

## **CURVAS DE SECADO EXPERIMENTALES DE HOJAS DE YACÓN#**

M. Quiroga, S. Ebber, R. Echazú  
L. Saravia, B. Sanchez, M. Condorí,  
INENCO - Universidad Nacional de Salta  
Av. Bolivia 5150 - A4408FVY Salta  
email: quirogam@inenco.net - FAX 54-387-4255489

**RESUMEN:** Se presentan y discuten las experiencias de secado en laboratorio de hojas de yacón y su caracterización por medio de la medida de reflectancia y transmitancia espectral del material fresco y seco. Se han determinado las condiciones adecuadas para el secado de hojas y se completó el prediseño de un secador solar de mediano porte.

**Palabras Clave:** Energía Solar Secado Solar, Curvas de Secado, Yacón

### **INTRODUCCIÓN**

El yacón *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.& Endl.) H. Robinson, es una planta con raíces tuberosas domesticada en los Andes. Se supone que desde las montañas húmedas de Perú y Bolivia se habría expandido hacia el norte y sur a lo largo de los declives húmedos Andinos, valles interandinos secos y la costa del Pacífico. Su centro de origen estaría ubicada en los valles orientales de los Andes, desde la cuenca del río Apurímac (12° S) en el Perú hasta la cuenca del río La Paz (17° S) en Bolivia (Huaman, 2006).

Existen representaciones fitomórficas en la cultura Nazca (500-1200 D. C.) que se atribuyen al Yacón, las cuales están representadas en textiles y cerámicas.

Actualmente es cultivado en muchas localidades aisladas a través de los Andes, desde Ecuador hasta el noroeste argentino (provincias de Salta y Jujuy). Principalmente se cultivan unas cuantas plantas para consumo familiar y de modo menos frecuente para el mercado local. Los agricultores raramente lo explotan como principal cultivo en sus tierras arables. INTA (2007)

En época reciente, se ha extendido a otros continentes y existen reportes de su cultivo en Estados Unidos, aunque no significativo a nivel comercial. Entre los países consumidores se destacan Nueva Zelanda, Japón, Korea y Brasil. También se comercializa en pequeña escala y con precios muy altos en Europa. Jujuy.com (2007)

El uso de las hojas para la preparación de té medicinal para el tratamiento de la diabetes es un hábito que ha surgido espontáneamente en tiempos modernos, probablemente en Japón. Existen claros indicios experimentales que dan un sustento fisiológico a este uso, detectados por un grupo de investigadores brasileños y confirmados luego en Argentina. Lamolina, (2007)

El extracto acuoso de las hojas tiene la capacidad de reducir los niveles de glucosa en la sangre. Compuestos químicos que todavía no han podido ser aislados tienen la propiedad de actuar reduciendo los niveles de glucosa en la sangre de ratas que han desarrollado diabetes en forma artificial. Aybar (2001)

También se ha mencionado el uso de las hojas como forraje para animales. Asimismo, las hojas secas y fumadas en pipa, se emplean como tratamiento para combatir la dependencia al tabaco y la drogadicción. Salazar Mendoza (2007)

### **ANTECEDENTES DEL SECADOR SOLAR DE VAQUEROS**

A mediados del 2007, un grupo de productores de la zona de Vaqueros, en el extremo norte del valle de Lerma, cerca de la capital de Salta, solicitó asesoramiento del INENCO para el desarrollo de sistemas de secado solar artesanales de mediana escala para hojas de yacón, que se destinarán a la venta como hierba medicinal en el mercado local.

Algunos productores habían empleado anteriormente un sistema de secado solar a pequeña escala para raíces de yacón

---

# Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta

Passamai et. al., (2005) y la propuesta original consistió en utilizar un método similar o estufas de tabaco modificadas para secar las hojas.

El secado usualmente se realiza al aire libre, o últimamente se han realizado alguna experiencias aprovechando estufas de tabaco. Las hojas se secan tal cual salen de la planta, atadas en palos, en modalidad similar a la empleada para el tabaco de la zona del Valle de Lerma en Salta.

El problema radica en que la lámina y la nervadura presentan tiempos de secado muy diferentes, entonces cuando se completa el secado, la nervadura de la lámina está demasiado seca y quebradiza.

Por otra parte, existía en los agricultores la creencia de que el lavado de hoja y prácticas tales como el cortado o cualquier manipulación le confieren a las hojas un color muy oscuro, lo que disminuiría su calidad.

El primer objetivo de la experiencia fue detectar el procedimiento de secado mas adecuado energéticamente y por calidad del producto obtenido.

En una primera etapa, se determinaron las curvas de secado en laboratorio y se propuso un método para caracterizar el avance del secado como función de la reflectividad espectral VIS-NIR.

En las secciones que siguen se presentan y discuten los resultados.

### DETERMINACIÓN DE CURVAS DE SECADO EN LABORATORIO

Los primeros ensayos se realizaron secando las hojas con tres tratamientos diferenciales, a) aplastamiento de las nervaduras principal y primarias con rodillo, b) cortado de hojas, c) hojas enteras (siguiendo la forma de secado tradicional) sin lavado de hojas en ninguno de los casos; para cada tratamiento se realizaron dos repeticiones.

Se pudo comprobar que en un secado con buena temperatura y circulación de aire, no se produce oxidación con oscurecimiento de hojas en ningún tratamiento.

En el segundo ensayo se repitieron los tres tratamientos con las hoja lavada (y con desinfección con lavandina) y sin lavar a efectos de evaluar si se producía en realidad oxidación y oscurecimiento de hoja por mojado. Se comprobó que en ningún caso el lavado provoca oxidación ni deterioro de la calidad ni color del producto, sino contrariamente en el proceso de lavado se extrajo gran cantidad de tierra y restos florales, que afectan su calidad.

Para estas experiencias se utilizó como cámara de secado un equipo originalmente diseñado para cultivo en condiciones controladas (fitotrón), siendo las condiciones de operación: temperatura entre 33 y 44 °C, sin luz y circulación de aire forzada a una velocidad inferior a los 0,2 m/s. La humedad del aire a la salida fue siempre inferior al 35%

En la figura 1 (izquierda), la fotografía muestra el interior del equipo cargado con las muestras de material. En la parte superior, hojas completas colgadas en modo similar al empleado en estufas de secado de tabaco y en la inferior hojas trozadas sobre una bandeja de malla plástica.

En el extremo superior se encuentra el módulo de calentamiento de aire y control de temperatura.

En la foto siguiente una hoja ya seca sobre la balanza granataria. Obsérvese la diferencia de color entre las dos caras de la hoja, típico de la especie.

El teclado de PC que aparece a la derecha permite apreciar el tamaño del material.



Figura 1: Hojas de yacón en la cámara de secado y en la balanza.

Comparativamente las hojas cortadas y lavadas (cortadas mojadas), retienen una humedad superior a la correspondiente al mismo tratamiento sin lavar (cortada seca), debido a que entre los trozos de lámina foliar y por la pilosidad natural de la planta se retiene una película de agua que se evapora rápidamente al inicio del proceso. Sin embargo, el tratamiento cortado mojado no llega a igualar el contenido de humedad de los otros tratamientos, resultando uno de los más desventajosos.

Las hojas cortadas sin lavar (cortadas secas), inician el proceso con un contenido de humedad algo superior al de las hojas enteras, sin embargo a lo largo del proceso pierden humedad más rápidamente que éstas.

Las hojas aplastadas con rodillo lavadas (aplastada mojada), inician el proceso con un contenido de humedad cercano a 80 % es decir el segundo más alto de las muestras, con alta retención inicial de agua de lavado, y su similar aplastada sin lavar (aplastada seca) comienza con un contenido de humedad de un 55 %, sin embargo luego de una hora de secado y una vez evaporada el agua de lavado, ambos tratamientos se equiparan.

El tratamiento propuesto por los productores de secado de rama entera con hojas resultó tener una marcha lenta en el secado, como era previsible.

Sintetizando los resultados, el tratamiento de hoja aplastada fué el que mejor comportamiento mostró, igualando los tiempos de secado de nervadura con el de lámina, sin deterioro de la calidad del producto, las hojas cortadas exhibieron un comportamiento intermedio pero muy similar a las anteriores y por último las hojas enteras (forma de secado tradicional) mostraron un comportamiento inferior.

Un aspecto destacable es la sencillez y el bajo costo del tratamiento de aplastado de nervaduras respecto a su similar de hojas cortadas.

De los resultados obtenidos en las experiencias anteriores se pudo demostrar que el lavado de hojas no deteriora el color del producto y resulta en cambio indispensable para mantener la calidad sanitaria del mismo, por lo que debería efectuarse sin excepción.

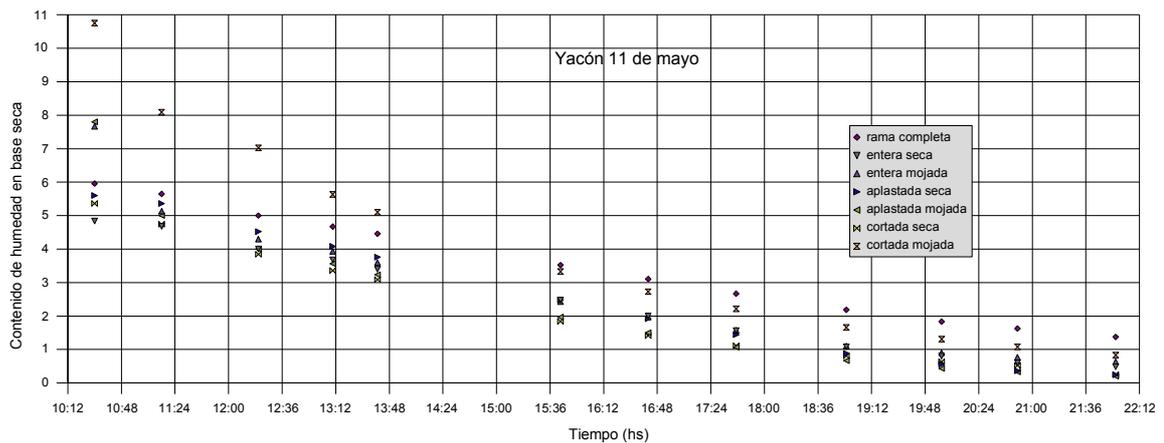


Figura 2: Curvas de secado de hojas de yacón con diferentes tratamientos previos .

Dado que los resultados de hojas cortadas y aplastadas resultaron muy cercanos y para realizar un ajuste final de la curva de secado, ambos tratamientos se repitieron para su secado en el “minisecador” Saravia et. al. (2007), de mejores prestaciones.

En este equipo, el aire es impulsado por un ventilador centrífugo de 100 W hacia la cámara de secado, luego de ser calentado por una resistencia eléctrica controlada por un circuito electrónico a termocupla. El material se coloca en el interior de la cámara en una bandeja suspendida de una balanza electrónica de tipo granataria conectada al sistema de medidas. Asimismo se mide y registra la temperatura del aire a la entrada de la cámara, a la salida de ésta y en el ambiente. Estos sensores se conectaron a un data logger Campbell CR23X. La velocidad del aire se midió manualmente con un anemómetro TSI 8345 y la humedad con sonda Vaisala.

Las condiciones de operación para estos ensayos fueron: temperatura entre 38 y 40 °C, sin luz y circulación de aire forzada a una velocidad de entre 1,4 y 1,5 m/s. La humedad del aire se mantuvo entre 27% y 35%

En la figura 3 se muestran los resultados para dos corridas con distinta densidad de carga: la del día 23 (izquierda) corresponde al secador cargado con 3,25 Kg/m<sup>2</sup> y la del 24 (derecha) 3,8 Kg/m<sup>2</sup>

Se nota también que el tiempo es en ambos casos menor que el obtenido en el primer secador, debido a la mayor velocidad del aire. No se detectó diferencia de calidad entre las hojas secadas en uno y otro equipo, como se verá en la próxima sección.

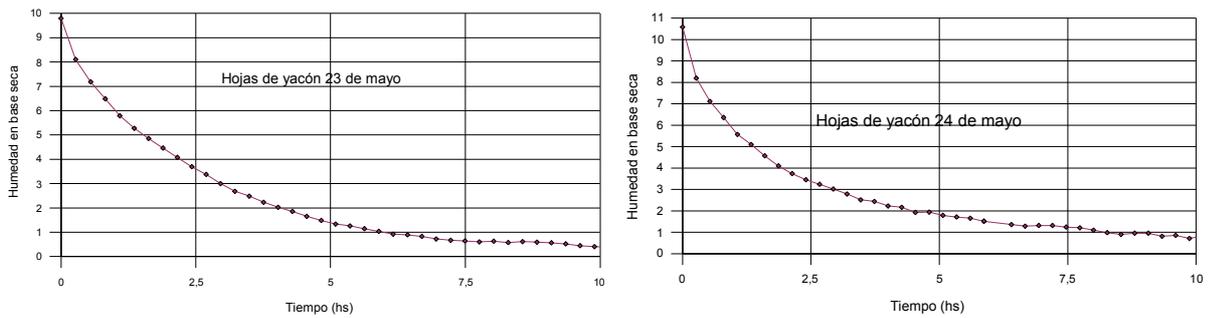


Figura 3: Curvas de secado de hojas de yacón en el minisecador.

### MEDIDAS ESPECTRALES DE REFLECTANCIA Y TRANSMITANCIA

Al presente no se cuenta con un método objetivo para determinar la calidad del producto seco, la que depende de su valor medicinal y en última instancia de la concentración de los principios activos, por lo que se resolvió medir la reflectividad espectral en visible de muestras de hojas, con diferentes avances en el secado, siguiendo la premisa de que, en la medida en que se mantengan los pigmentos, también se mantendrán los principios activos.

Aunque indirecto, el método permite contar con una medida objetiva y fácil de determinar en laboratorio.

Para las determinaciones se empleó un espectrorradiómetro LI-COR 1800 con resolución de 2 nm, en el rango de 400 a 800 nm., acoplado a una esfera integradora externa LI-COR de 50 mm.

En la figura 4, la fotografía muestra el montaje de una hoja en laboratorio, durante la medida de reflectancia. Para cada determinación deben realizarse tres medidas, con distintos modos de conexión de los periféricos.

En esta foto, se observa en primer plano la hoja colocada sobre la abertura de la esfera, a su izquierda el módulo de iluminación y arriba la conexión de la fibra óptica, que trasmite la radiación al mocromador. En segundo plano, el gabinete de color gris contiene el espectrorradiómetro.



Figura 4: Equipo para la medida espectral de reflectancia y transmitancia.

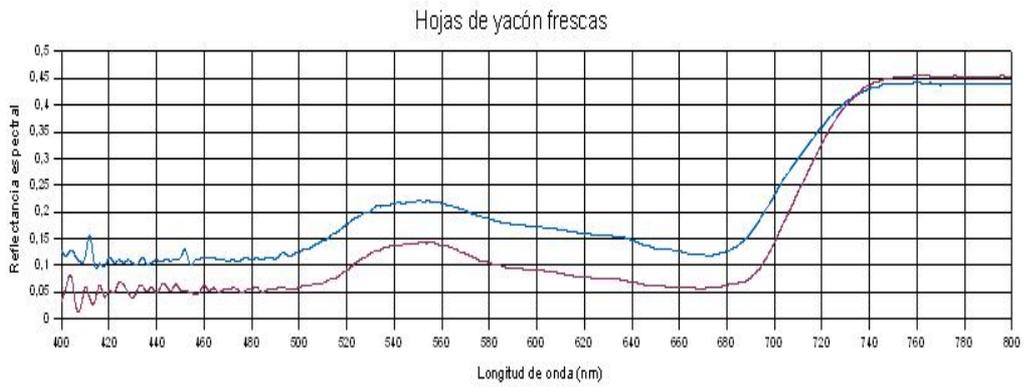


Figura 5: Reflectancia espectral de hojas de yacón frescas.

En la figura 5 se representa la reflectancia de una hoja fresca, en función de la longitud de onda, para el rango de radiación visible. La curva de trazo azul corresponde al lado superior de la hoja y la roja al inferior. Los picos entre 500 y 600 nm, son característicos de todas las hojas verdes y el aumento pronunciado desde los 700 nm está relacionado con el contenido de agua.

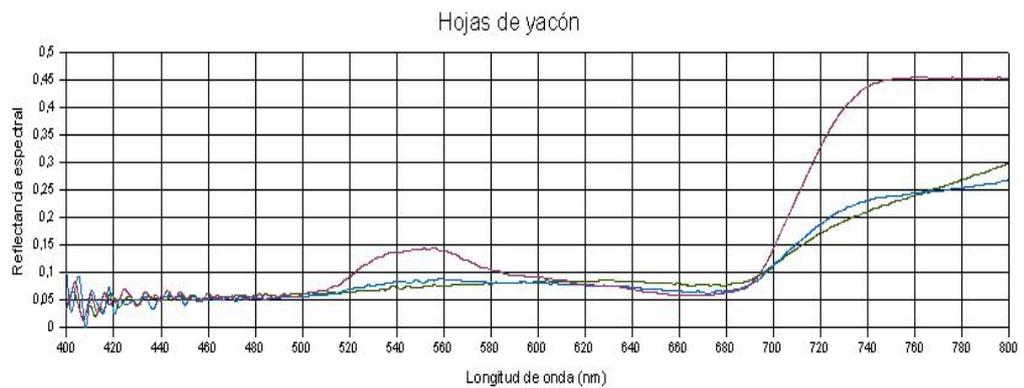


Figura 6: Reflectancia espectral de hojas de yacón en diferentes etapas del secado.

En la figura 6 se representó la reflectancia espectral de la cara superior de una hoja con diferentes grados de humedad: La curva azul es la misma de la figura anterior, corresponde al estado inicial, la hoja fresca, la curva de color azul se obtuvo después de 2 horas de iniciado el secado y la verde a las 7 horas, con el material ya seco.



Figura 7: Transmitancia espectral de hojas de yacón en diferentes etapas del secado.

En la figura 7 se ve como evoluciona la transmitancia espectral con el avance del secado. Se midió con el mismo equipo iluminando la hoja a contraluz. En esta gráfica la curva roja representa la transmitancia de la hoja fresca, la verde la corresponde a las 2 horas de secado y la azul el estado final.

Se repitieron estas mediciones con muestras secadas en los dos equipos, no detectándose diferencia apreciable.

## PREDISEÑO DEL SECADOR

A partir de las experiencias anteriores, se determinó que la densidad de carga empleada en laboratorio, permite obtener un secado uniforme del material, con las condiciones adecuadas de temperatura, humedad y velocidad del aire.

Con estas premisas y los requisitos de calidad del producto, se completó el prediseño de un secador activo de mediana capacidad.

El sistema completo consta de: precámara, cámara de secado, colectores solares y un ventilador axial, planteándose para una segunda etapa la incorporación de energía auxiliar y controles automáticos.

La precámara es esencialmente un pequeño invernadero usado como secador de aproximadamente 20 m<sup>3</sup>, en la que se cargan las hojas luego del lavado. En esta sección, donde se escurre y evapora el agua del lavado y se inicia el secado, el material recibe radiación solar filtrada por una cubierta de polietileno tipo LDT y la circulación del aire se realiza en forma pasiva por las aberturas de los extremos.

La cámara de secado lleva en su interior el material dispuesto sobre bandejas con estructura de acero de construcción de 6 mm y malla de red de polipropileno tipo antigranizo, con una densidad de carga de 3 kg/m<sup>2</sup>. Esta cámara, por iniciativa de los productores, se construirá en mampostería de ladrillos con aislación térmica de poliestireno expandido.

Se ha seleccionado un ventilador de tipo axial, con motor monofásico, de prestaciones algo mayores que las necesarias para la configuración inicial del secador, previendo una futura ampliación. Las características del ventilador son: Diámetro: 600 mm, 5 aspas, Volumenstrom: 1,5 m<sup>3</sup>/s, Presión estática: 200 Pa, Velocidad de rotación 90 KHz Potencia 745 W, Multiwing, (2007). Este tipo de ventilador es de costo considerablemente menor a los tangenciales de iguales prestaciones y fue empleado con éxito por los autores en sistemas puestos en marcha con anterioridad. Echazú et. al. (2002)

Para los colectores se planteó en primera instancia el uso de los colectores planos de alta eficiencia y mediano costo, desarrollados y empleados por los autores en otros secadores de mas capacidad Condorí et. al. (2006), Echazú et. al. (2006). Puesto que se dispone de un presupuesto reducido para este emprendimiento, se estudia como alternativa un colector construido en suelo – cemento, de costo considerablemente mas bajo, que al presente se encuentra en etapa de ensayo.

## CONCLUSIONES

Se han determinado las curvas de secado experimentales de hojas de yacón en laboratorio, se ha propuesto y experimentado un método para cuantificar la calidad del producto seco y se han establecido condiciones de operación adecuadas: velocidad de aire, temperatura y densidad de carga.

Con estos datos se ha iniciado el diseño de un secador solar activo para un grupo de productores de Salta.

## REFERENCIAS

- Aybar M., Sánchez Riera A. N., Grau A., Sánchez S.S., (2001), "Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallantus sonchifolium* (yacón) leaves in normal and diabetic rats", *Journal of Ethnopharmacology* 74:125-132.
- Condorí M., et. al.(2006) " Secador Solar Indirecto con Flujo de Aire Forzado para Huacalera, Quebrada de Humahuaca" . AVERMA, Vol. 10 ISSN 0329-5184 p. p. 02.47
- Echazú et. al. (2002) " Ensayos y Simulación de un Sistema Activo de Acumulación de Energía con Botellas de PET Recicladas para Invernaderos " , ERMA Vol. 11, 2002 ISSN 0328-932X.
- Echazú R., et. al. (2006) " Curso de Secado con Energía Solar en la Quebrada de Humahuaca", AVERMA, Vol. 10 ISSN 0329-5184
- Huaman Zosimo, (2006) " Pro Biodiversity of the Andes" en [www.geocities.com/probioandes](http://www.geocities.com/probioandes), Lima,
- Multiwing, (2007) "Optimizer on line" en [www.multi-wing.com](http://www.multi-wing.com)
- Página web de La Molina, Perú (2007) en: [www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm](http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm)
- Página web de INTA (2007) en: [www.inta.gov.ar/balcarce/propapa/actpap/11/yacon.htm](http://www.inta.gov.ar/balcarce/propapa/actpap/11/yacon.htm)
- Página web de la Prov. de Jujuy (2007) en [www.jujuy.com/?p=144](http://www.jujuy.com/?p=144)
- Passamai V. et al (2005) "Aplicación del Secado Solar al Yacón" . Comunicación en ASADES
- Salazar Mendoza (2007) V. H. en [www.cinafrix.com](http://www.cinafrix.com)
- Saravia L. et. al. (2007) " El Diseño de Secadores Solares Usando las Curvas de Secado del Producto" en ASADES 2007

**ABSTRACT:** Experimental drying curves of yacón leaves was carry out at lab. Spectral reflectance and transmittance of leaves are also determined in advance to design a solar dryer to farmers.

**Keywords:** Solar dryer, Solar Energy, Drying curves, Yacón