

**CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN SIN CARGA DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR EN LA EMPRESA AGROPECUARIA ARNALDO RAMÍREZ**  
**CONSTRUCTION AND EVALUATION WITHOUT LOAD OF A PROTOTYPE OF SOLAR DRYER IN THE AGROPECUARIA ARNALDO RAMÍREZ**

**Autores:** Nestor Mendez Jurjo

Yaneivy Martínez Padrón

**Institución:** Universidad de Ciego de Ávila Máximo Gómez Báez

**Correo electrónico:** [nestorm@unica.cu](mailto:nestorm@unica.cu)

## **RESUMEN**

En muchas regiones se utiliza el secado natural, pero éste tiene varias desventajas y en ocasiones no garantiza bajar la humedad de los materiales a los niveles necesarios, por ello es tan usado el secado artificial. La experiencia ha demostrado que la radiación solar puede desempeñar un papel fundamental como fuente energética. Debido a la necesidad del secado del anamú para la utilización de esta planta como medicamento, se pensó en la conveniencia de desarrollar un secador solar para el secado de esta planta. Para desarrollar este trabajo se tuvieron en cuenta las experiencias del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), llegando a la conclusión de desarrollar el proyecto técnico y construcción de un prototipo de secador solar de 3m<sup>2</sup> para el estudio del secado del anamú. Se presenta información sobre la construcción y evaluación en vacío del prototipo de secador solar para el secado de anamú. Se refieren detalles de su construcción y de las mediciones de temperatura realizadas en el interior de la cámara de secado, se muestran los resultados obtenidos, determinándose que se alcanzan temperaturas medias de trabajo entre las 12 y las 16 horas de 38,3 °C y la temperatura máxima promedio de 41,4 °C, las cuales se corresponden con las temperaturas de trabajo recomendadas para el secado de este producto.

**Palabras clave:** Secado de anamú, Secador solar, Secado solar.

## ABSTRACT

In many regions natural drying is used, but it has several disadvantages and sometimes it does not guarantee to lower the humidity of the materials to the necessary levels, for this reason artificial drying is so used. Experience has shown that solar radiation can play a fundamental role as an energy source. Due to the necessity of drying the anamú for the use of this plant as a medicine, the convenience of developing a solar dryer for the drying of this plant was considered. In order to develop this work, the experiences of the Solar Energy Research Center (CIES) were taken into account, reaching the conclusion of developing the technical project and construction of a 3m<sup>2</sup> solar dryer prototype for the study of anamú drying. Information is presented on the construction and vacuum evaluation of the solar dryer prototype for the drying of anamú. Details of its construction and temperature measurements made inside the drying chamber are presented, the results obtained are shown, determining that average working temperatures are reached between 12 and 16 hours at 38.3 0C and the average maximum temperature of 41.4 0C, which correspond to the recommended working temperatures for the drying of this product.

**Keywords:** Drying anamú, Solar dryer, Solar drying.

## INTRODUCCIÓN

La aplicación del secado solar al aire libre es una de las técnicas más antiguas para la conservación de los alimentos y se conoce como secado natural. Se entiende por este, aquel en que el movimiento del aire se realiza por acción de los vientos y en que la evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar.

Pero el secado natural tiene varias desventajas debido a la pérdida de calidad que puede ocurrir cuando se recurre al secado natural en el campo, porque 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, la contaminación por microorganismos y la ocurrencia de condiciones meteorológicas adversas. Para superar esos problemas, se utilizan un conjunto de equipos, procesos y técnicas realizando el secado en terrazas o 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. Este 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, 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. (Bérriz, 2001).

La deshidratación es una de las operaciones industriales que consume grandes cantidades de energía. Es común en varios procesos industriales el consumo de 200 kilogramos de petróleo y más, por cada tonelada de agua evaporada. Por eso es tan importante el uso de las fuentes renovables de energía en el secado de los productos agrícolas e industriales. La experiencia ha demostrado que la radiación solar puede desempeñar un papel preponderante y a veces único como fuente energética. Los secadores solares de madera, plantas medicinales, semillas y otros productos, ya están generalizados en diferentes regiones del país y su uso se hace cada día más común e importante para el desarrollo económico. (Bérriz, 2001).

El secado natural de productos agrícolas e industriales es un proceso ampliamente utilizado, incluso en el presente. En Cuba es tradicional el secado natural de la madera, el café, el cacao, el coco, las semillas, los minerales y otros productos. Por diferentes causas, el secado artificial o deshidratación ha sustituido en muchos casos al secado natural y esta técnica se desarrolla cada día más, tanto en nuestro país, como en el resto del mundo. (Bérriz, 2001).

El anamú es conocido mundialmente como la hierba de la energía por las altas concentraciones de vitaminas, así como fósforo, potasio, selenio y dos factores de crecimiento. En Europa se utiliza en ensaladas comestibles que se venden en cápsulas y comprimidos. (Martínez, P.; Massiel, M., 2003)

Estudios realizados en zonas rurales y comunidades campesinas (Ferro Fernández, 1997) demuestran que los protagonistas de esta actividad no la reconocen como una aplicación de la energía solar y poco hacen por su perfeccionamiento tecnológico. Tal procedimiento es de muy baja eficiencia en el aprovechamiento de la energía

solar, prolongado tiempo, trabajos en la manipulación del producto y se somete a las inclemencias del tiempo (lluvia, rocío, entre otros) con el consecuente deterioro de la calidad.

La mayor parte de los trabajos se basan en Cooper y Dunkle R.V (1961), quienes para calcular la eficiencia realizaron un balance de energía en el sistema, empleando un coeficiente de transferencia térmica global entre la superficie del agua y la cubierta.

Según Bérriez, las principales ventajas del secado artificial o deshidratación son las siguientes:

- La calidad del producto deshidratado es generalmente superior, si se selecciona una buena tecnología del proceso.
- La velocidad de secado suele ser mucho mayor, disminuyendo considerablemente el tiempo de secado, lo que influye tanto en la calidad como en el costo del producto.
- Las condiciones sanitarias y nutritivas (en caso de alimentos) son mejores, al no estar el producto expuesto a la acción directa del sol, la lluvia, el polvo y los insectos.
- El área utilizada en la deshidratación es varias veces menor que la utilizada en el secado natural.
- Las operaciones de deshidratación son más sencillas, pudiendo tener un alto grado de automatización.

El secado artificial o deshidratación en instalaciones convencionales tiene grandes desventajas:

- Alto costo de instalación, tanto por la cámara de secado como por la caldera, hornos o calentadores de aire.
- Alto costo de producción, en caso de que consuma petróleo o electricidad para el calentamiento del aire o el producto.

La tendencia mundial actual bien definida de los equipos que tienen que ver con el tratamiento tecnológico de sustancias orgánicas agropecuarias es a bajar el costo de los mismos. En numerosos trabajos latinoamericanos, se observa la construcción de

secadores con cubierta de polietileno, en sustitución de los ya tradicionales de vidrio. La estructura del secador se hace cada vez más sencilla y ligera de materiales como madera y materiales de la construcción. Estos secadores son incluso instalados en lugares de climas menos favorables que el cubano, como el sur de Argentina y Chile, y zonas montañosas, donde además de la baja temperatura ambiental se suman las altas velocidades del viento, siendo mayor el régimen de pérdidas de calor al medio. Estos equipos de tipo multipropósito son capaces de secar toda una gama de productos como madera, granos, vegetales (ají), y plantas medicinales (orégano). Uno de los factores clave es la adaptación de una tecnología general a los requerimientos de ciertas aplicaciones particulares. (Bérguez, C., 2003).

Por todo lo expuesto es tan importante el uso de las fuentes renovables de energía en el secado de los productos agrícolas e industriales. La experiencia ha demostrado que la radiación solar puede desempeñar un papel fundamental como fuente energética. Debido a la necesidad del secado del anamú para la utilización de esta planta seca como medicamento, se pensó en la conveniencia de desarrollar un secador solar para el secado de anamú, así como la evaluación de su funcionamiento en vacío para determinar si reúne los requisitos de temperatura necesarios, constituyendo éste el objetivo de este trabajo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

En los métodos de secado más modernos, los intercambios de aire y masa entre granos y ambiente se producen principalmente por convección de aire forzado. Por tal motivo, los secadores de granos están provistos generalmente, de un ventilador, como agente de movimiento del aire y un quemador que eleva la temperatura de secado hasta el nivel adecuado. El combustible más utilizado es el gasoil, este combustible se está reemplazando en los últimos años por el gas, que tiene como ventajas la menor contaminación de los granos y la modulación infinitamente variable del quemador. La dificultad de emplear gas licuado está dada por la necesidad de contar con la provisión continuada del combustible, lo que significa un depósito apropiado, el instrumental de regulación y control o, en el gas natural, la línea o gasoducto desde la línea principal. (Boizán Jústiz, M., 2003).

Para poder realizar este trabajo se tuvieron en cuenta las experiencias del secado solar en el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) y las tecnologías aplicadas, llegando a la conclusión de desarrollar el proyecto técnico y construcción de un prototipo de secador solar de 3m<sup>2</sup> para el estudio del secado del anamú.

En el proyecto técnico a desarrollar se partió del uso de herramientas computacionales para el diseño, que permite digitalizar e imprimir toda la documentación técnica (planos) para su fase constructiva permitiendo ahorrar tiempo respecto a: diseño, análisis, pruebas, ensayos y fabricación. A continuación, se presentan las características de algunas de las partes componentes del secador solar para el secado de anamú.

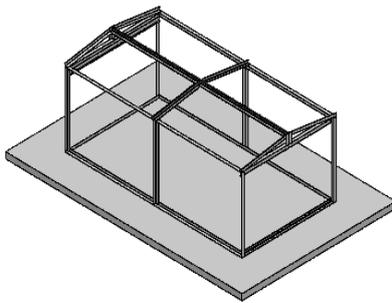
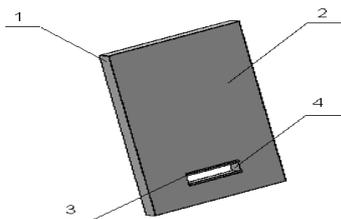


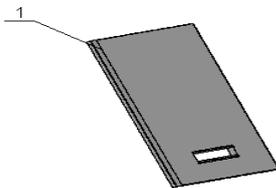
Figura 1: Secador solar para el secado de anamú.

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 esmalte negro para su conservación y funcionalmente constituye un absorbedor de la radiación solar.



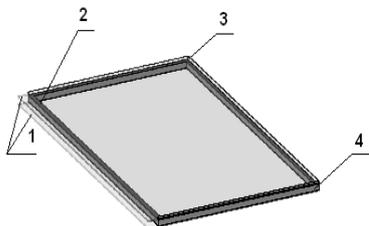
*Figura 2: Puertas del Secador Solar de Anamú. Puerta 1.*

Las puertas están conformadas por platinas de acero CT3 (1) que constituye la estructura de la puerta, las chapas de acero CT3 (2) constituyen el elemento que protege el material aislante, la canal (3) conformada con chapas de acero CT3 que permiten la regulación de entrada de aire al secador. La funcionalidad de las puertas radica en la entrada y salida del material a secar y la regulación de la entrada de aire fresco al secador



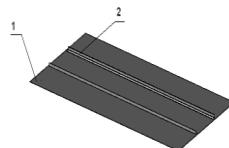
*Figura 3: Puertas del Secador Solar de Anamú. Puerta 2*

La función de la puerta # 2 es idéntica a la primera con la particularidad de que se le añade una platina (1) de acero CT3 para la función de tope con la puerta (1) y se logre una correcta hermeticidad del equipo.



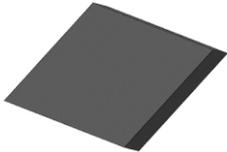
*Figura 4: Cubierta del Secador Solar de Anamú.*

La Cubierta del Secador Solar de Anamú esta 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 optima.



*Figura 5: Chapa Captadora de la Radiación Solar.*

La Chapa Captadora compuesta por una chapa Acero CT3 (1) y dos angulares de 45 x 45 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



*Figura 6: Paredes de ladrillos.*

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 y en su exterior con colores claros, la misma ocupa un área de 7.13 m<sup>2</sup> en todo el secador.

Evaluación en vacío del prototipo de secador solar de anamú

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



*Foto 1: Prototipo de secador solar para anamú.*

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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:

Las curvas de secado siguen el comportamiento esperado, siendo la forma de dichas curvas semejante a la que reporta la literatura para productos con características parecidas.

En este secador con una carga de 6 kg, ( $1,7 \text{ kg/m}^2$ ) se necesitaron alrededor de 3,5 días para llevar el anamú de una humedad del 67,6 % al 6,5 % como puede observarse en la gráfica siguiente.

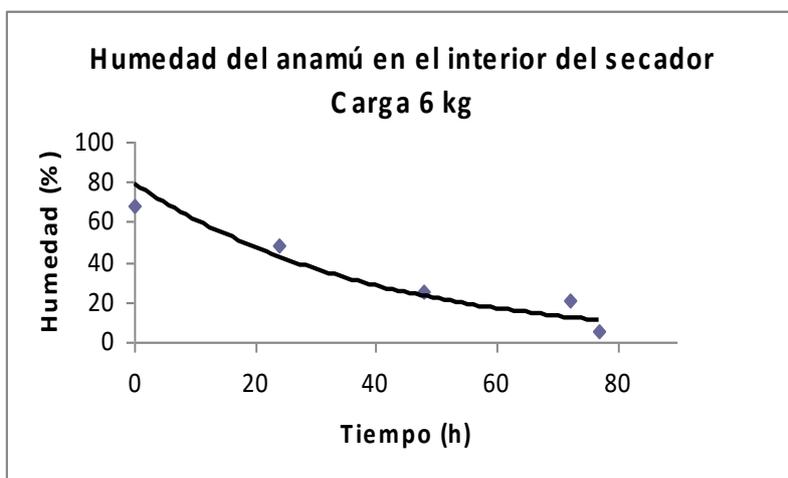


Gráfico1: Curva de secado de anamú en el secador solar.

Las condiciones meteorológicas durante los días que duró el experimento se mantuvieron en valores tales como: Radiación diaria entre 4,9 y 6,2 kW-h/m<sup>2</sup> día, Temperatura ambiente mínima 23,6° C, Temperatura ambiente máxima 29,7° C, Humedad Relativa máxima 87,3 %.

Si se analiza el comportamiento de las curvas de secado para diferentes cargas en el secador y condiciones climatológicas durante los días de secado, se puede apreciar la variabilidad del tiempo de secado en dependencia de estas magnitudes, donde influyen la cantidad de producto que se coloque en el secador, la humedad inicial del producto, la humedad relativa ambiente, la radiación solar y la temperatura ambiente durante los días en que se efectúe el secado.

Resumiendo, el comportamiento del secador solar durante el período evaluado se puede llegar a los siguientes resultados:

Para humedad inicial del producto del 60% -82% y valores de parámetros climatológicos de días claros tales como:

- Humedad inicial del producto: 60% -82%
- Radiación solar: mayor de 4 kw-h/día.
- Temperatura ambiente: 24 °C-34 °C
- Humedad relativa ambiente menor del 90 %

La carga a secar en el secador puede estar entre 1,5 y 3,4 kg/día, dependiendo de las condiciones climatológicas en los días de trabajo, valores que se corresponden con el secado de otras plantas medicinales en otros secadores solares de características parecidas y que realizan el secado del producto en cama fina con valores inferiores a 5 kg/m<sup>2</sup>.

A partir de los resultados obtenidos durante las pruebas de secado se calculó la velocidad de secado, la que presenta valores que oscilan alrededor de los 0,5 kg/m<sup>2</sup> día y la eficiencia térmica del secador que muestra valores entre 5 y 14 %, con un valor promedio de 8.2 %, lo cual se puede considerar valores de eficiencia media, en comparación con otros secadores solares de características similares, con convección natural, en los cuales su eficiencia térmica anual promedio es más bien bajo.

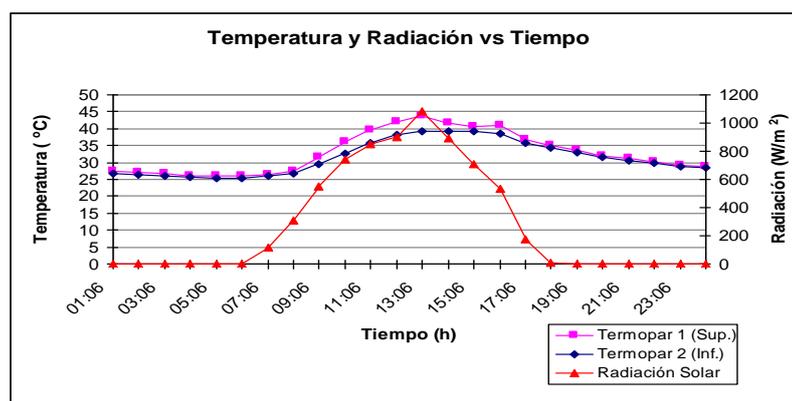


Gráfico 2: Comportamiento de la temperatura en la cámara de secado y la radiación solar durante el día. (Radiación total = 5,9 kW-h /m<sup>2</sup> día, Tamb máx= 32,1 °C).

Del gráfico (Graf. 2) 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 5903,5 W 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 5:00 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-h/m<sup>2</sup> 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 de la temperatura máxima, el valor medio de los días analizados está entre 40,6 y 42,2 °C para un nivel de confianza de 0,95 y para la temperatura media en el período comprendido de las 12 y las 16 horas está entre 36,8 y 39,8 °C, los cuales resultan apropiados para el secado del anamú.

## CONCLUSIONES

Se concibió y diseñó por vez primera un prototipo de secador solar específico para el secado de anamú, el cual permitirá si las pruebas de secado resultan favorables su reproducción en cualquier lugar que se requiera. El prototipo de secador solar para el secado de anamú alcanza temperaturas medias de trabajo entre las 12 y las 16 horas de 38,3 °C y la temperatura máxima promedio de 41,4 °C, las cuales se

corresponden con las temperaturas de trabajo recomendadas para el secado de este producto.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- BERGUES, C.: «Secador solar doméstico con materiales de la construcción», *Revista Tecnología Química*, vol. 13, Núm. 3, pp. 84-93, 1992.
- BERRIZ, L: *Secadores Solares para productos agropecuarios e industriales*, 2001.
- BERGUES, C.: «Secador solar de verduras», *Revista internacional Solar México*, 1994.
- MARTÍNEZ PILAR, M.M.: *Estudio farmacognóstico, fitoquímico y microbiológico de la Petiveria alliaceae Lin 1998*, Facultad de Ciencias Médicas "Dr. Faustino Pérez Hernández", 2003.
- LYUBOSHIC, V.A. Y SLOBODKIN: *Secado de productos termolábiles dispersos*, Traducción del ruso y prólogo de M. Boizán, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 1974.
- MARQUES PEREIRA, J.A.: *Secado de los granos*. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/x5027s/x5027S05.HTM>. Visitado el 13 de abril de 2017.
- FONSECA FONSECA, S.; MIRANDA PERDOMO, E. Y TORRES TEN, A.: «Modelo matemático y solución analítica del funcionamiento de un destilador solar de bandeja», *Revista Tecnología Química*, Vol. 32, No 2, pp. 154-161, 2012.
- DUNKLE, R.V.: *Cooper et .al. International development in heat transfer*, ASME Proceedings, Inter. Heat Transfer, Part V, University of Colorado, 1961.
- BOIZÁN JÚSTIZ, M.: *Secado fluidizado de productos alimenticios*, Ed. Oriente, Santiago de Cuba, 1986.