and sensory properties of a bakery product. *Journal of Food Quality* 29, 617–627.
- Brady, K., Ho, C.T., Rosen, R.T., Sang, S.M. y Karwe, M.V. (2007). Effects of processing on the nutraceutical profile of quinoa. *Food Chem.* 100, 1209-1216.
- Brunso, K., Grunert, K.G., y Bredahl, L. (1996). An analysis of national and cross-national consumer segments using the food-related lifestyle instrument in Germany, France and Great Britain. MAPP working paper, 35. Aarhus School of Business, Aarhus.
- Buccianti, G.M. (2001). Macronutrientes y aceptabilidad de preparaciones alimenticias tratadas térmicamente en sistema con energía solar y cocina convencional. Tesis de grado. Facultad de Ciencias de la Salud, UNSa.
- Gallali, Y. M., Abujnaha, Y.S. y Bannani, F.K. (2000). Preservation of fruits and vegetables using solar drier: a comparative study of natural and solar drying, III; chemical analysis and sensory evaluation data of the dried samples (grapes, eggs, tomatoes and onions). *Renewable Energy* 19, 203-212.
- Hall, R. S. y Johnson, S. K. (2004). Sensory acceptability of foods containing Australian sweet lupin (*Lupinus angustifolius*) flour. *Journal of Food Science*, 69, SNQ92–SNQ97.
- Hernández-Luna, G. y Huelsz, G. (2008). A solar oven for intertropical zones: Evaluation of the cooking process. *Energy conversion and management* 49, 3622-3626.
- Hough, G., Wakeling, I., Mucci, A., Chambers, E., Gallardo, I.M. y Rangel Alves, L. (2006). Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. *Food Qual. and Pref.* 17, 522-526.
- Kekkonen, R., Kontinen, P., Lampinen, A. y Wahlström, R. (1998). Manual for solar box cookers. Technology for life. Painsampo, Helsinki, Finland.

- Kimambo, C.Z.M. (2007). Development and performance testing of solar cookers. *J. of Energy in South Africa* 18, 41-51.
- Kumar, S. (2004). Thermal performance study of box type solar cooker from heating characteristics curves. *Energy Conversion and Management* 45, 127-139.
- Lescano, G.; Del Castillo, V. (2010). Alim V 1.0 Herramienta Informática para la formulación de nuevos alimentos. Universidad Nacional de Salta. Alimentación Latinoamericana. Aceptado para publicar.
- Pham Van, H., Tomoko, M. y Naofumi, M. (2007). Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. *Food Research International* 40, 273–279.
- Pohekar, S.D., Kumar, D. y Ramachandran, M. (2005). Dissemination of cooking energy alternatives in India: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 9, 379–393.
- Prakash, S., Jha, S. K. y Datta, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. *Journal of Food Engineering* 62, 305-313.
- Repo-Carrasco, R., Espinoza, C. y Jacobsen, S.E. (2003). Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International*, 19, 179–189.
- Santos de Gallardo, E. (1987). Cocción de alimentos a través de una cocina solar. Tesis de grado. Facultad de Ciencias de la Salud, UNSa.
- Saravia L., Caso R., Fernández C. (2003). Cocina solar de construcción sencilla. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 7, 03-13-17.
- Siddiq, M., Nasir, M., Ravi, R., Butt, M. S., Dolan, K. D. y Harte, J.B. (2009). Effect of defatted maize germ flour addition on the physical and sensory quality of wheat bread. *LWT - Food Science and Technology* 42, 464–470.
- Williamson, A.R., Hunt, A.E., Pope, J.F. y Tolman, N.M. (2000). Recommendations of dieticians for overcoming barriers to dietary adherence in individuals with diabetes. *The Diabetes Educator* 26, 272-278.

## ABSTRACT

Aims: 1) to study the behavior of the working conditions of box type and drum solar cookers; 2) evaluate the cooking process of breads with quinoa flour and 3) study the consumer's acceptability response. Four formulations were established with 0, 10, 15 and 20% of wheat flour substitution, and they were cooked into the cookers. Cookers working conditions—radiation ( $W/m^2$ ) and environment temperature ( $^{\circ}C$ )- and internal temperature of the breads were measured during cooking process. Sensory acceptability tests were performed with 112 consumers. The cooking variables mostly affected by daily conditions of radiation and environment temperature were: local time at which the maximum temperature ( $tT^{\circ}max$ ) of breads was reached, rate of increase ( $Va$ ), duration time ( $tdur$ ) and area under the curve ( $ABC$ ). The cooker type and % of quinoa were not significant on the sensory acceptability; therefore it was observed a tendency to prefer the bread with 10% of quinoa.

**Keywords:** solar cookers, quinoa flour, consumers.