



# Diseño, construcción y ensayos de un secador solar indirecto para producción industrial de pimiento deshidratado en los Valles Calchaquíes, Argentina

Palabras clave:  
secador solar,  
colector solar de aire,  
sistema híbrido.

## Resumen

Gonzalo José Durán <sup>a\*</sup>, Miguel  
Angel Condorí, Fabiana Altobelli,  
Federico Albesa

<sup>a</sup> INENCO, UNSa CONICET, Salta,  
Argentina

email:  
gonzalo.jose.duran@gmail.com

Se presenta el diseño y ensayos de un secador híbrido solar biomasa, de tipo indirecto, con circulación forzada, destinado a la producción de pimentón deshidratado en San Carlos, Salta, Noroeste Argentino. El secador cuenta con área de colección de 183 m<sup>2</sup> con 26 colectores solares de aire de paralelo de flujo. Un ventilador centrífugo de 4 HP a 900 rpm fuerza el aire de los colectores hacia una cámara de secado de 100 m<sup>3</sup>. La carga de producto fresco se dispone en carros, cada uno con 20 bandejas de 15 kg de carga. Se ensayó el sistema solar con carga de 2 T y 3 T y en modalidad híbrida solar biomasa, con carga de 5 T. Los resultados muestran un salto de 35 °C entre la entrada y salida de los colectores y 55°C a la salida del secador, con humedad relativa de 20%, y que el sistema genera energía para secar la carga en un par de días soleados

## Introducción

La producción de pimientón para pimentón es uno de las actividades productivas más difundidas en la zona del Norte Argentino. Alrededor del 90% de la producción nacional de pimientón para pimentón (65000 T) está concentrada en la zona del Valle Calchaquí. Las excepcionales condiciones climáticas convierten a la zona en una plaza de primer orden para la producción industrial mediante el uso de energía solar, donde el promedio anual de lluvia no supera los 150 mm, la radiación media diaria del orden de 30 MJ/m<sup>2</sup> (enero, verano hemisferio sur) con una media anual de 300 días de sol.

En la zona el cultivo de pimientón es una actividad de subsistencia realizada por pequeños minifundistas sin recursos tecnológicos, y la mayor parte de la producción es secada al aire libre sobre el suelo, con lo que se obtiene un producto de baja calidad.

El Instituto de Investigación en Energía no Convencional (INENCO) trabaja en el secado solar desde la década de 1980. Pueden mencionarse los antecedentes presentes en Cachi, provincia de Salta y en Santa María, provincia de Catamarca (Saravia et al, 1983; Saravia et al, 1984).

Más recientemente, se han instalado sistemas de secado solar industrial en Huacalera, provincia de Jujuy, (Condorí, 2006) y en San Carlos, provincia de Salta (ADESO, 2009). La escala de producción industrial requiere asegurar la condición de secado diario, difícil de obtener con sistemas de baja eficiencia térmica o completamente solares. Con ello, los sistemas deben ser híbridos con fuente auxiliar, como un quemador de biomasa, que permite ampliar las horas de operación.

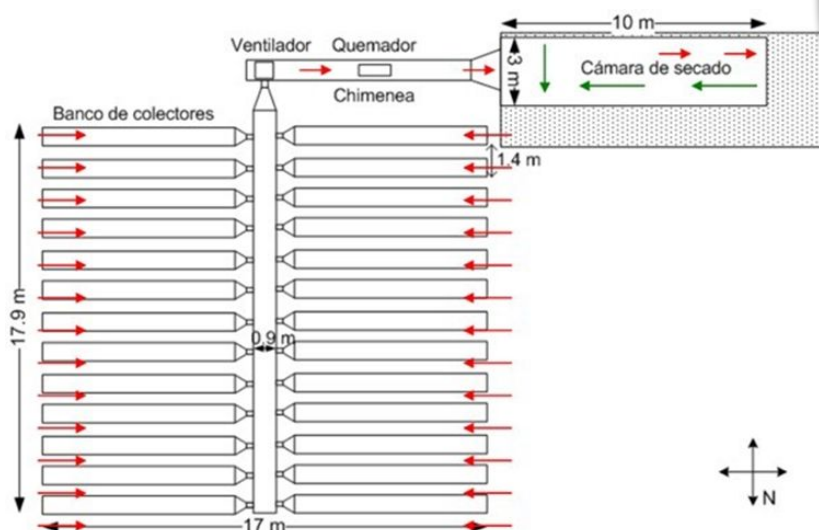


Figura 1: Vista de planta. En rojo el movimiento del aire, en verde el del producto.

La superficie del secador es 345 m<sup>2</sup>, de los que el banco de colectores y caño maestro utilizan 306 m<sup>2</sup>, Figura 1. De esta superficie, 195 m<sup>2</sup> es ocupada por los colectores, 35 m<sup>2</sup> de caño maestro y conexiones.

A la cámara de secado, ventilador y quemador les corresponden 39 m<sup>2</sup>. El movimiento de aire se realiza mediante un ventilador centrífugo. Ingresar flujo de aire ambiente a cada colector, donde incrementa su temperatura. El aire que sale de los colectores a temperatura de operación se recoge en el caño maestro, y pasa por el ventilador hacia la cámara de secado.

En el interior encontrará el producto, dispuesto en bandejas. Finalmente, el aire húmedo sale de la cámara de secado por dos ventanas ubicadas en la puerta de ingreso, desde donde es desechado a la atmósfera.

El número total de colectores (Figura 2) es 26, en dos grupos de 13 a ambos lados del caño maestro. La separación de eje a eje entre colectores es de 1,4 m.

Los colectores son cajas de chapa galvanizada de 0,94 m de ancho, 7,5 m de largo y 0,1 m de alto. La eficiencia aproximada del 50 %. Circula por cada colector un caudal estimado 600 m<sup>3</sup>hr<sup>-1</sup> con una velocidad de 1,8 m s<sup>-1</sup>.



Figura 2: Banco de colectores. En primer plano la boca de entrada de aire ambiente.



La cámara de secado (Figura 3) es un túnel de 1,85 m de alto y 3 m de ancho. Inicialmente de 10 m de largo, fue ampliada a 14 m durante la segunda cosecha, y a 18 m durante el tercer año de uso (híbrido quemador de leña).

En el piso se colocó una barrera contra humedad y aislación térmica mediante placas de poliestireno de 5 cm de espesor, y una carpeta de concreto. Entre las caras externas e internas de las paredes y techo de la cámara se colocó aislamiento térmico en lana de vidrio de 5 cm.

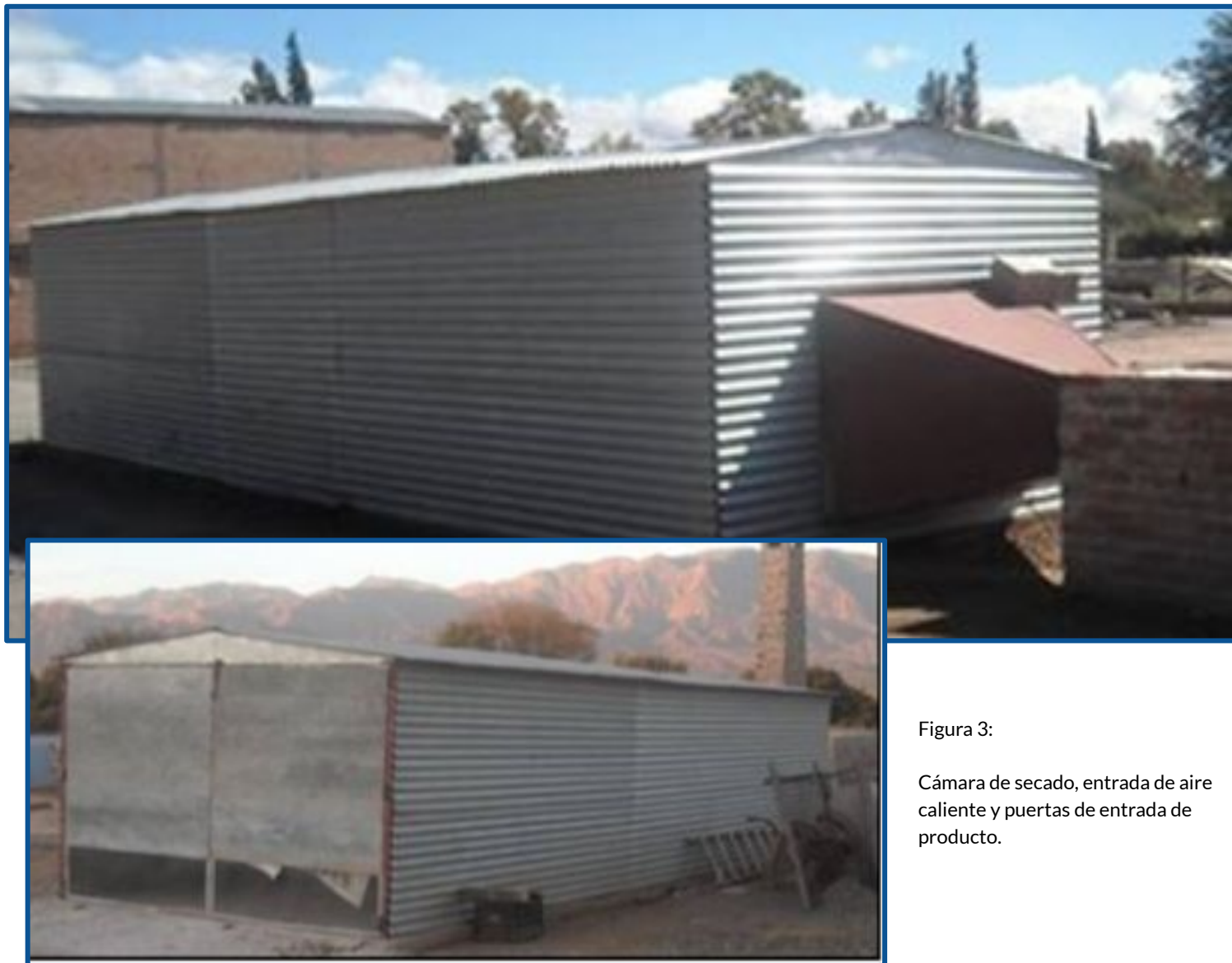


Figura 3:

Cámara de secado, entrada de aire caliente y puertas de entrada de producto.



## Ensayos realizados

En la primera cosecha, el secador fue utilizado con energía solar, durante los meses de enero a mayo. En el mes de marzo se realizaron las primeras experiencias, que mostraron que el secador tenía suficiente energía como para aumentar la carga de producto en 2 T.

En el tercer año se ensayó bajo funcionamiento híbrido solar biomasa con 5 T de carga. Los ensayos se realizaron midiendo en forma automática, con frecuencia de muestreo de 5 minutos, las variables climáticas a 3 m del suelo, radiación solar sobre plano horizontal y sobre plano de un colector y velocidad de viento, además de la temperatura de aire en distintos puntos del secador, quemador y escape de gases de combustión, más la pérdida de peso de una muestra del producto.

En lo que sigue, sólo se muestran los resultados obtenidos en 52 días de funcionamiento solar híbrido.

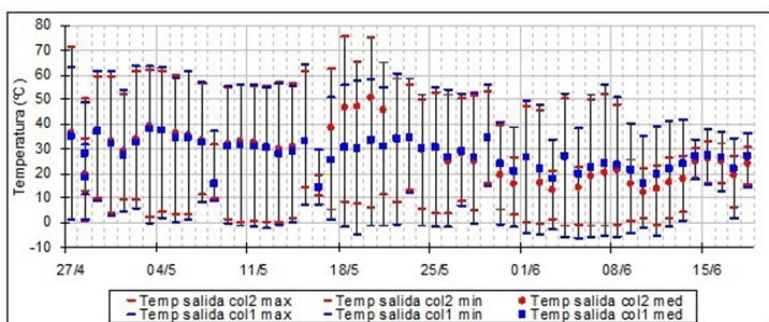


Figura 4: Temperatura de flujo máxima, mínima y media en la salida de dos colectores.

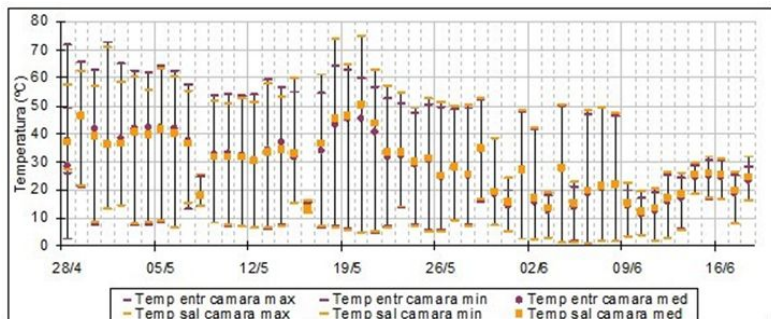


Figura 5: Temperatura de flujo en la entrada y salida de la cámara de secado.

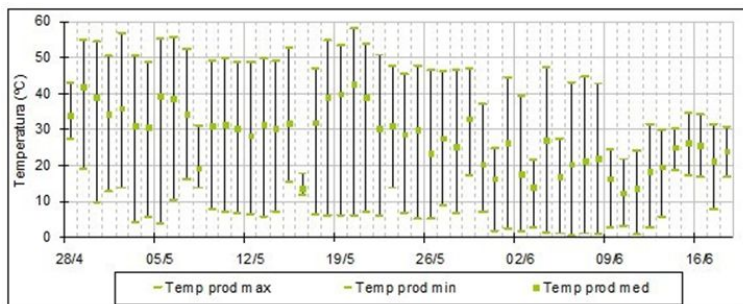


Figura 6: Temperatura de muestra de producto en la cámara de secado.

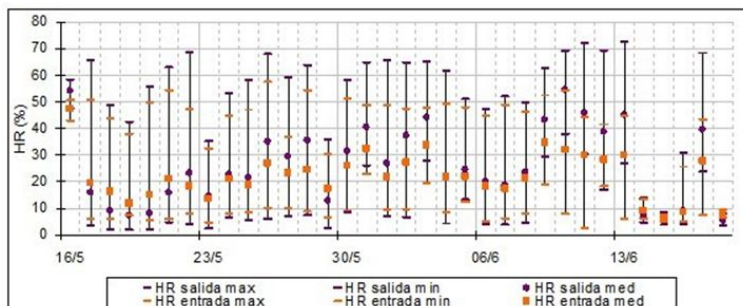


Figura 7: Humedad relativa ambiente en la cámara de secado.

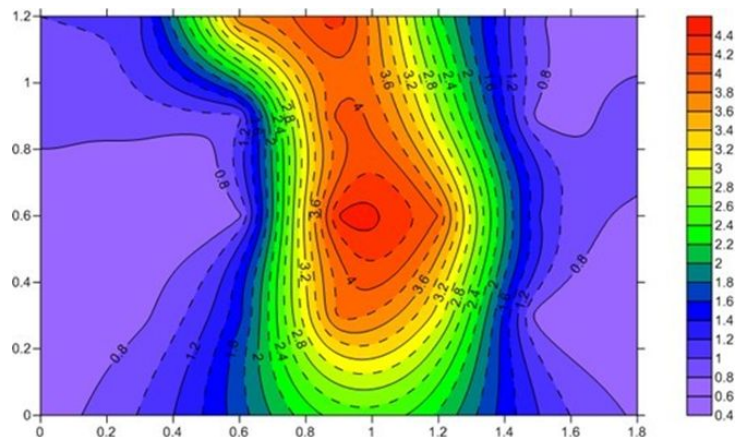


Figura 8: Perfil de velocidad a la salida de difusor y entrada de la cámara de secado.

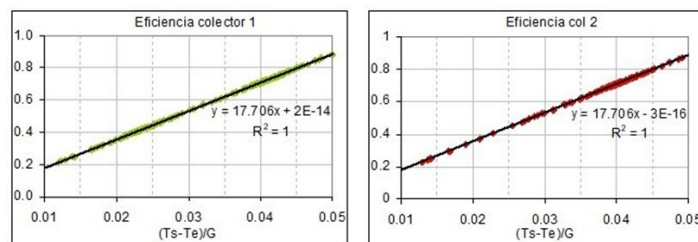


Figura 9: Cálculo de eficiencia de colectores ensayados, considerando  $(T_s - T_{amb})/G$

## Resultados obtenidos

Se presentó la construcción y ensayos de un secador solar híbrido biomasa, de flujo forzado y cámara indirecta. De acuerdo con la Figura 4, los colectores proporcionan temperaturas de flujo superiores a los 40°C y hasta un máximo de 80°C durante mas del 65% del día solar. Las pérdidas netas de calor en el caño maestro no son significativas a pesar de no estar aislado térmicamente. Los registros de temperatura obtenidas en la cámara, Figura 5, muestran valores superiores a 40°C y por debajo de los 60°C durante aproximadamente 8 horas, y son adecuados para asegurar la reducción del 50% de agua contenida en el producto al final del día, evitando la formación de hongos. De hecho, no se ha tenido este tipo de problemas en los dos años de funcionamiento.

La temperatura del producto se mantiene por debajo de la temperatura límite de 60°C, Figura 6. La Humedad relativa media de entrada a la cámara de secado es del 20% y deja la cámara con un gran potencial de secado, lo que sugiere que aumentando la capacidad de carga se mejorará la eficiencia de secado, Figura 7.

Se observa una distribución desigual del flujo de aire en la cámara de secado que varía en el rango de 0,4-4 m/s, Figura 8, que se puede corregir con la colocación de deflectores. La eficiencia térmica de colectores a ambos lados del caño maestro presenta comportamiento similar y se corresponden con una curva característica de ordenada al origen, eficiencia óptica, constante, Figura 9.

En el caso del sistema funcionando solo con energía solar el tiempo de secado requerido para la extracción del primer carro fue alrededor de los dos días y medio de sol. Cuando se trabajó con el calentamiento auxiliar apoyando un par de horas la puesta y la salida del sol, el tiempo se reduce prácticamente a la mitad.

El sistema es capaz de producir un producto limpio de muy buena calidad. Medidas colorimétricas en grados ASTA del producto han arrojado valores 50 % mayores a los requeridos para exportación. Aunque el funcionamiento del quemador es satisfactorio, los resultados indican que todavía se puede lograr mayor eficiencia aumentando el área de intercambio, ya sea mediante el adosamiento de aletas, o incrementando el número de tubos.

Los resultados permiten asegurar que el secado solar permite una notable reducción del consumo de leña, de la mano de obra y del tiempo de secado de tal forma que el costo final de producción del kilogramo de producto seco disminuye notoriamente.

## Referencias

- Oliverio G, Lopez, G. Segovia, F. (2005) Potencial y limitantes de la producción agrícola y ganadera del noroeste argentino: provincias de Salta, Tucumán y Jujuy. <http://cdi.mecon.gov.ar/biblio/docelec/az1134.pdf>
- Saravia L., Echazu R., Guerrero F., Gramajo C. (1983). Planta Piloto de Secado Solar de Pimiento: Construcción y Ensayo. Actas de la 8a. Reunión de Trabajo de Energía Solar, La Pampa, pp. 1-7, Argentina.
- Saravia L., Passamai V., Echazú R. (1984). Secado Solar de Pimiento: Resultados Experimentales y su Simulación. Actas de la 9a. Reunión de Trabajo de Energía Solar, San Juan, pp. 1-7, Argentina.
- García, V.; Iriarte, A., Carabajal, D.; Tomalino, L.; Saravia, L. 1997. Invernadero - Secador: resultados experimentales con pimiento. ASADES. Vol. I. N° 1. Pag. 1 – 4.
- Iriarte, A.; García, V. Carabajal, D.; Tomalino, L.; Saravia, L.; Passamai, V. 1996. Secado de productos agrícolas con invernadero doble Macrotunel: Ensayos Preliminares. 19° Reunión de ASADES, Tomo I – 01. Pag. 17 – 20.
- Condorí M., Echazú R., Saravia L. (2006) Secador Solar Industrial para la Quebrada de Humahuaca. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.19, (1), pp.25-31, ASADES, Argentina.
- Condorí M., Echazú R., Saravia L. (2006) Secador Solar Industrial para la Quebrada de Humahuaca. Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol.19, (1), p.p.25-31, ASADES, Argentina.
- Condorí M., Duran G., Echazú R., Saravia L. (2007). Ensayo y Medición de un Secador Industrial tipo Túnel en el Norte Argentino. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 11, (2), pp. 37-44, ASADES, Argentina.
- Condorí M., Echazú R., Duran G., Saravia L. (2008). Secador Solar Híbrido. Diseño y Construcción. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 12.
- Condorí M., Durán G., Vargas D., Echazú R. (2009). Secador solar híbrido. Primeros ensayos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 2009.
- Duran G. y M. Condori (2009). Modelo y simulación de un secador solar pasivo de producción semi industrial. Avances en Energías. pp. 121 – 129. Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13.