

## **ENSAYOS DE SECADO DE NOPALITO (*Opuntia Ficus indica* L.Millar) EN UN SECADOR SOLAR PASIVO DE USO DOMÉSTICO**

G. Durán<sup>1</sup>, M. I. Margalef, M. Condori<sup>1</sup>, S. F. Castillo<sup>2</sup>, L. M. Estrada<sup>2</sup>,  
INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)  
Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias de la Salud, Consejo de Investigación UNSa  
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.  
Te: 54-387-4258709, Fax: 54-387-4255489, mail: [gonzalo.jose.duran@gmail.com](mailto:gonzalo.jose.duran@gmail.com), [melel@unsa.edu.ar](mailto:melel@unsa.edu.ar)

**RESUMEN:** El nopal (*Opuntia Ficus indica*), es una especie vegetal nativa de América, perteneciente a la familia de las cactáceas, con presencia a lo largo de todo el continente, encontrándose en nuestro país con predominio en las provincias del centro y norte en forma silvestre, introduciéndose durante el año 2006 en el Valle de Lerma, Salta como hortaliza alternativa (Lozano et al., 2007).

Su uso como alimento se encuentra arraigado en México, donde se consumen las hojas (pencas) frescas o procesadas y los frutos (tunas), consumidos frescos o en dulces y licuados. Además, por su contenido en fibra, su utilización en la industria alimentaria representa una alternativa para la formulación de alimentos funcionales (harinas enriquecidas).

La harina de nopalito se caracteriza por su elevado contenido en fibra alimentaria (FA) y minerales entre los que se destaca el calcio. Diversos estudios epidemiológicos demuestran que el consumo de FA produce una mayor motilidad intestinal, interviniendo en la prevención de la constipación, regulación de glucosa y lípidos en sangre. Para que la FA pueda ejercer su efecto fisiológico en el ser humano deben de mantenerse intactas algunas de sus propiedades físico-químicas como son su viscosidad, capacidad de absorción de agua y aceite.

En este trabajo se estudia el secado de muestras de nopalitos, empleando un secador solar de pequeña escalan de tipo pasivo, donde la circulación de aire se produce mediante una chimenea concentrador CPC, (Durán, et al. 2008). Se analiza la influencia de las variables ambientales como la radiación solar y la temperatura ambiente en el proceso de secado del nopal, como así también en la calidad del producto seco.

**Palabras clave:** secado solar, chimenea solar, CPC, harinas enriquecidas

### **INTRODUCCIÓN**

El nopal (*Opuntia ficus*) es una especie vegetal nativa de América, perteneciente a la familia de las cactáceas, con presencia a lo largo de todo el continente. La planta se desarrolla en regiones áridas o semiáridas ya que presentan características adaptativas en su anatomía, morfología y fisiología que le permiten sobrevivir, crecer y reproducirse en condiciones de muy baja precipitación (Schattenhofer, 2005, p.3 y Olguín, 2008, p.5 y Gaiska et al., 1997 citado por Pérez Sierra, 2008).

Existen alrededor de 258 especies conocidas, encontrándose desde las praderas canadienses hasta el estrecho de Magallanes. En nuestro país se encuentra en las provincias de Buenos Aires, Catamarca, Chaco, Córdoba, Corrientes, Entre Ríos, Formosa, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Salta, Santiago del Estero, Santa Fe, San Juan, San Luis y Tucumán (Schattenhofer, et al, 2005), en forma silvestre y cultivada se ha introducido en el año 2006 en el Valle de Lerma en la provincia de Salta como hortaliza alternativa (Lozano et al., 2007).

Su uso como alimento se encuentra arraigado en América del Norte, especialmente en México, donde se consumen las hojas (pencas) frescas o procesadas en guisos, sopas, etc., y los frutos (tunas), consumidos frescos o en dulces, mermeladas y licuados. Además, por su contenido en fibra, su utilización en la industria alimentaria representa una alternativa para la formulación de alimentos funcionales.

La mencionada cactácea posee un alto porcentaje de humedad de 95% (Guzmán Loayza y Chávez, 2007), característica que limita su vida útil, siendo ésta de 1 a 2 días a temperatura ambiente o de 7 días a 5° C. Por este motivo se ve la necesidad de buscar métodos de conservación apropiados y de bajo costo para la producción de nopalito deshidratado.

---

<sup>1</sup> Becario doctoral CONICET

Con la denominación de nopalito se designa a los brotes tiernos de 10 a 15 cm y de aproximadamente 100 gramos, los que se cosechan después de dos o tres meses de establecida la plantación (Red Latinoamericana FAO, 1998).

La harina de nopalito se caracteriza por su elevado contenido en fibra alimentaria (FA) y minerales entre los que se destaca el calcio (Rodríguez García, 2008). El Código Alimentario Argentino (C.A.A.) define a la Fibra Alimentaria como “cualquier material comestible que no sea hidrolizado por las enzimas endógenas del tracto digestivo humano” (ANMAT, 2010: Cap. XVII, art. 1385). La FA está constituida por una fracción insoluble compuesta por carbohidratos complejos como la celulosa; y por otra soluble como fructooligosacáridos, pectinas y almidones resistentes. Diversos estudios epidemiológicos demuestran que el consumo de FA produce una mayor motilidad intestinal, interviniendo en la prevención de la constipación, regulación de glucosa y lípidos en sangre (Milo, L 2004). Para que la FA pueda ejercer su efecto fisiológico en el ser humano deben de mantenerse intactas algunas de sus propiedades fisico-químicas como son su viscosidad, capacidad de absorción de agua y aceite.

En este trabajo se estudia el secado de muestras de nopalitos, empleando un secador solar de pequeña escala de tipo pasivo, donde la circulación de aire se produce mediante una chimenea concentrador CPC, (Durán, et al. 2008). Se analiza la influencia de las variables ambientales como la radiación solar y la temperatura ambiente en el proceso de secado del nopal, como así también en la calidad del producto seco.

## DESCRIPCIÓN DEL SECADOR UTILIZADO

En el ensayo de secado se utilizó un secador solar pasivo de pequeña escala con circulación de aire producida mediante una chimenea CPC y un extractor eólico de tipo torre vorticosa.

El secador ensayado, de tipo modular, está constituido por dos cajones construidos en chapa galvanizada, con aislación en lana de vidrio de 3 cm. de grosor, y cubierta de policarbonato alveolar de 4 mm de espesor con tratamiento UV. Los cajones, de dimensiones 0,85 m de ancho, 0,20 m de alto y 1 m de largo, cuentan con doble nivel de bandejas, lo que permite incrementar la carga de producto.

El diseño modular del secador permite interconectar los cajones mediante un sistema de cerraje hermético. De esta forma, los cajones pueden utilizarse por separado, como dos cámaras de secado; o conjuntamente, como precalentador y cámara de secado, o cargando ambos módulos. Por último, para garantizar el ingreso de aire libre de partículas e insectos se coloca en la cara frontal del secador un filtro de tela vinílica removible. En la figura 1 se muestra una fotografía del sistema de cerramiento entre la chimenea CPC y la cámara de secado, en tanto que la figura 2 muestra el acople final de del primer módulo, utilizado como precalentador, el segundo módulo, donde se cargó el nopal fresco, y la chimenea concentrador CPC.



*Figuras 1 y 2: Módulo de secado y chimenea CPC. Se aprecia el sistema de cerraje y acople entre los cajones y la chimenea.*

La chimenea concentrador se construyó en aluminio de alta reflectividad, con un absorbedor de chapa galvanizada pintada en negro mate, y una cubierta frontal de policarbonato alveolar de 4mm de espesor. A la salida de la chimenea CPC se adosó un extractor eólico de tipo torre vorticosa, construido en chapa galvanizada de 0.15 m de diámetro y 40 cm. de largo.

El diseño del concentrador CPC se realizó mediante el software de diseño de concentradores CPCdise (Durán y Condori, 2005), para una geometría de absorbedor lineal de 0,25 m de longitud y semi ángulo de aceptación de 15°, lo que garantiza un seguimiento solar de dos horas. El diseño final del concentrador tiene por dimensiones son 0,25 m de ancho por 0,2 m de alto y 0,5 m de largo. La figuras 3 y 4 muestran el proceso de diseño del concentrador y la marcha de rayos sobre el diseño truncado.

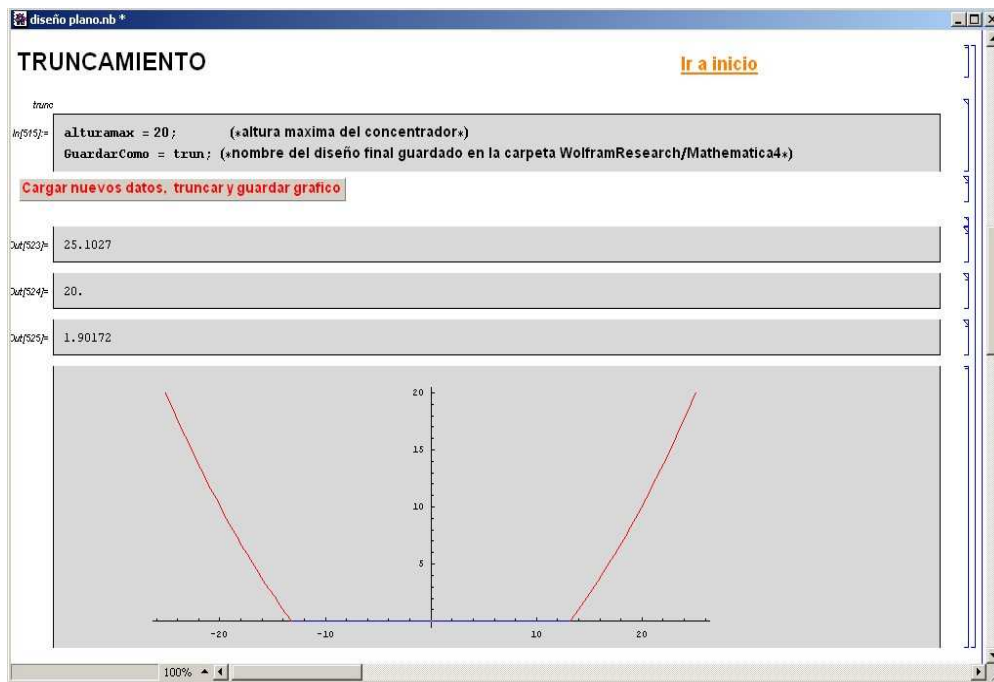


Figura 3: Captura de pantalla del perfil truncado del concentrador CPC.

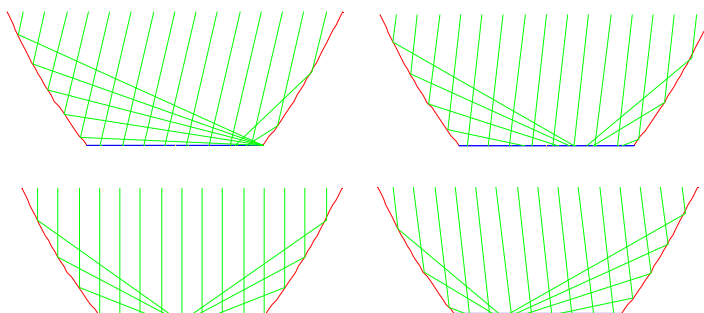


Figura 4: Marcha de rayos mediante CPCdise en el concentrador

#### ENSAYO DE SECADO DE NOPAL. 15 Y 16 DE DICIEMBRE DE 2010

Durante los días 15 y 16 de Diciembre de 2010 se realizó un ensayo de secado de 1 kg de nopalitos frescos (brotes frescos de 15 cm de longitud) cultivados en un predio experimental de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta.

La cosecha y recolección de cladodios se efectuó a mano, seleccionando nopales de calidad “Extra” y de calibre “B”, según las disposiciones establecidas por el Codex Alimentarius (Codex Alimentarius, 2008). Los mismos fueron pre-tratados, realizándose un desespinado manual; lavado por aspersión; trozado en bastones de 10 cm de largo por 1 cm de ancho.

En este ensayo, llevado a cabo en el predio del INENCO situado en Campo Castañares, UNSa, se realizaron medidas de:

- Temperatura ambiente
- Radiación solar sobre plano horizontal.
- Velocidad de viento.
- Temperatura de flujo de aire a la salida del precalentador (T1), en la salida de la cámara de secado (T2) y en la salida de la chimenea CPC (T3).
- Humedad relativa del aire en el interior de la cámara de secado (HR1).
- Velocidad de flujo de aire a la salida de la chimenea CPC.
- Masa de una muestra de producto, durante el proceso de secado.

Las medidas de temperatura se realizaron utilizando termocuplas de tipo K, convenientemente calibradas mediante un bloque calibrador de aire Hart Scientific 9009, adosadas a termómetros de medida manual Phywe GTH 1160. La humedad relativa en el interior de la cámara de secado fue sensada de forma manual mediante un termo higrómetro Vaisala HMI 41, en tanto que la velocidad del flujo de aire en la salida de la chimenea se sensó utilizando un anemómetro de hilo caliente TSI

VelociCalc. Por último, las variables ambientales, temperatura y humedad relativa ambiente, velocidad de viento y radiación global horizontal fueron sensadas de forma automática por una estación meteorológica Davies Vantage Pro 2, con una frecuencia de adquisición de datos de 5 minutos.

Además mediante una balanza Ohaus Scout Pro, se tomaron valores de peso de una pequeña muestra de producto durante el proceso de secado.

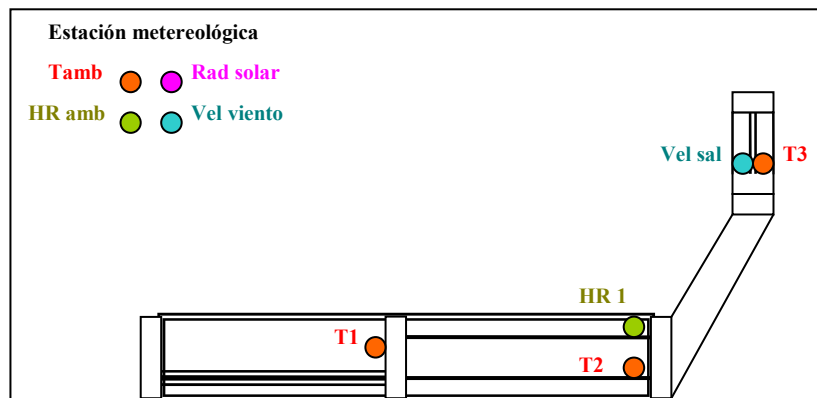


Figura 5: Ubicación de los sensores usados.

La figura 5 muestra un esquema de colocación de los sensores utilizados. En rojo se muestran los sensores de temperatura, en verde los sensores de humedad relativa, en azul los de velocidad de viento, y en violeta el de radiación solar.

## RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 6 se observa el comportamiento típico del clima salteño en cercanías del de verano, con altos valores de temperatura ambiente, y un máximo de 32 °C a horas de la tarde del día 15 de diciembre. Como es de esperarse, la humedad relativa ambiente es alta en horas de la noche, con valores máximos cercanos al 60 % alrededor de la 7 A.M en ambos días.

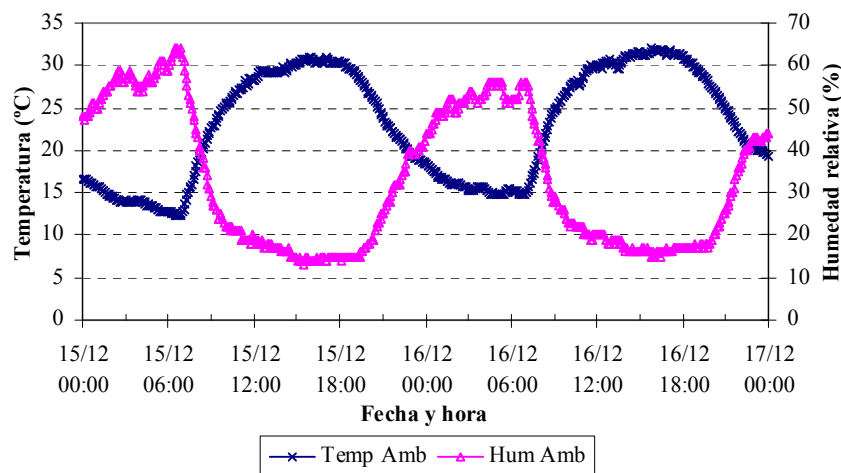


Figura 6: Temperatura ambiente y humedad relativa ambiente para los días de ensayo.

La figura 7 describe la variación de la radiación solar global sobre plano horizontal, y de la velocidad de viento. En ella se observan valores de radiación superiores a los 1000 W/m<sup>2</sup>, y ráfagas intermitentes de viento moderado en ambos días.

En la figura 8 se describen los resultados de medidas de temperatura durante el ensayo. Como se observa en la figura 7, la presencia de ráfagas de viento mayores durante el primer día de ensayo incrementa el flujo de aire circulante en el secador, producto de la acción del extractor eólico. Esto, a su vez, origina un menor incremento de temperatura del aire circulante. Sin embargo, el salto térmico entre la temperatura ambiente y la temperatura a la salida de la chimenea es cercano a los 25 °C durante buena parte del primer día de ensayo. La presencia de ráfagas de viento menores durante el 16 de diciembre permite observar máximos en la temperatura del flujo de aire que circula por las distintas secciones del secador, con incrementos superiores a los 35 °C respecto a la temperatura ambiente.

Los resultados de las medidas de velocidad de flujo de aire a la salida de la chimenea y de velocidad de viento, descritos en la figura 9 refuerzan el análisis realizado en el párrafo anterior. En ella se observan valores de velocidad de flujo fuertemente influenciados por las ráfagas de viento, producto de la acción del extractor eólico de torre vorticosa.

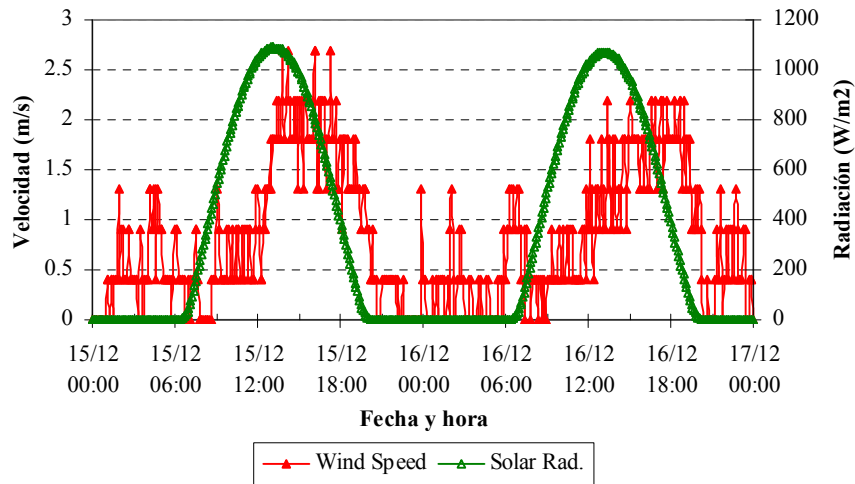


Figura 7: Velocidad de viento y radiación solar global sobre plano horizontal. Días 15 y 16 dic. 2010.

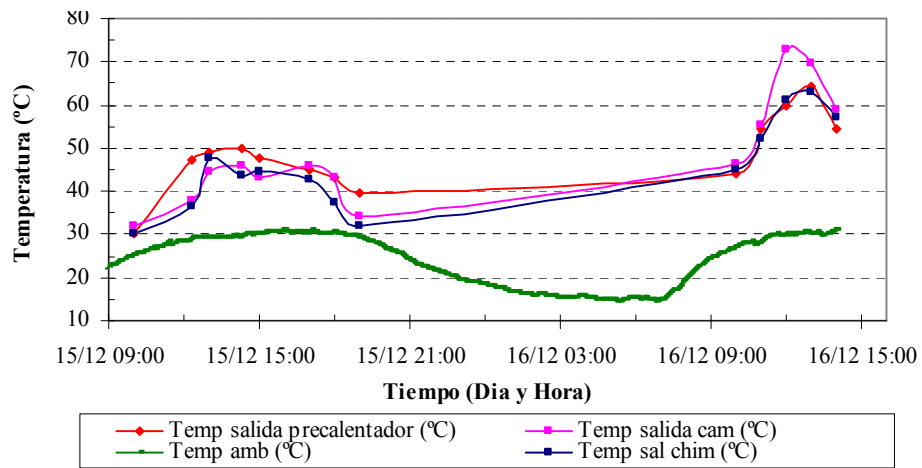


Figura 8: Temperatura ambiente, temperatura en entrada y salida del precalentador, y a la salida de la chimenea.

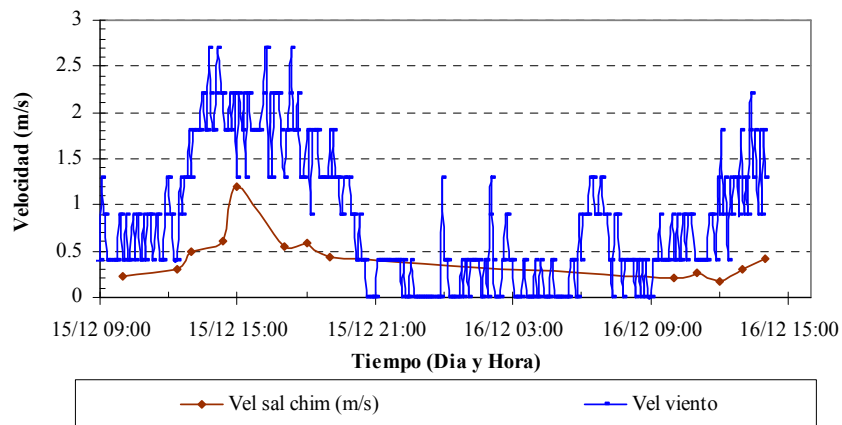


Figura 9: Velocidad de viento y velocidad de flujo de aire a la salida de la chimenea.

Los valores de humedad relativa en la cámara de secado descritos en la figura 10, y la curva de peso de la figura 11 permiten inferir que el secado del producto se realizó en forma satisfactoria, llegando a valores de humedad relativa en la cámara del orden del 5%.

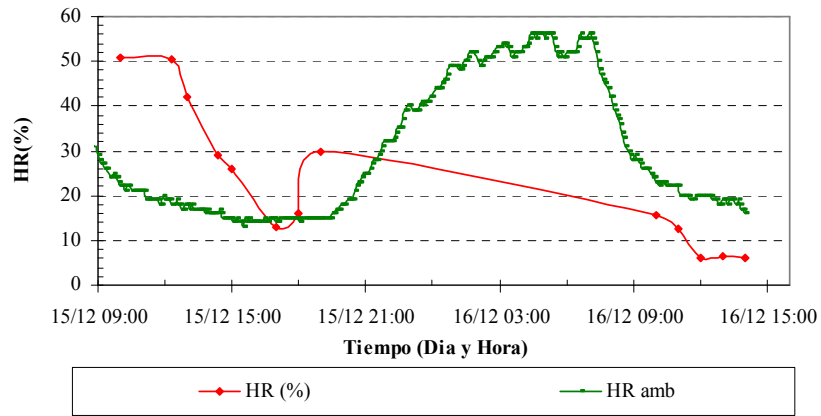


Figura 10: Humedad relativa ambiente, y humedad relativa en el interior de la cámara de secado.

En la figura 11 se muestran los resultados de la curva de peso de la muestra monitoreada durante el ensayo. Como se observa la masa inicial de 103 gr se secó hasta llegar a un valor de 5 gr., al finalizar el ensayo. Estos resultados permiten aseverar que el secador es capaz de secar la carga inicial de 1 kg de nopalitos frescos en un día y medio. El aspecto, olor y color del producto seco es muy aceptable.

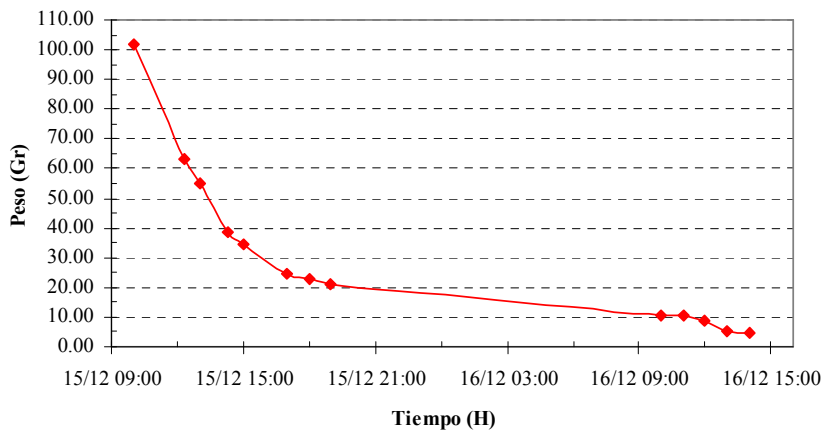


Figura 11: Evolución de la curva de peso de la muestra de nopal.



Figuras 12 y 13: Aspecto inicial y final de la muestra de nopalito monitoreada.

Estudio de calidad de harina de nopal secado mediante energía solar:

Con el objeto de estudiar la calidad de la harina de nopalito obtenida a través del procesado del nopal secado por energía solar, se realizaron ensayos de composición química en el Laboratorio de Alimentos de la Facultas de Ciencias de la Salud de

la U.N.Sa. Para ello, se procedió a contrastar los resultados obtenidos con una muestra de harina de nopal, secado mediante estufa eléctrica, con la muestra tratada con energía solar.

Los resultados de los análisis de la composición química realizados en ambas muestras se encuentran resumidos en la tabla 1.

Componentes	Harina de Nopalito (Secado Tradicional) X ± D.E.	Harina de Nopalito (Secado Solar) X ± D.E.
Hidratos de Carbono	16,28	18,79
Proteínas	15,16 ± 0,00	13,69 ± 0,62
Grasas	3,57 ± 0,46	1,85 ± 0,150
Fibra Alimentaria Total	44,250 ± 0,00	46,21 ± 0,00
Fibra Soluble	9,67 ± 0,00	12,64 ± 0,00
Fibra Insoluble	34,58 ± 0,00	33,57 ± 0,00
Cenizas	20,74 ± 0,39	19,46 ± 0,50

Humedad: Harina Nopalito Secado Tradicional = 4,20 ± 0,20      Harina Nopalito Secado Solar = 4,77 ± 0,11

Tabla 1: Composición química de las muestras de harina de nopal (g/100g de base seca)

De ella, se puede observar que el contenido de fibra alimentaria total y particularmente la fracción soluble del nopalito deshidratado con energía solar fue superior al tratado en estufa a 75°C, lo que indicaría un menor daño de la estructura de la fibra para el primero. Cabe señalar que el contenido de fibra alimentaria total en la muestra sometida a secado solar (46,21g/100 g) fue superior, al igual que el contenido de fibra soluble (12,64 g/100 g), lo cual sería indicativo de que el secado por energía solar no produciría deformación de la estructura de la fibra.

## CONCLUSIONES

Se presentan los resultados de pruebas preliminares de secado de *Opuntia Picus*, o nopal, en un secador solar pasivo con chimenea concentrador CPC; realizadas durante un día de diciembre de 2010. El secador utilizado, de tipo modular, está compuesto por un precalentador de aire, de 0.89 m de ancho, 0.1 m de alto y 1 m de largo; una cámara de secado de idénticas dimensiones y una chimenea CPC de 0.2 m de alto y 0.5 m de largo, diseñada con un semi ángulo de aceptación de 15°, que permite dos horas de autonomía solar.

En el ensayo se procesó un kilogramo de hojas tiernas de nopal, contadas en tiras. Se sensoron valores de temperatura de flujo de aire a la salida del precalentador, temperatura y humedad relativa de aire a la salida de la cámara de secado, temperatura de aire y velocidad de flujo en la salida de la chimenea CPC. Además se monitoreó la evolución del peso de una muestra de 100 gr de nopal, y se tomaron valores de temperatura y humedad relativa ambiente, radiación solar sobre plano horizontal y velocidad de viento.

Los resultados obtenidos, Figura 10 y Figura 11, indican que el secador es capaz de secar un kilogramo de producto en un día y medio de operación, observándose saltos térmicos cercanos a los 35 °C entre la salida de la chimenea y la temperatura ambiente, fig. 8. Además, el uso del extractor eólico de torre vorticosa permite ampliar el flujo de aire por convección natural, como se observa en las Figuras 7 y 9.

Además se realizó un ensayo de calidad del harina de nopalito obtenida a partir del secado solar, contrastando los valores de fibras solubles, hidratos de carbonos, proteínas y grasas totales obtenidos, respecto a una muestra de harina de nopal secado en estufa de gas a 75 °C. Los resultados obtenidos indican que el contenido de fibra soluble es mayor en el secado solar, lo que indica de forma indirecta una mejor preservación de la estructura celular.

## REFERENCIAS

“Especies Arbóreas y Arbustivas para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina”. Argentina. [En línea], disponible en: <http://www.fao.org/Regional/LAmerica/redes/sisag/arboles/Mex-o-fi.htm>. [Fecha de acceso 9 de Febrero de 2009].

Administración Nacional de Medicamentos Alimentos y Tecnología Médica (2010). “Código Alimentario Argentino” en ANMAT. [En línea]. Argentina. Disponible en <http://www.anmat.gov.ar/codigoa/caa1.htm>. [Accesado el 17/03/11].

Guzmán Loayza, D., y J. Chávez, (2007) “Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus indica*) para el consumo humano” en *Revista de la Sociedad Química de Perú* [En Línea], N° 1, Perú, disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1810-634x2007000100005&lng=es&nrm=is&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1810-634x2007000100005&lng=es&nrm=is&tlng=es) [Fecha de acceso 26 de Febrero de 2009].

Lozano, L., Ortín, S., Visuara, M., Boldrini, C., y R. Vinocur, (2007). “Uso hortícola de la planta de tuna, el nopalito o nopal de verdura (*Opuntia spp.*)” Sociedad Rural Salteña [En línea] Disponible en: <http://www.ruraldesalta.org.ar/noticia.php?id=90026> [Fecha de acceso 25 de Febrero de 2009].

Milo, L. Nutraceuticals & functional foods. 2004. Food Technology 58 (2): 71- 75.

Olguín S., (2008) “*Caracterización morfológica y determinación del crecimiento de ecotipos de tuna en el Valle de Lerma*” Tesis de Grado. Salta, Argentina. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

Pérez Sierra, J., Hernández Cruz, F., Gámez Escobedo, M., Abundis Solís, J., A. Ortiz Meza et al., (2008) “*Elaboración de gomita: dulce nopal*” en *Revista de Salud Pública y Nutrición*. México Edición especial N° 14 2008 [En Línea], disponible en: <http://respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-14-2008/documentos/08.pdf> [Fecha de acceso 14 de Febrero de 2009].

Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación FAO, (1998).

Rodríguez García, M.E., Rojas-Molina, I., Lira C., Cornejo-Villegas A., Del Real, A. et al., (2008) “*Estudio de la formación de cristales de oxalato de calcio en pencas de nopal (opuntia ficus indica) en función de su etapa de desarrollo*” [En Línea], disponible en: [http://www.amemi.org/Docs/simposia\\_materiales/platicas\\_invitadas/ceram\\_biomat/estudio\\_de\\_la\\_formacion.pdf](http://www.amemi.org/Docs/simposia_materiales/platicas_invitadas/ceram_biomat/estudio_de_la_formacion.pdf) [Fecha de acceso 26 de Febrero de 2009].

Schattenhofer M.P., (2005) “*Biología reproductiva del cactus invasor Opuntia ficus indica en el Valle de Lerma Salta*” Tesis de Grado. Salta, Argentina. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta.

## ABSTRACT

The nopal (*Opuntia ficus*), is a native American plant species, belonging to the family of cacti, with a presence throughout the American continent. In Argentina it's found as native flora in the northern and central provinces. It was introduced as alternative crop in 2006 in the Valle de Lerma, Salta as a vegetable alternative (Lozano et al., 2007).

Its use as food is rooted in Mexico, where they are consumed leaves (fronds) and fresh or processed fruits (tunas), consumed fresh or in sweet and smoothies. In addition, fiber content, its use in the food industry is an alternative for the formulation of functional foods (enriched flour).

Nopalito flour is characterized by its high content of dietary fiber (FA) and minerals including calcium stands. Epidemiological studies show that consumption of FA produces greater motility, intervening in the prevention of constipation, regulation of glucose and blood lipids. For the FA can exert its physiological effect on humans must be kept intact some of its physicochemical properties such as viscosity, water absorption capacity and oil.

This paper studies the dried cactus samples, using a solar dryer for small scale passive type, where the airflow is produced by a fireplace concentrator CPC (Duran et al. 2008). We analyze the influence of environmental variables such as solar radiation and temperature in the drying of cactus, as well as the quality of dried product.