

## INVERNADERO TIPO MACROTUNEL DOBLE PARA SECADO DE PRODUCTOS AGRICOLAS<sup>1</sup>

A. Iriarte<sup>2</sup>, V. García, C. Rodríguez y S. Bistoni

INENCO<sup>3</sup>, Catamarca

Fac. de Ciencias Agrarias - U.N.Ca.

Mtro. Quiroga N° 93 - 4700 Catamarca

I. Paunero y L. Tomalino

INTA, E.E.A Catamarca

L. Saravia<sup>2</sup> y R. Echazú

INENCO - Salta - U.N.Sa.

### RESUMEN

Debido a la características productivas de la Provincia de Catamarca, se hace necesario la construcción de sistemas de secado de productos agrícolas que permitan optimizar los procesos que utilizan energía solar, teniendo en cuenta la calidad final del producto. Además la necesidad de rentabilizar los métodos de secado que utilizan energía solar, hace imprescindible repartir los costos de infraestructura con otro tipo de actividad complementaria.

En ese sentido, en los últimos años el INENCO ha desarrollado a nivel experimental una serie de prototipos de invernaderos para el estudio del comportamiento bajo diferentes condiciones climáticas (Salta y Catamarca), y de trabajo.

En este trabajo se propone la utilización de dos módulos de invernadero macrotúnel en paralelo para el secado de productos agrícolas. Esto se logra acondicionando el interior del invernadero de manera tal que se conformen un colector solar, un túnel de secado y una cámara de calefacción auxiliar.

Se analiza el comportamiento térmico del nuevo diseño, sus características térmicas, temperatura de cubierta, paredes, suelo, sistema de calefacción auxiliar y balance térmico detallado.

### INTRODUCCION

En trabajos anteriores (Iriarte, A. et al 1993; 1994; Condorí, M. et al, 1994), se han descrito el comportamiento térmico de invernaderos secadores tipo armería y se han realizado distintos modelos para su simulación matemática, a los

<sup>1</sup> Financiado:

INTA - EEA - Catamarca

SEDECYT - U.N.Ca.

INENCO - BID CONICET N° 307

<sup>2</sup> Miembro de Carrera del CONICET

<sup>3</sup> Convenio U.N.Ca - U.N.Sa. - CONICET

efectos de describir su funcionamiento como colector solar para ser utilizado en el secado de productos agrícolas.

En base a los resultados obtenidos durante el desarrollo del sistema, así como en el ajuste de cada componente del mismo, se ha detectado la necesidad de adecuar las estructuras del invernadero para que tenga eficacia y funcionalidad cuando sea usado como invernadero y como secadero según sea invierno o verano respectivamente. Estas dos características han sido armonizadas para obtener los objetivos del cultivo bajo cubierta, esto es, precosidad en la cosecha, aumento de la producción y calidad del producto final, así como transformarse fácilmente en un secadero solar con su colector incluido.

En el diseño se ha tenido en cuenta el régimen de vientos de la zona, tanto por la acción mecánica (daños sobre la estructura y cubierta), como por su influencia en el incremento de las pérdidas de calor en el invernadero.

La orientación del invernadero es otro aspecto que ha sido considerado, fundamentalmente por la necesidad de captar la máxima energía solar durante todo el año, especialmente en el invierno. Asimismo la forma curva de la cubierta incrementó la superficie expuesta y la transmisión lumínica.

La estructura de acero utilizada, de costo razonable, presenta la ventaja que posibilita una superficie interior libre de soportes, permitiendo una mayor capacidad de actuación y maniobrabilidad de la maquinaria. Además, la mayor separación entre las partes resistentes de la estructura se traduce en una mayor iluminación, siendo el área ocupada por material opaco no superior al 10%. Por otro lado, la mayor conducción del calor por la estructura metálica, se compensa con la mayor hermeticidad del cerramiento, lo que implica un considerable ahorro de energía.

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

El secador invernadero consiste en un sistema compuesto por dos invernaderos tipo macrotúnel de 7 m de ancho, 20 m de largo y 3,5 m de altura máxima, ubicados uno al lado del otro, con sus ejes paralelos, orientados de Este a Oeste. Esta disposición permite disminuir las pérdidas de aire caliente del interior del invernadero por acción del viento.

La estructura de los invernaderos esta formada por elementos semicirculares, columnas y piezas longitudinales de caño estructural. Las áreas están formadas por dos tubos de 1" de diámetro, paralelos, separados 20 cm, lo que facilita la colocación de una cubierta doble. Estos arcos dobles están montados sobre columnas de tubos estructurales de 1<sup>3/4</sup>" y 2,5 m de altura.

Un macrotúnel completo tiene 12 arcos, cada uno de ellos con dos columnas, distanciadas 2 m entre ellas y unida en su parte media y superior con tubos estructurales de 1<sup>3/4</sup>" conformando un túnel. Esta estructura está ensamblada con bulones, totalmente desmontable y de fácil traslado.

En el interior del primer módulo, se ubica el túnel de secado y la cámara de calefacción auxiliar, como se muestra en la Fig. 1. El espacio libre de ambos módulos se recubre a nivel de piso con un polietileno negro de 200  $\mu$  m que hace las veces de una placa colectora de la energía solar.

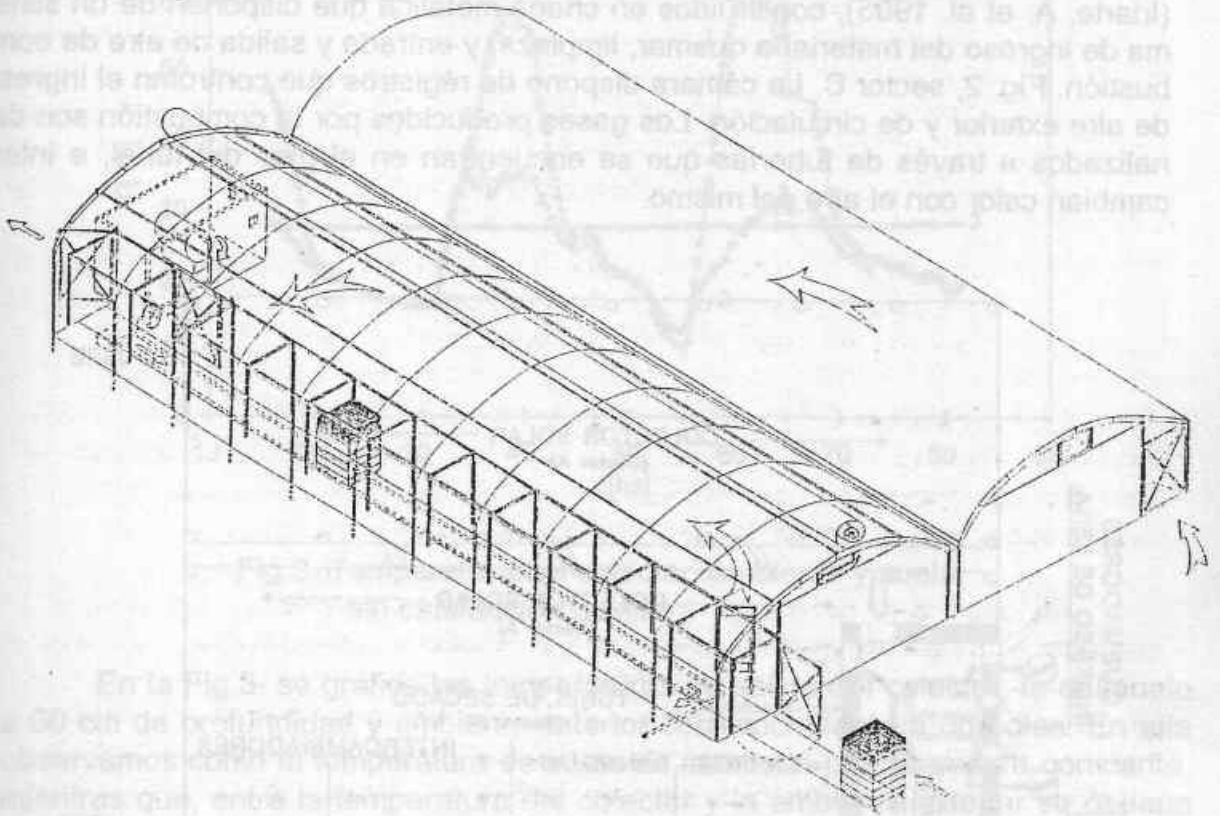


Fig.1. Vista del Invernadero - Secadero

A lo largo del eje principal de uno de los macrotúneles y a una distancia de unos 40 cm de la pared Norte ha sido ubicado el túnel de secado, coincidiendo su ingreso con la puerta de acceso al invernadero. Ha sido construido con postes que se encuentran distanciados 2 m uno de otro y travesaños de madera, cubiertos con plástico transparente tipo U.V.T. En su interior se colocaron dos rieles por el cual pueden transportarse el producto a secar por medio de carros portabandejas que ingresan por el Oeste del sistema. En el extremo Este se encuentran dos ventiladores eléctricos axiales montados sobre una estructura móvil que permite su desplazamiento en el momento en que es necesario el paso de los carros. Fig. 2, sector B.

Cuando el secador trabaja en forma continua, los carros se desplazan avanzando hacia el fondo del túnel, mientras que el aire caliente fluye en contracorriente al movimiento del producto. El producto a secar es calentado por el aire que ingresa al túnel desde el colector a través de una puerta que se encuentra en la pared lateral interna, mientras que cuando es necesario un calentamiento auxi-



liar el aire pasa previamente por la cámara de combustión, de esta forma, el producto recibe aire caliente a la máxima temperatura.

El aporte auxiliar de energía se realiza mediante la quema de leña, para lo cual se construyó una cámara instalándose en su interior dos hornos quemadores (Iriarte, A. et al. 1995), contruidos en chapa metálica que disponen de un sistema de ingreso del material a quemar, limpieza, y entrada y salida de aire de combustión. Fig. 2, sector C. La cámara dispone de registros que controlan el ingreso de aire exterior y de circulación. Los gases producidos por la combustión son canalizados a través de tuberías que se encuentran en el piso del túnel, e intercambian calor con el aire del mismo.

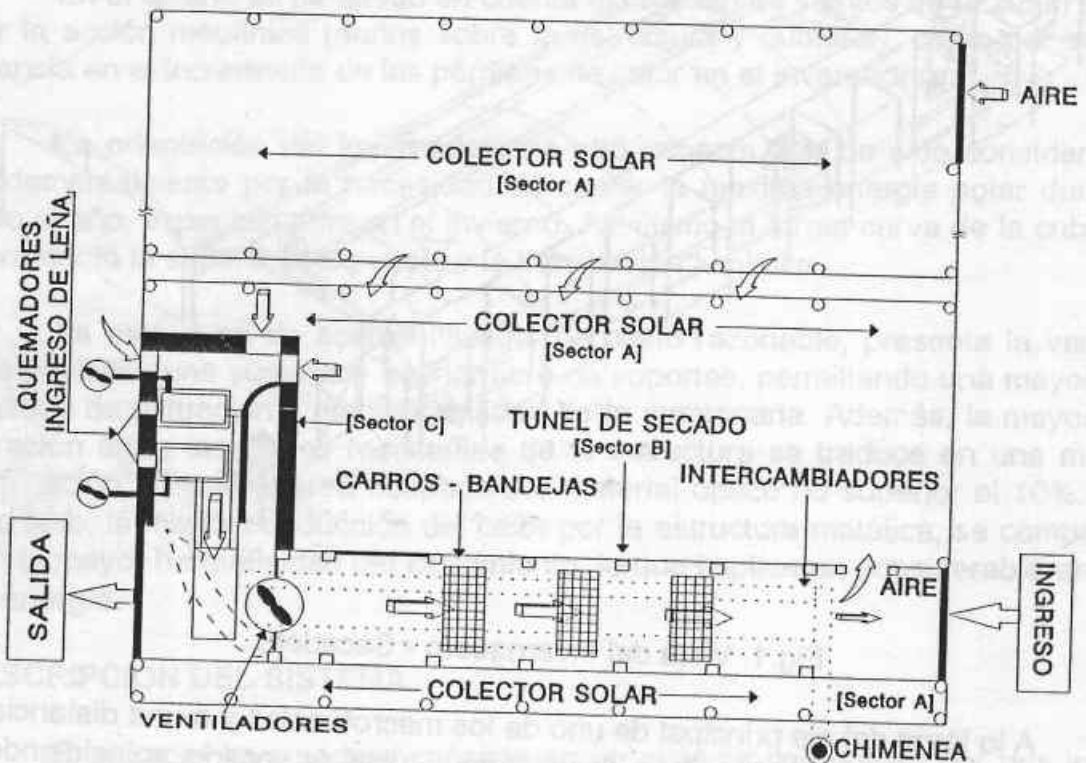


Fig.2. Planta del Invernadero - Secadero

## ANALISIS DE RESULTADOS

Los primeros ensayos fueron realizados durante los meses de Septiembre y Octubre del año 1995, eligiéndose para el análisis de resultados los últimos valores obtenidos debido a la proximidad con la época de secado, para ello se experimentó con el sistema sin carga, con y sin aporte auxiliar de energía. Cabe destacar que en esta experiencia se utilizó un solo quemador.

Para la medición de la variables más importantes se utilizó un sistema de adquisición automática de datos por tarjetas PC LAB 812 en computadora AT/286. La temperatura se midió con sensores de temperatura tipo termistores

NTH2011C calibrados con termómetros de mercurio, la radiación se la obtuvo utilizando un radiómetro Kipp & Zonnen.

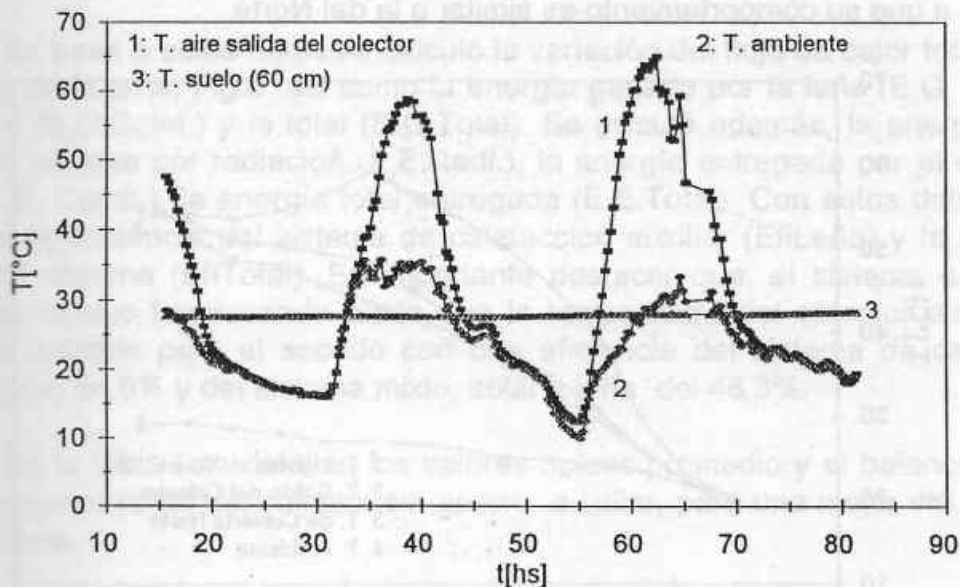


Fig.3. Temperatura del colector, ambiente y suelo sin calefacción auxiliar

En la Fig.3. se gráfica las temperaturas de salida del colector, la del suelo a 60 cm de profundidad y ambiente exterior correspondiente a dos días. En ella observamos como la temperatura de suelo se mantiene prácticamente constante, mientras que, entre la temperatura del colector y la ambiente exterior se obtiene una variación máxima de temperatura de alrededor de 30 C durante el día.

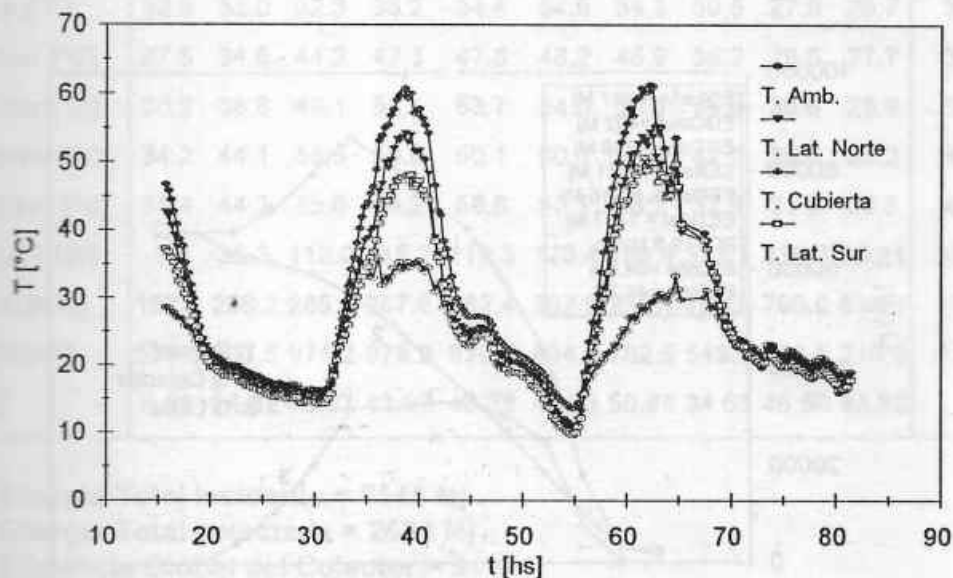


Fig.4. Temperatura de plásticos laterales y de cubierta sin calefacción auxiliar

En la Fig. 4, se muestra el comportamiento térmico del plástico tanto en las paredes laterales como en la cubierta Norte del invernáculo, en función del tiempo. En este caso, no se representa la curva correspondiente a la cubierta Sur debido a que su comportamiento es similar a la del Norte.

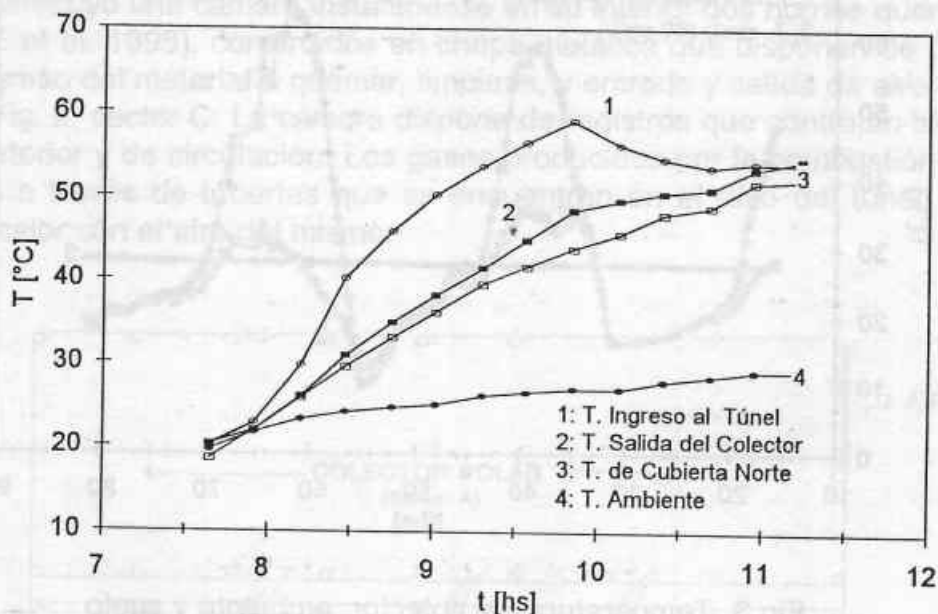


Fig 5. Temperatura de salida del colector e ingreso al túnel con y sin aporte de energía auxiliar

Se experimentó también el sistema utilizando la calefacción auxiliar durante un periodo preestablecido a efectos de evaluar su comportamiento como sistema mixto. Con los datos obtenidos se graficó las temperaturas de ingreso al túnel de secado, la del colector, la de la cubierta Norte y la ambiente exterior, Fig. 5.

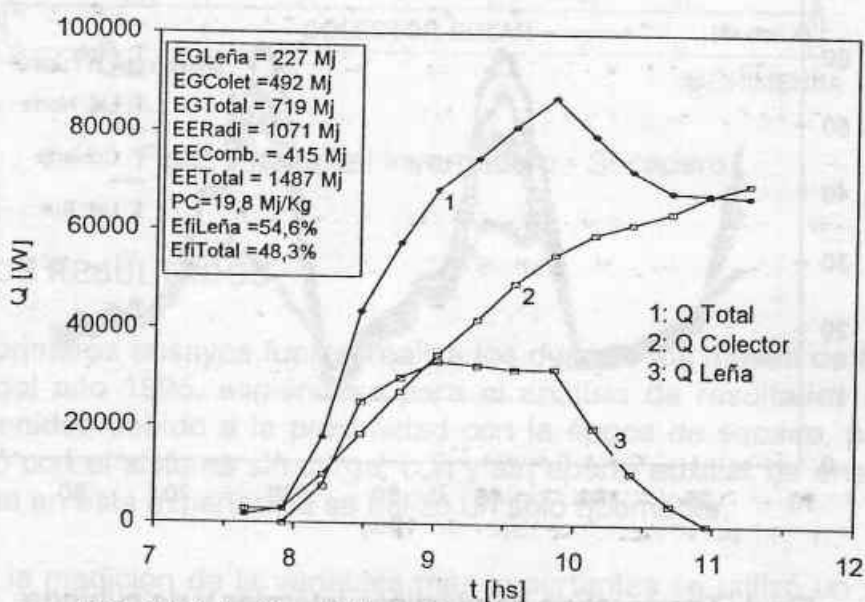


Fig. 6. Variación del flujo de calor total, del colector y de la leña en función del tiempo.

Se observa que en el momento en que se deja ingresar combustible para la quema, la temperatura de ingreso al túnel de secado disminuye hasta alcanzar la que sale del colector.

En base a estos datos se calculó la variación del flujo de calor total del colector y de la leña, Fig.6. así como la energía ganada por la leña (E.G. Leña), el colector (E.G.Colet.) y la total (E.G.Total). Se calculó además, la energía entregada al sistema por radiación (E.E.Radi.), la energía entregada por el combustible, (E.E. Comb.), la energía total entregada (E.E.Total). Con estos datos se determinó la eficiencia del sistema de calefacción auxiliar (EfiLeña) y la eficiencia total del sistema (EfiTotal). Es importante destacar que, el sistema auxiliar de energía, estuvo funcionando hasta que la temperatura del colector alcanzó los valores óptimos para el secado con una eficiencia del sistema de calefacción auxiliar del 54,6% y del sistema mixto, solar y leña del 48,3%.

En la tabla I se detallan los valores típicos promedio y el balance general del comportamiento del colector sin aporte auxiliar, para una mejor visualización del sistema.

Tabla I: Valores típicos del colector

Tiempo [hs]	9.50	11.15	13.05	14.15	14.40	15.20	16.30	18.10	18.90	19.20	Prom. Totales
T. Colet [°C]	31.8	40.2	54.6	58.1	58.1	58.5	55.5	41.0	34.3	31.7	42.0
T. Placa [°C]	31.5	39.2	55.3	60.0	57.1	57.7	55.4	43.2	38.2	35.4	43.0
T. Suelo [°C]	27.7	27.7	27.7	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
T. Túnel [°C]	32.7	43.2	55.8	60.0	59.7	60.0	58.1	42.8	36.0	33.4	43.7
T. Amb [°C]	32.5	33.0	32.3	35.2	34.4	34.6	34.3	30.5	27.6	26.7	30.9
T. LatSur [°C]	27.5	34.6	44.2	47.3	47.8	48.2	45.9	35.2	29.8	27.7	35.4
T. LatNor [°C]	30.2	38.8	49.1	53.1	53.7	54.0	50.4	35.6	30.8	28.9	38.6
T. CubNor [°C]	34.2	44.1	55.5	59.8	60.1	60.1	56.4	42.2	35.8	33.2	43.5
T. CubSur [°C]	35.4	44.3	55.6	59.2	58.8	58.1	53.3	37.4	31.3	28.8	42.2
Q. Colet [KW]	-3.3	36.3	112.0	115.2	119.3	120.4	106.8	527.1	336.9	25.21	557.0
Q. Radi [KW]	157.1	236.2	285.5	287.6	282.4	262.9	230.1	160.2	706.0	636.8	185.2
Radi [W/m <sup>2</sup> ]	534.5	803.5	971.2	978.2	970.7	894.3	782.5	545.0	258.5	216.6	629.8
Efi [%]	0.00	14.32	40.07	43.07	46.38	48.76	50.85	34.63	46.50	43.22	

Energía Total incidente = 8645 Mj

Energía Total colectada = 2684 Mj

Eficiencia Global del Colector = 31%

La Fig.7. muestra la radiación y la eficiencia instantanea para un día típico, la que alcanza un valor máximo de aproximadamente un 50%.



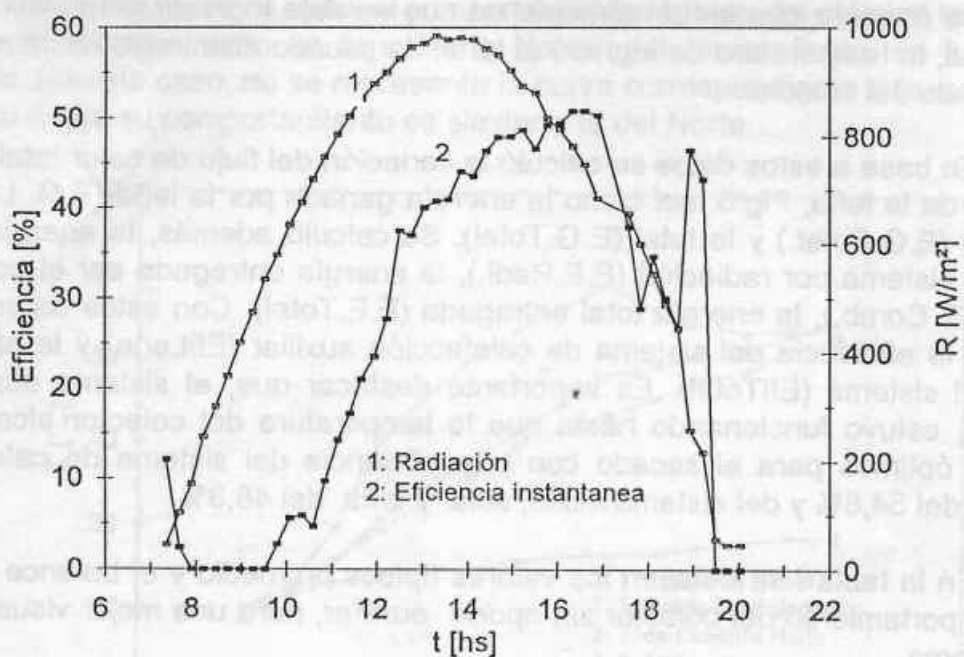


Fig.7. Radiación y eficiencia instantánea

## CONCLUSIONES:

En el nuevo diseño de secadero - invernadero se observa una mejora notable en su rendimiento respecto a los sistemas ensayados anteriormente (Iriarte, A. et al 1993, 1994)., lo que permite una complementación mejor entre el uso de la energía solar y de la aportada por la biomasa.

Sin embargo debe tenerse en cuenta ciertos aspectos constructivos, como ser una adecuada fijación de los plásticos, para evitar la rotura de los mismos, como consecuencia de los frecuentes vientos de la zona. Como también ajustar la construcción de la canaleta de desagüe de los dos macrotúneles.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración de los Sres. Chaile, Ramón; Vargas, Rubén y Galván, Raúl; para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS:

- Condorí, M.; Saravia, L; et al. "Secadero invernadero con calefacción auxiliar. Ensayos preliminares". Actas de ASADES'94. Rosario. Pág. 389 - 396.
- Iriarte, A.; García V. et al. "Invernadero colector solar para secado de productos agrícolas. Ensayos preliminares". ASADES'93 - La Plata. Pág. 453 - 460
- Iriarte, A.; García V. et al. "Secador solar semi - industrial de productos agrícolas: Resultados experimentales". ASADES'94 - Rosario. Pág. 381 - 388.
- Iriarte, A.; García V. et al. "Quemador de residuos para la provisión de energía térmica al medio rural: Ensayos preliminares". ASADES'95. San Luis.