

Diseño, construcción y evaluación sin carga de un prototipo de secador solar para el secado de Anamú

Design, construction and evaluation without load of a solar dryer prototype for the drying of Anamú

MSc. Susana Fonseca- Fonseca^{1*}

MSc. Ronald Andi6n-Torres¹

Ing. Osvaldo Pacheco-Busquets¹

Ing. Torres-Ten, Alonso¹

Ing. Zen6n-Cobi6n, Francisco¹

¹Centro de Investigaciones de Energía Solar, Cuba

*Autor para la correspondencia. Correo: sfonseca@cies.cu

RESUMEN

Considerando el amplio uso de la planta de anamú con prop6sitos medicinales y que en el territorio de Santiago de Cuba existe gran inter6s por el desarrollo de procesos que permitan la utilizaci6n del anamú con fines terap6uticos, para lo cual se requiere la planta seca, se desarroll6 un trabajo con vistas a la obtenci6n de un prototipo de secador solar para el secado de esta planta. En este trabajo se desarrollaron los c6lculos para el dimensionado, as6 como los elementos del proyecto t6cnico del equipo diseado en el Centro de Investigaciones de Energía Solar. Se muestra adem6s el prototipo construido y su evaluaci6n en vac6o (sin carga). Durante la evaluaci6n se determin6, mediante la estimaci6n por intervalos de confianza, que el valor medio de la temperatura m6xima, durante los d6as analizados, tiene un valor que est6 entre 40,6 y 42,2 °C para un nivel de confianza de 0,95 y la temperatura media est6 entre 36,8 y 39,8 °C, los cuales resultan apropiados para el secado del anamú.

Palabras clave: Anamú; secador solar; plantas medicinales; propiedades medicinales.

ABSTRACT

Considering the wide use of plant anamú for medicinal purposes and in the territory of Santiago de Cuba there is great interest in the development of processes that allow the use of anamú for therapeutic purposes, for which the dried plant is required for this

causes work was developed with a view to obtaining a prototype solar dryer for drying the plant. In this paper the calculations were developed for the sizing of the prototype and the elements of the technical project team designed at the Research Center for Solar Energy developed. It also shows the built prototype and its evaluation idle (no load) is also shown. During the evaluation estimation confidence intervals it was determined that the average value of the maximum temperature for the days analyzed, has a value that is between 40.6 and 42.2 °C for a confidence level of 0.95 and the average temperature is between 36.8 and 39.8 °C, which are suitable for drying anamú.

Keywords: Anamú; solar dryer; medicinal plants; medicinal properties.

Recibido: 7/07/2018

Aceptado: 15/10/2018

Introducción

El secado solar al aire libre o secado natural es una de las técnicas más antiguas para la conservación de los alimentos y es un método ampliamente utilizado. En el secado natural el movimiento del aire se realiza por acción de los vientos y la evaporación de la humedad se realiza debido al poder de secado del aire y de la influencia de la energía solar. ⁽¹⁾

El secado natural tiene varias desventajas ya que el producto está expuesto a factores climáticos como el viento, la lluvia, el polvo; así como la posibilidad de ataque de pájaros, roedores e insectos y la contaminación por microorganismos entre otros. Para superar esos problemas, abreviar el tiempo de secado y reducir al mínimo las pérdidas, se pueden emplear equipos, procesos y técnicas realizando el secado en secadores que aprovechan la acción de los vientos y la energía solar, este es el secado artificial a baja temperatura, que recibe el nombre de secado solar técnico. El secado solar técnico supone el empleo de equipos que permiten aprovechar la radiación solar y al mismo tiempo preservan los productos de descomponerse debido al contenido de humedad que presentan y lo protegen de las condiciones climáticas, así como de los animales, ⁽²⁾ además el secado natural, o sea, a la intemperie, bajo el sol o en naves abiertas, no garantiza en muchos casos bajar la humedad de los materiales a los niveles necesarios. Es muy difícil y a veces imposible, lograr con el secado natural la

calidad requerida del producto final. Por estas razones es tan usado el secado artificial en equipos llamados secadores o deshidratadores.⁽³⁾

En Cuba, al igual que en otros países de Latinoamérica, se han desarrollado diferentes variantes de secadores solares de los que se describen algunos a continuación:

Estufa solar: Constituida por una caja rectangular que posee una doble cubierta de vidrio, contiene en su interior cuatro bandejas en forma escalonada donde se expone el producto a secar. Por la parte delantera penetra el aire que se calienta por medio de un plato metálico ennegrecido que absorbe la radiación solar incidente a través del espacio entre las bandejas. El aire, a la vez que se calienta, se desplaza a través de las bandejas de mallas y sale por la parte superior a través de una compuerta de sección variable que se manipula manualmente. El producto se extrae e introduce por una pequeña puerta lateral.⁽⁴⁾

Secador solar tipo gabinete: Está constituido de madera pintado con pintura expósita para alargar su vida útil, su forma es de gabinete, y su cubierta de vidrio. El mismo se compone de dos gavetas de malla metálica donde se coloca el material a secar y el aire necesario para el proceso de secado penetra al interior del secador por dos agujeros que presenta en sus laterales y es expulsado al exterior por tiro natural por los agujeros de salida que contiene el equipo en la parte superior de la pared del fondo.⁽⁵⁾

Secador solar doméstico con materiales de la construcción: Fabricado fundamentalmente con materiales de la construcción para disminuir su costo y posee una cubierta superior formada por un vidrio liso debajo del cual hay una chapa metálica ennegrecida que absorbe la radiación solar incidente y la convierte en calor. Se utiliza con convección natural o forzada del aire, el que es calentado en la propia cámara de secado. El producto puede ser colocado en bandejas o en el piso del secador. Se recomienda su uso para pequeños volúmenes de carga.⁽⁶⁾

Secador solar multipropósito: El secador solar multipropósito está constituido por una estructura de perfiles metálicos en forma de paralelepípedo. Posee doble cubierta de vidrio transparente en la parte superior y laterales flanco Este y Oeste. Los vidrios se fijan con juntas y separadores que permiten la impermeabilización.⁽³⁾

El secador se ubica con su dimensión mayor (largo) en la dirección Norte-Sur. Para el acceso a la cámara de secado, el secador tiene en su interior un túnel metálico ennegrecido con pintura negro mate, el cual capta la radiación solar incidente y la transfiere al aire del interior del secador. Dentro del equipo existen parrillas de malla metálica sobre las que se coloca la carga.

Dentro del secador se efectúa el movimiento del aire forzado por 3 a 4 ventiladores de tiro axial situados en el espacio comprendido entre la cubierta superior de vidrio y el techo del túnel metálico. Estos ventiladores garantizan el flujo de aire en la dirección transversal, necesaria para lograr el secado uniforme del grano. El equipo dispone de pequeñas ventanas para la salida del aire húmedo y reposición de aire fresco del medio en los laterales norte y sur.

Actualmente existe un amplio uso de la planta de anamú con propósitos medicinales. La información presente en la literatura reporta que se han realizado una serie de estudios a fin de poder hacer una mejor caracterización farmacológica de la misma.

El anamú (planta entera) contiene numerosas sustancias activas. En especial, las propiedades como inmunoestimulante se le atribuyen a los taninos, polifenoles y bencil-2-hidroxi-5-etil-trisulfuro, todos los cuales se encuentran presentes en las hojas y tallos jóvenes de la planta.⁽⁷⁾

En el territorio de Santiago de Cuba existe gran interés por el desarrollo de procesos que permitan la utilización del anamú con fines terapéuticos. En la actualidad este proceso de secado se realiza en naves techadas demorando el secado de producto entre 7 y 10 días, por lo cual resulta deseable desarrollar un secador solar para el secado de anamú que permita disminuir el tiempo de secado conservando la calidad del producto. Los objetivos planteados en el trabajo son dimensionar, construir y evaluar en vacío (sin carga) un prototipo de secador solar para el secado de anamú, para determinar si los valores de temperatura alcanzados en el equipo son adecuados para el secado de dicha planta.

Fundamentación teórica

Para el dimensionado del prototipo de secador solar para anamú se procede a calcular el área de secador necesaria, teniendo en cuenta las condiciones del material a secar y del aire ambiente que será utilizado para el secado en el secador solar.

Tabla 1- Datos del material a secar

Material : Anamú
Contenido de humedad inicial (wo): 80 %
Contenido de humedad final (wf): 10%
Peso del material (Ph): 2,42 kg

Tabla 2- Datos del aire

Datos del aire
Temperatura inicial (Ti): 30 °C
Temperatura final (Tf): 40 °C
Humedad relativa inicial (no): 70%
Humedad relativa final (nf): 70%
Entalpía inicial (lo): 78 kJ/kg aire seco
Entalpía final (lf): 125 kJ/kg aire seco
Contenido de humedad inicial (xo): 0,008 kg/kg aire seco
Contenido de humedad final (xf): 0,027 kg/kg aire seco
Peso específico del aire (po): 1,165 kg/m3

Se realizaron los siguientes cálculos:

1. Humedad total a extraer: Wt

$$Wt = Ph \cdot (w_o - w_f) / (100 - w_f) \quad (1)$$

$$Wt = 8,47 \text{ kg de humedad a extraer}$$

2. Consumo específico de calor: q

$$q = (lf - lo) / (xf - xo) \quad (2)$$

$$q = 247368 \text{ kJ / kg de humedad a extraer del producto}$$

3. Cantidad específica de aire: Le

$$Le = 1 / (xf - xo) \quad (3)$$

$$Le = 52,63 \text{ kg de aire / kg de humedad}$$

4. Calor necesario total: Q

$$Q = q \cdot Wt \quad (4)$$

$$Q = 20959,03 \text{ kJ}$$

5. Cantidad de humedad a evaporar diariamente por m^3 : $W1$

$$W1 = Wt/T \quad (5)$$

T: Tiempo de secado, 3 días, equivalente a 8 horas diarias

$$W1 = 2,82 \text{ kg de humedad a extraordinariamente}$$

6. Cantidad de aire necesario cada día por m^3 : L

$$L = Le \cdot W1 \quad (6)$$

$$L = 148,41 \text{ kg/día} \Rightarrow 6,18 \text{ kg/h} \Rightarrow 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$L = 1,72 \cdot 10^{-3} / 1,165 \Rightarrow 1,47 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

7. Área de entrada del aire: A_a

$$A_a = L/V_{\text{aire}}$$

Donde V_{aire} es la velocidad del aire

Para equipos pequeños o medianos se pueden lograr velocidades de aire de 0,4 a 1 m/s al interior de la cámara ⁽⁵⁾, por lo que:

$$A_a = 1,47 \cdot 10^{-3} / 0,1$$

$$A_a = 0,0147 \text{ m}^2 \Rightarrow 147 \text{ cm}^2$$

Donde

Como son cuatro agujeros de entrada y salida, entonces el área de un agujero se tomó con un valor de $36,75 \text{ cm}^2$.

- Cálculo del área del secador:

$$A = Q/Q_i \quad (8)$$

Donde:

A : Área del secador

Q : Energía necesaria total para evaporar 8,47 Kg. de humedad

Q_i : Energía solar aprovechada por el secador

$$Q_i = Hr \cdot \eta \quad (9)$$

Donde:

Hr: Energía solar media anual recibida: 5 kWh / m²

η : Rendimiento asumido del secador: 30%

Entonces:

$$Q_i = 1,5 \text{ kWh/m}^2 = 5400 \text{ kJ/m}^2$$

Sustituyendo en la ecuación (8), el área necesaria del secador es:

$$A = 3,88 \text{ m}^2$$

Como son cuatro agujeros de entrada y salida, entonces el área de un agujero se tomó con un valor de 36,75 cm².

Área necesaria del secador = 3,88 m²

Con el cálculo realizado queda definida el área del secador y el área de los orificios de entrada y salida del aire.

Métodos utilizados y Condiciones experimentales

Una vez realizado el dimensionado del prototipo, se desarrolló el proyecto técnico del secador solar, el cual sirvió de base para su construcción y posterior evaluación.

El proyecto técnico detalla los principales aspectos a considerar en su ejecución. Se tuvieron en cuenta las experiencias del secado solar en el Centro de Investigaciones de Energía Solar y se utilizaron herramientas informáticas para digitalizar e imprimir toda la documentación técnica (planos), permitiendo ahorrar tiempo respecto a: diseño,

análisis, pruebas, ensayos y fabricación. Se muestran los elementos más significativos del mismo.

Estructura del secador solar

La estructura de este modelo de secador es de angulares de acero CT3 con una dimensión de 45 x 45 x 3 mm permitiendo realizar cortes en sus extremos para el ensamble total. Sus uniones son soldadas a tope logrando la rigidez y estabilidad del equipo para su funcionamiento. La parte superior del secador está conformada por un caballete de angulares permitiendo el ensamble de los materiales que captan la energía solar con un ángulo de inclinación de 23 grados. Estos materiales de acero son recubiertos con pintura negro mate para su conservación, y funcionalmente constituye un absorbedor de la radiación solar. Ver figura 1.

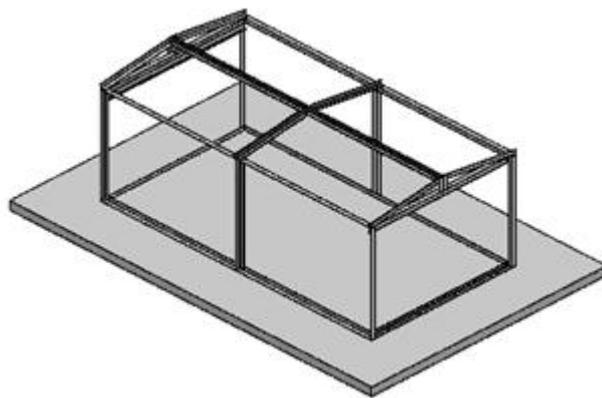


Fig.1- Estructura metálica del prototipo

Las puertas están conformadas por angulares de acero CT3 que constituye la estructura de la puerta, las mismas están tapadas por chapas metálicas aisladas térmicamente con poliespuma. En ambas puertas presenta cuatro agujeros en forma rectangular dos en la parte superior y dos en la parte inferior, los cuales posibilitan la entrada de aire fresco a la cámara de secado y la salida del mismo a mayor temperatura y cargado de humedad. La funcionalidad de las puertas radica en la entrada y salida del material a secar.

La cubierta del secador solar está conformada por dos vidrios planos transparentes separados por un listón de madera, junta de goma y silicona como pegamento formando precisamente la cubierta que permite el paso de la radiación solar de manera óptima.

Debajo de la cubierta de vidrio se encuentra una chapa metálica ennegrecido con pintura negro mate, la cual capta la radiación solar incidente y la transfiere al aire del interior de la cámara de secado.

La chapa captadora compuesta por una chapa de acero y dos angulares de 45 x 45mm separados a una distancia de 500 mm es la pieza que capta en mayor cuantía la energía solar incidente en el secador solar. Su posición es horizontal y la función de los angulares es que debido a sus dimensiones, la misma no debe deformarse por las tensiones provocadas por su peso, por lo cual es un elemento para reforzar la chapa.

La cámara de secado está construida de ladrillos y cemento. Las paredes de ladrillos son las que cubren el lateral del secador funcionando como aislante térmico y cuerpo del secador. En su interior es pintada de negro, la misma ocupa un área de 7.13 m² en todo el secador, tal como se muestra en la figura 2.

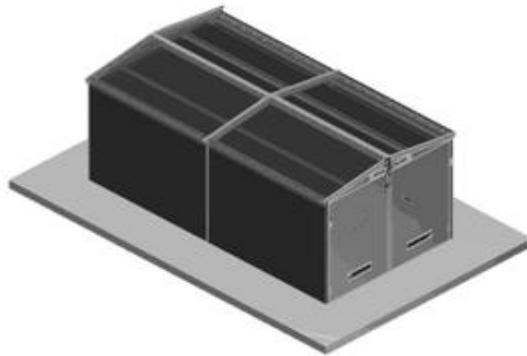


Fig. 2- Vista general del prototipo de secador solar

Dentro del equipo se coloca un carro con bandejas de malla metálica sobre las que se coloca la carga a secar. El prototipo dispone de pequeñas ventanas para la salida del aire húmedo y reposición de aire fresco en los laterales norte y sur.

El prototipo diseñado fue construido en el Centro de Investigaciones de Energía Solar. A continuación, se muestra una foto (figura 3) del prototipo construido.



Fig.3- Prototipo de secador solar para anamú

Resultados y su discusión

Evaluación en vacío del prototipo de secador solar

Una vez construido se realizó su evaluación en vacío (sin carga), para determinar si los niveles de temperatura alcanzados son adecuados para el secado de anamú, sin afectar las propiedades medicinales de la planta.

Para ello se realizaron mediciones de temperatura en la cámara de secado utilizando termopares tipo T con precisión de $\pm 1^\circ \text{C}$, en este caso dos termopares situados a dos niveles de altura dentro de la cámara de secado, que reportaban la temperatura alcanzada en cada momento.

A continuación, se muestra un día típico de mediciones:

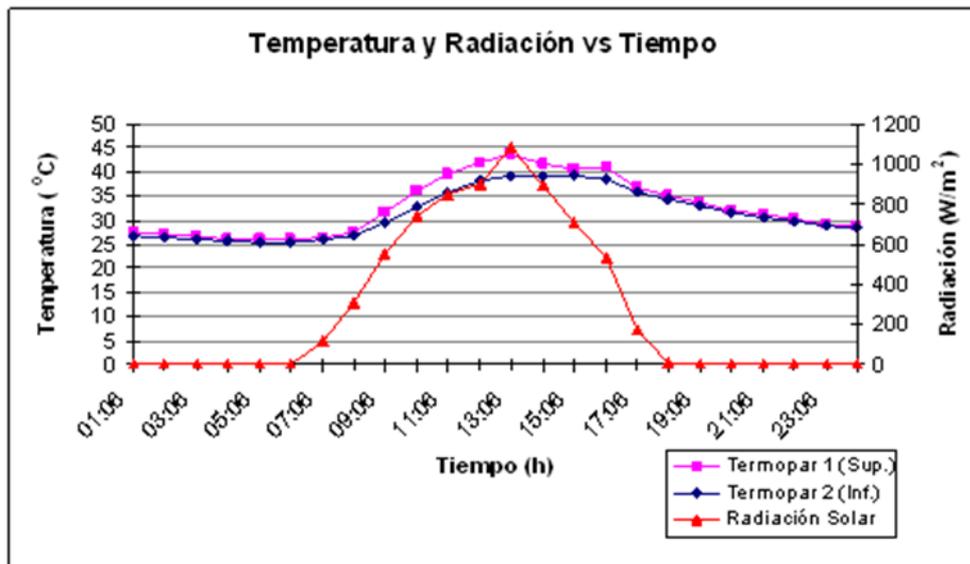


Fig. 4- Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado y la radiación solar durante el día.

Radiación total=5,9 kW/m² día, Tamb. Máx.=32,1°C

En la figura 4 se observa que la temperatura en el interior de la cámara muestra alguna diferencia en cuanto a los valores reportados para diferentes alturas en la cámara de secado, lográndose los valores más altos en la zona más próxima a la superficie captadora de la radiación solar.

Como se aprecia para un día claro, de buena radiación solar con niveles de 5,9 kW la temperatura máxima que se alcanza en la cámara de secado está entre los 40 y 45 °C con un valor promedio de los dos termopares de 41,55 °C alcanzado a las 13.00 pm, que es muy cercano a la temperatura máxima que puede admitir el producto (40 °C) sin que se deterioren sus propiedades.

Igualmente se puede analizar que la temperatura dentro de la cámara aumenta paulatinamente a través del día, siguiendo un comportamiento similar al de la radiación solar. Ya a partir de las 10:00 am y hasta las 500 pm la temperatura es superior a los 34°C, reportando los valores más altos entre las 12 y las 16 horas, coincidiendo con el período de máxima insolación. La temperatura media alcanzada en este período es de 39,9 °C.

Según mediciones de temperatura en el interior de la cámara de secado realizadas durante 17 días, con niveles de radiación entre 5,1 y 6.5 kW/m² día, se pudo determinar que la temperatura máxima promedio alcanzada en la cámara de secado tiene un valor de 41,4 °C, con una desviación standard de 1,58, y la media en el período de 12 a 16 horas fue de 38,3 °C con una desviación standard de 1,99. Si se realiza la estimación por intervalos de confianza, el valor medio de la temperatura máxima, durante los días analizados, tiene un valor que está entre 40,6 y 42,2 °C para un nivel de confianza de 0,95 y para la temperatura media entre las 12 y las 16 está entre 36,8 y 39,8 °C, los cuales resultan apropiados para el secado del anamú.

Conclusiones

1. Se realizó el diseño y construcción de un prototipo de secador solar para el secado de anamú.
2. La temperatura máxima en el interior de la cámara de secado, como es lógico suponer, se encuentran en la zona más próxima a la superficie captadora de la radiación solar, alcanzándose a las 13:00 pm.
3. Realizando la estimación por intervalos de confianza de la temperatura máxima media de los días analizados, se obtiene un valor que está entre 40,6 y 42,2 °C para un nivel de confianza de 0,95 y para la temperatura media entre las 12 y las 16 está entre 36,8 y 39,8 °C, los cuales resultan apropiados para el secado del anamú.

Referencias bibliográficas

1. DALPASQUALE, V. A.; Marcal de Queiroz, D; Marquez Pereira, J. A.; Sinicio, R: Secado natural. En: Secado de Granos: Natural, Solar y a Bajas Temperaturas. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Artículo en línea. <<http://www.fao.org.bo/docrep/x5058S/x5058S03.htm>> [consulta: 2007 Enero].
2. VÁZQUEZ T, ARNÉS CAMACHO S, FERNÁNDEZ M, FERNÁNDEZ J DE D: Manual del Secado Solar Técnico de alimentos, [artículo en línea]. <http://www.energetica.org.bo/energetica/pdf/publicaciones/libro_secado_solar.pdf> [consulta: Enero 2016].
3. BERRIZ, L: Secadores Solares para productos agropecuarios e industriales, Cuba, 2001.
4. SARAVIA L: El secador solar. En Ingeniería del secado solar. Editores R. Corvalan, M. Horn, R. Roman, L. Saravia.CITED-D. 2006, p. 6-1-6-13.
5. ANDIÓN TORRES, RONALD: Estudio de la deshidratación del hollejo de naranja en un secador solar tipo gabinete. Director: Dr. C. José A. Suárez. Tesis en opción de título de Master. Centro de Estudios de Eficiencia Energética. Santiago de Cuba. 2010.
6. BERGUES R. C, IBAÑEZ G. et al: Secador solar doméstico con materiales de la construcción. *Tecnología Química*. 1992, vol. 13, núm. 3.
7. LEMUS RODRÍGUEZ Z, GARCÍA PÉREZ M., BATISTA DUHARTE A., GUARDIA PEÑA DE LA O, ALFONSO CASTILLO A: La tableta de anamú: un medicamento herbario inmunoestimulante [artículo en línea]. MEDISAN 2004; vol 8, núm.3. <http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol8_3_04/san10304.htm> [consulta: 2013 Diciembre]

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.