

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR ACTIVO DE MEDIANA CARGA PARA YACÓN EN LA LOCALIDAD DE BÁRCENA, JUJUY

G. Durán¹, M. A. Condorí, C.C. Martínez
INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. (UNSa-CONICET)
Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta, Argentina.

Te: 54-387-4258709, Fax: 54-387-4255489, mail: gonzalo.jose.duran@gmail.com, miguel.angel.condori@gmail.com

RESUMEN: El yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) es una planta perenne, de mediano porte. El género, de procedencia americana presenta 21 especies, distribuidas a lo largo de Centro y Suramérica. Aunque domesticado, la producción como cultivo principal en tierras arables, o incluso su producción para venta en el mercado local son muy poco frecuentes. En el norte Argentino, existen cultivos permanentes en las localidades de Bárcena, departamento de Chorrillos, Jujuy, y en Los Yacones, departamento de Vaqueros, Salta. En los mercados el yacón se vende como fruta fresca, por su alto contenido de agua. La raíz posee un sabor dulce, y se consume pelando la piel o mezclando con otras frutas, usualmente fresco, o después de un período de secado al sol en cancha de tres a ocho días.

Se presenta en este trabajo el diseño, construcción y ensayos con producto de un secador solar indirecto de mediana escala, con circulación forzada de aire, destinado al secador de la raíz de yacón. Las pruebas realizadas incluyen sensado de temperatura ambiente, radiación solar global, temperatura, peso y humedad del producto. Los resultados obtenidos indican que el secador es capaz de secar la muestra evaluada hasta un 11 % del peso inicial, en un tiempo de secado de día y medio.

Palabras clave: secador solar, cultivos originarios, yacón, colector solar de aire

INTRODUCCION

El yacón (*Smallanthus Sonchifolius*) es una planta perenne, de mediano porte. El género, de procedencia americana presenta 21 especies, distribuidas a lo largo de Centro y Suramérica, desde el sur de México hasta el extremo norte de Argentina.

Aunque domesticado, la producción como cultivo principal en tierras arables, o incluso su producción para venta en el mercado local son muy poco frecuentes; presentándose en mayoría el cultivo para consumo familiar, en localidades aisladas a través de los Andes. En el norte Argentino, existen cultivos permanentes en las localidades de Bárcena, departamento de Chorrillos, Jujuy, y en Los Yacones, departamento de Vaqueros, Salta. Durante la década del 2000 el cultivo de yacón se ha extendido a otros continentes existiendo reportes de su cultivo en Nueva Zelanda, Japón y Korea, donde la raíz tuberosa se vende al público minorista en supermercados. INTA (2007).

El sistema radicular está compuesto de raíces reservantes y carnosas que pueden alcanzar hasta un tamaño de 25 cm y un sistema extensivo de delgadas raíces fibrosas. Las raíces de almacenamiento son principalmente fusiformes, pero a menudo adquieren formas irregulares debido al contacto con piedras del suelo o por la presión de las raíces vecinas.

La raíz tiene un alto contenido de Inulina y Fructooligosacáridos (FOS) (polímeros de fructosa) los cuales no pueden ser hidrolizados por el organismo humano y atraviesan el tracto digestivo sin ser metabolizados, proporcionando calorías inferiores al de la sacarosa, excelentes para las dietas hipocalóricas y dietas para diabéticos. Hay evidencias para considerar los FOS y la inulina como alimentos funcionales: son resistentes a la digestión, pero fermentados por la microflora del colon, lo que conlleva al desarrollo de las funciones colónicas (especialmente el aumento fecal), también tiene efectos fisiológicos sistémicos, estimulan selectivamente el crecimiento de bifidobacterias en el colon, lo que permite clasificarlos como prebióticos; además de su carácter dietético respaldado en su bajo poder calórico (4-10Kj/g).

www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm

En los mercados locales el yacón se vende como fruta fresca, por su alto contenido de agua. La raíz reservante posee un sabor dulce, y se consume pelando la piel o mezclando con otras frutas como bananas o naranjas, usualmente fresco, o después de un período de secado al sol en cancha de tres a ocho días. El procedimiento de secado incrementa el dulzor de las raíces y estas están listas cuando la piel empieza a arrugarse.

¹ Becario doctoral CONICET

Se presenta en este trabajo el diseño, construcción y ensayos con producto de un secador solar indirecto de mediana escala, con circulación forzada de aire, destinado al secado de la raíz de yacón. Las pruebas realizadas incluyen sensado de temperatura ambiente, radiación solar global, temperatura, peso y humedad del producto.

DESARROLLO DEL ENSAYO. DESCRIPCIÓN DEL SECADOR Y METODO EXPERIMENTAL

Descripción de la Materia Prima: Yacón

Los primeros registros del uso de yacón en Argentina se obtuvieron en base a restos arqueológicos recolectados en Pampa Grande, Salta, asociados a la cultura Candelaria, que se desarrolló entre el 1 y 1.000 años d.C. Existen también evidencias arqueológicas (cerámica, textiles, restos de raíces) sobre el uso de yacón fresco, o secado en rodajas al aire libre, en las culturas Nazca (500 a.C. - 700 d.C.), Paracas (1500-500 a.C.) y Mochica (500 a.C. - 700 d.C.), en la costa peruana. (www.yacon.org.ar)

Tradicionalmente, se realizaba cultivo de yacón a pequeña escala para consumo local en la localidad jujeña de de Bárcena, Chorrillos (lat: -23.9, long: -65.45 altura 1800 m.s.n.m). El paso del ferrocarril por la estación de Volcán, a 7 km de Bárcena, fortalecía el pequeño comercio de las localidades aledañas, y con ello, la producción de yacón, que se vendía a los viajeros del tren en forma fresca, o seco y cortado en rodajas. Durante la década del '90 el ferrocarril deja de circular y desaparece el principal canal de comercialización para el yacón. Los productores dejan paulatinamente de lado su cultivo reemplazándolo por el cultivo de verduras, flores, papa, zapallo y maíz, productos que tenían mejor llegada a los mercados jujeños.

Hacia el año 2000, por iniciativa de la escuela primaria "Prov. de Río Negro" de Barcena y los productores locales, comienza a gestarse un proceso de recuperación del yacón, creándose la Cooperativa Portal del Patrimonio. La cooperativa, que es administrada en su mayoría por las mujeres de los productores locales, recibe asesoramiento por parte del Proyecto de Cultivos Andinos, que colabora con la capacitación de los productores sobre las propiedades y usos de las hojas y raíces, apuntando a la reincorporación del yacón en la dieta diaria de los pobladores, como así también a la creación de una marca registrada, "Muña Kuy" (en quechua, Abrazo Dulce). Los productos ofrecidos a la venta bajo esta denominación engloban: te de hoja, escabeches, dulces en conserva, mermeladas, licores, hojuelas secas y caramelos de yacón. (www.yacon.org.ar)

Este proceso de recuperación del cultivo ofreció a los productores una serie de logros sociales y económicos, creándose el Festival del Yacón, único evento el país en torno a este cultivo, y la presentación de la Cooperativa en el Salón del Gusto, organizado por la Fundación Slow Food en Italia, durante los años 2002, 2004 y 2006.



Figura 1: Productores de la Cooperativa Portal del Patrimonio. Productos realizados en base a yacón: te, mermeladas y dulces.

Descripción del equipo secador

Se construyó un secador solar de tipo indirecto, con circulación por convección forzada, de carga mediana de producto. Las dimensiones del prototipo son de 2,4 m de largo, 1,9 m de alto y 1 m de ancho. La estructura que soporta la cámara de secado y el colector de aire se construyó en caño estructural de 40 mm x 40 mm. La cámara de secado, de dimensiones 2,4 m de largo x 1 m de alto y 1 m de ancho es transparente a la radiación solar, de manera que las caras laterales, cara norte y techo fueron construidos con policarbonato alveolar transparente de 4 mm de espesor, sujeto a la estructura metálica con ángulos de chapa galvanizada de 25 mm de lado, pegamento siliconado y tornillos autoperforantes. Sobre la cara sur se encuentran dos puertas de acceso de dimensiones 1 m x 1 m, construidas en caño estructural y recubiertas con placas de aluminio, que permiten acceder al interior del secador para realizar la carga de producto, o mantenimiento de los ventiladores. El perímetro de las puertas de acceso fue recubierto con burletes de goma vulcanizada para minimizar las pérdidas térmicas y filtraciones de aire. La figura 2 muestra una fotografía de la etapa de ensamblado del secador. La figura 3 derecha muestra el aspecto final de la cámara de secado.



Figuras 2 y 3: Ensamblado y aspecto final del secador, donde se observa carga parcial de producto

El producto es cargado en una serie de bandejas, construidas en malla plástica, las cuales son colocadas a través de rieles en la cámara de secado. En total se dimensiona este sistema para albergar diez bandejas, de 1 m x 1 m, construidas en caño estructural, con una malla plástica de alta resistencia, porosa, que permite la libre evaporación del agua contenida en el producto. La capacidad de cada bandeja es de aproximadamente 3 kg. de producto fresco

En la parte inferior de la cara norte se colocó un colector solar de aire, de dimensiones 2.4 m de largo x 1 m de ancho x 0.1 m de alto, construido en chapa galvanizada, con aislación de lana de vidrio de 25 mm de espesor, y con una placa absorbadora realizada en chapa galvanizada ondulada. La ubicación del absorbador, pintado en negro mate, permite el paso del flujo de aire por arriba y debajo del mismo, optimizando la transferencia de calor al aire. Los ensayos presentados en años anteriores permiten aseverar que el colector de doble paso de aire con acumulador en chapa ondulada permite obtener una diferencia máxima de 30 °C entre las temperaturas de entrada y salida del colector, para un flujo de aire de 0.06 kg/s y radiación global sobre plano horizontal del orden de 800 W/m².



Figuras 4 y 5: Ductos de salida del aire hacia el interior del secador. Cara sur, donde se aprecian las puertas de acceso

Para forzar el movimiento del aire en el secador se utilizan tres ventiladores de 10 cm de diámetro, del tipo utilizado en las fuentes de computadoras, con una potencia de 10 W cada uno. El aire circula a través de los colectores en depresión, e ingresa a la cámara de secado en sobre presión. Así, el flujo de aire que ingresa por la boca de entrada del colector superior (de 0.9 m x 0.1 m), circula por el techo, incrementando su temperatura, para luego ser dirigido a la boca de entrada del colector de la pared norte, en donde alcanza la temperatura de operación, para luego ingresar a la cámara de secado, a través de un ducto rectangular de sección cuadrada de 0.1 m x 0.1 m, que puede apreciarse en la figura 4.

Un sistema de calentamiento de aire mediante resistencia eléctrica permite ampliar la autonomía de uso del secador. Este sistema, conectado entre la salida de los colectores solares de aire y la cámara de secado está formado por dos resistencias eléctricas de 300 W, conectadas en serie a un dimmer de 1.6 A y 220 V. De esta forma puede regularse la potencia disipada, variando así la temperatura del aire, y permitiendo secar en horas de la noche, en días de escasa radiación solar, o aumentando las horas de uso normal del sistema (iniciando el secado con calentamiento eléctrico en horas de la mañana, luego calentamiento solar durante el día, y al anochecer, utilizar el calentador eléctrico).

En la parte baja del secadero se incorporaron ruedas ciegas, para facilitar el manejo y del prototipo a medida que avanza el día solar, con fines de optimizar el aprovechamiento del recurso solar.

Ensayos Experimentales.

Durante julio de 2010 se realizaron ensayos del prototipo de secador en condiciones de carga de producto. Para ello se sensaron valores de temperatura ambiente, radiación global solar sobre plano horizontal; temperatura de flujo de aire a la salida del colector, temperatura de aire en el interior del secador y temperatura de producto. Además, se tomaron valores de humedad relativa dentro del secador, y velocidad de aire a la entrada de la cámara. Por último, se siguió el peso de una muestra de producto, durante el proceso de secado.

Las medidas de temperatura se realizaron mediante termocuplas tipo K, calibradas mediante un bloque calibrador de aire Hart Scientific 9009. Los valores de humedad relativa se tomaron utilizando un termo higrómetro Vaisala HMP 45D. Un piranómetro Kipp & Zonnen CM3 fue utilizado para las medidas de radiación solar sobre plano horizontal; los valores de velocidad de flujo de aire fueron sensados de forma manual mediante un anemómetro de hilo caliente TSI VelociCalc 8454. Por último, se siguió la evolución de una pequeña masa de yacón, mediante una galga extensiométrico.

El conjunto de sensores fue conectado a un datalogger Campbell CM23X, de ocho entradas analógicas, configurado para toma de datos cada cinco minutos.

RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en el ensayo realizado:

La figura 6 muestra los resultados de temperatura ambiente y radiación global sobre plano horizontal. El ensayo se inició a horas de la tarde del día 20 de julio, y se continuó durante el día 21. Se observan valores máximos de radiación en mediodía solar cercanos a los 800 W/m², y valores superiores a los 400 W/m² durante buena parte del día. Además, al inicio y fin del día 21 de julio se observan valores discontinuados, efecto originado por la serranía del lugar, que corta la incidencia de radiación en las primeras horas de la mañana, y últimas horas de la tarde.

En la misma gráfica se describen los resultados de temperatura ambiente para los días 20 y 21 de julio. Como se puede observar, la temperatura durante los días de ensayo es baja, con máximos cercanos a los 15 °C en primeras horas de la tarde, y mínimos relativos inferiores a -1 °C durante la noche.

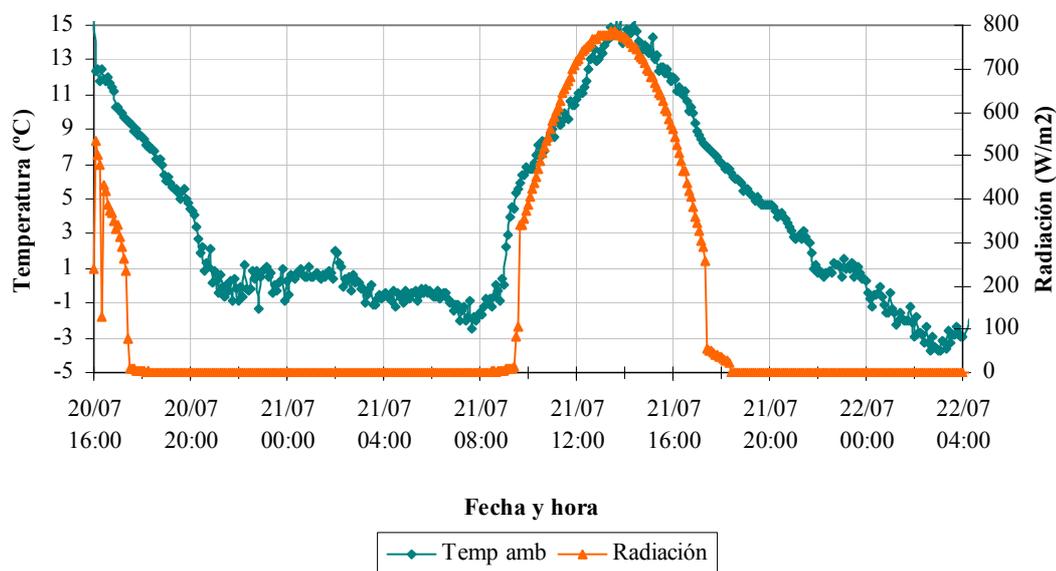


Figura 6: Condiciones ambientales durante los días de ensayo.

La figura 7 describe los resultados de temperatura de flujo de aire a la salida de colector, en el interior del secador, temperatura de producto, y temperatura ambiente. Se observan máximos del orden de 50 °C, alrededor de la hora 14:00, correspondiente a la salida del colector. Dentro de la cámara de secado la temperatura es superior a los 30 °C durante buena parte del día de ensayo, en el intervalo de 10:00 a 18:00. La temperatura del producto es, durante el día, mayor a la temperatura ambiente, y sigue con moderada precisión los valores de temperatura de aire en el interior del secador. Durante horas de la noche la temperatura ambiente decrece por debajo de 0 °C, originando un descenso por debajo del punto de congelación en la temperatura dentro del secador y en la temperatura del producto.

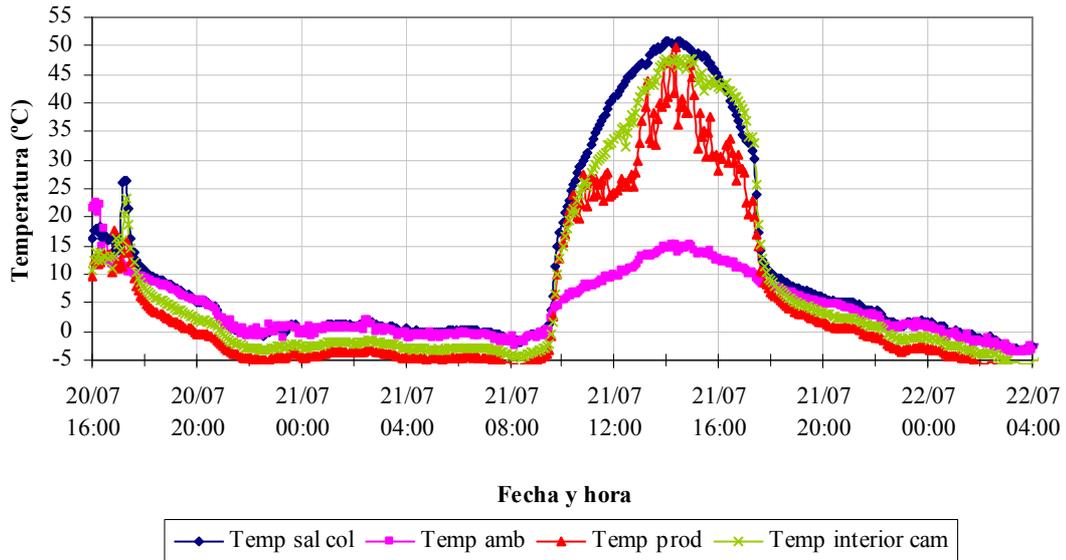


Figura 7: Medidas de temperatura en el secador, y temperatura ambiente.

La figura 8 muestra las medidas de peso de la muestra monitoreada y la humedad relativa ambiente en el interior del secador. Se puede observar que la humedad relativa es cercana al 70% durante horas de la noche, para luego descender a valores por debajo del 10% durante el día.

Los resultados de las medidas de peso, obtenidas mediante el uso de la galga extensiométrico presentan un comportamiento anómalo, con presencia de escalones. Esto es originado por la baja resolución del instrumento utilizado, de 15 g para una alimentación de 12 VCC. Sin embargo, se puede observar que el producto sensado, disminuye su peso desde un valor inicial de 220 g al inicio del ensayo, hasta un peso final de 25 gr, obtenido a las 24 horas de iniciado el secado, así, la muestra sensada se secó hasta llegar a un 11% de su peso inicial.

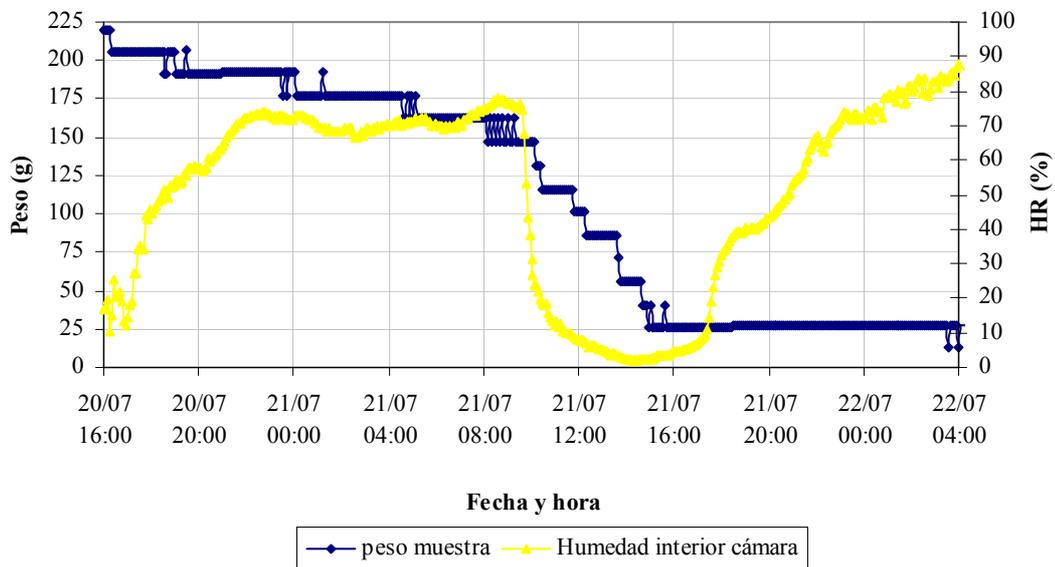


Figura 8: Curva de peso de producto y humedad relativa en el interior del secador.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron ensayos iniciales de secado de yacon, con un secador forzado de tipo indirecto, de mediana carga de producto. En el ensayo, se realizaron medidas de temperatura y radiación ambiente, humedad relativa en el interior de la cámara de secado, temperatura de aire a la salida del colector de aire, temperatura de flujo de aire en el interior de la cámara de secado, y temperatura de producto.

Las medidas de temperatura realizadas, figura 7, arrojan valores máximos de temperatura del aire en interior del secador cercanos a los 48 °C, máxima temperatura de producto de 45 °C, y temperatura de salida del colector de 50 °C, todas en

primeras horas de la tarde. Además, se observa que la temperatura del producto permanece a una temperatura superior a los 30 °C durante buena parte de las horas diarias de sol.

Los resultados de peso indican que el secador puede evaporar el agua de una muestra de 220 g al 11 % de su peso inicial en un día de sol. Cabe aclarar que estos resultados son preliminares, ya que se debe mejorar el sensado de peso, que se realizó con una resolución insuficiente.

Sin embargo, los productores manifestaron su conformidad con desempeño del secador, que reduce el tiempo de secado de cuatro días, en cancha, a un día y medio, con un producto de calidad superior al obtenido por medios tradicionales.

REFERENCIAS

www.yacon.org.ar Página web de la Cooperativa de Productores de Yacón de Chorrillos

Página web de INTA (2007) en: www.inta.gov.ar/balcarce/propapa/actpap/11/yacon.htm

www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm Página web de La Molina, Perú

Quiroga, M. et al. (2007). Curvas de secado experimentales de hojas de yacón. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 11. N° 1, pp 2.53-2.58

ABSTRACT: Yacon (*Smallanthus Sonchifolius*) is a perennial plant of medium size. The genre of American origin has 21 species distributed throughout Central and South America. Although domesticated, as the main crop production on arable land, or even their production for sale in the local market are very rare. In northern Argentina, crops are presented in the localities of Bárcena, Department of Chorrillos, Jujuy, and Los Yacones, Department of Vaqueros, Salta. In markets yacon is sold as fresh fruit because of its high water content. The root has a sweet flavor and is consumed by peeling the skin or mixed with other fruits, usually fresh, or after a period of sun drying of three to eight days.

Is presented in this paper the design, construction and testing of a solar dryer product indirect medium-scale forced circulation of air for the dryer from the root of yacon. Tests include temperature sensing, global solar radiation, temperature, weight and moisture of the product. The results indicate that the dryer can dry the sample tested up to 11% of initial weight in a drying time of day and a half.

Keywords: solar dryer, native crops, yacon, solar air.