

SECADO DE PIMIENTOS: ENSAYOS PRELIMINARES,
CONSTRUCCION Y ENSAYO DE UNA PLANTA PILOTO

Luis Saravia*, Ricardo Echazú, Francisca
Guerrero y Cecilia Gramajo.

INENCO#, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400 Salta,
Argentina

y

Mónica García y Aldo Fabris**

División Energía Solar
CENTRO ESPACIAL SAN MIGUEL
Av. Mitre 3100 - 1663 - Buenos Aires

RESUMEN.

En este trabajo se muestran los resultados obtenidos en un ensayo preliminar de secado de pimientos realizado en Marzo-Abril/82 con un sistema compuesto por un calentador solar de aire plástico de 20 m² y una cámara de secado de bandejas superpuestas. El tiempo empleado en el proceso (hasta llegar al 20% base húmeda requerida) fue de cinco días para el producto cortado y de nueve días para el entero, obteniéndose un producto de excelente calidad. Se obtuvieron de esta experiencia guías de diseño para equipos de mayor tamaño.

Sobre esta base se diseñó y construyó una planta piloto de 300 m² de área captora y un túnel de secado de 2 x 2 mts. y 16 mts. de largo, cuya construcción y ensayo también son descritos en éste trabajo. Los tiempos de secado obtenidos para el producto cortado fueron de 7 días, superando en 2 a los tiempos en los ensayos originales. Esta merma en la velocidad de secado se debió a la baja temperatura

de salida obtenida en el colector (48 C, máxima), por la excesiva cantidad de polvo depositado sobre las cubiertas plásticas.

INTRODUCCION:

La producción de pimiento para su posterior secado y molienda es una de las principales actividades económicas de los valles calchaquíes en la Provincia de Salta. Ella alcanza las 450 Tn de pimiento seco anuales, los que son procesados industrialmente por cooperativas de productores o por intermediarios y se venden en el mercado local.

El proceso de secado usado tradicionalmente es solar, por simple exposición al sol en laderas de cerros con inclinación adecuada, teniendo una duración del orden de los 20 días.

La zona tiene posibilidades de incrementar su producción tanto a través de mejoras sustanciales en las técnicas de producción como de un incremento en las áreas sembradas. Dado que la demanda nacional está abastecida por completo, un plan de desarrollo de la producción se justifica si el producto puede colocarse en el exterior. Las dificultades

* Investigador de CNIE

Instituto UNSA - CONICET

** Investigador del CONICET

que se han presentado en tal sentido radican en que el pimentón elaborado actualmente no cumple con los requerimientos del mercado internacional en lo que tiene que ver con el contenido de cenizas y contaminación por componentes orgánicos. Estos defectos se originan principalmente en el proceso de secado debido a que la larga exposición al medio ambiente favorece la acumulación de polvo, el contacto con animales y el crecimiento de organismos. La corrección de este problema requiere la instalación de sistemas de secado más elaborados, que reduzcan el tiempo de procesamiento y protejan al producto del contacto con los agentes atmosféricos.

El presente trabajo contiene la descripción de la construcción y ensayo de una planta de secado solar que ha sido diseñada a tal efecto, procurando determinar su viabilidad económica frente al posible uso de plantas que utilizan combustibles tradicionales. El sistema calienta aire mediante colectores solares, el que circula por un túnel continuo de secado donde los pimientos están colocados en bandejas apiladas en carros. En las secciones que siguen se describen las actividades de diseño preliminar, los aspectos constructivos de la planta y los resultados obtenidos hasta el momento.

Este trabajo ha sido encarado en conjunto con la Secretaría de Estado de Industria y Minería de la Provincia de Salta que se ha encargado de las tareas de coordinación y control del producto, contando con la colaboración de la Cooperativa Agrícola del Valle Calchaquí que ha puesto a disposición su infraestructura productiva e instalaciones y con la financiación de la Subsecretaría de Ciencia y Técnica de la Secretaría de Planeamiento de la Nación.

ENSAYOS PRELIMINARES

Con el fin de determinar los parámetros básicos del proceso se realizaron dos campañas de secado con equipos pequeños en los años 1978 y 1982. Los detalles de la campaña 78 han sido publicados anteriormente (1). La última fue realizada en Abril de 1982 donde se probó un prototipo construido en el Depto. de Energía No Convencional de la CNIE, en San Miguel.

El sistema era de forma modular de fácil traslado y rápido armado. Constaba de un colector de plástico (2)

de aproximadamente 20 m² de superficie, con difusores de entrada y salida integrados al colector y un secadero de tipo de flujo de aire a través de la carga formado por 5 bandejas apiladas de 1 m² de superficie. Se completa con 2 ventiladores de 1 HP cada uno, uno de ellos axial conectado al ventilador y otro a la entrada del secadero.

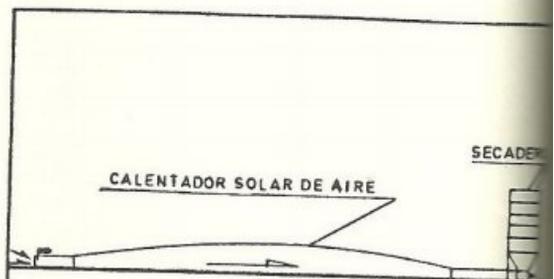


FIG.1 - ESQUEMA DEL SISTEMA DE SECADO

La capacidad de carga promedio era de 50 Kg. de material fresco/día con una evaporación que oscilaba entre 10-15% de H₂O/día según el estado del material. No se realizaba recirculación de aire, el caudal del mismo dentro del secadero era de 27 m³/min. Se hicieron controles de temperatura ambiente, a la entrada y salida del colector y dentro del secadero, donde se registraron las variaciones de humedad relativa. La Figura 2 muestra la marcha de las temperaturas, la humedad y eficiencia de colectas, para un día típico de ensayo.

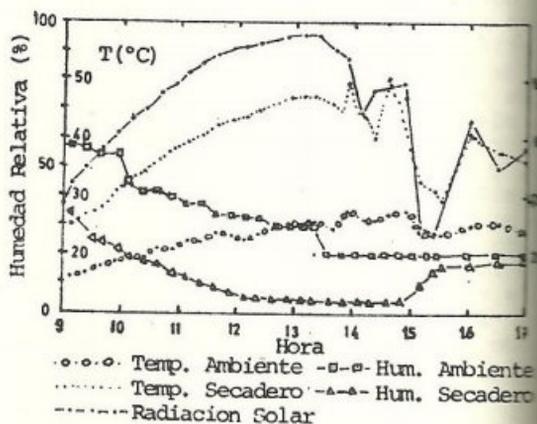


Fig. 2: Día típico de secado: variaciones de temperatura, humedad y eficiencia del colector.

durante el período de trabajo se produjeron aproximadamente 200 Kg. de pimiento fresco en 16 ensayos que difieren en el tratamiento del material, que podía ser: entero, entero, pinchado o cortado, todos ellos lavados o no lavar.

La Figura 3 muestra la variación de peso, según el tratamiento y la Tabla I resume los principales resultados obtenidos referidos al tiempo de secado.

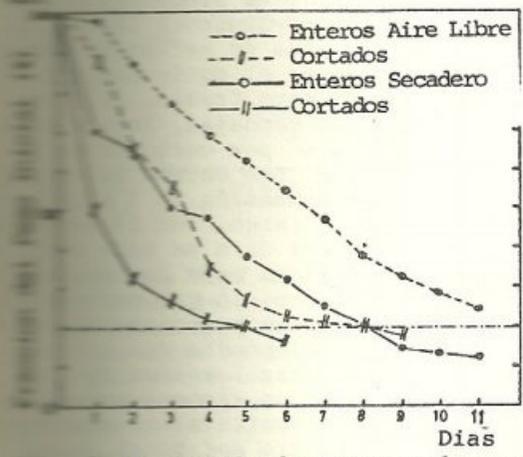


Fig. 3: Variación de peso según tratamiento.

Secadero	Pimiento entero	8 días
	Pimiento pinchado	7 días
	Pimiento cortado	5 días
Aire Libre sobre bandeja	Pimiento entero	11 días
	Pimiento cortado	10 días

Tabla I: Tiempo de secado para 9 hs de trabajo diario del secadero.

Las principales conclusiones de este ensayo son:
 a) En el uso del secadero se observó la importancia de la uniformidad en la madurez, ya que el pimiento aún verde se calienta dentro del secadero y por lo tanto al secarse, presenta manchas.
 b) Las temperaturas de trabajo oscilan entre 25-50°C. El material no presentó ningún tipo de deterioro por esta causa. La temperatura no debe sobrepasar los 55°C para evitar transformaciones de color del fruto, factor de mucha importancia en la comercialización del producto.

c) El punto de secado del fruto se determinó "in situ" en forma visual y manual por parte de personal idóneo y además se realizaron curvas de pérdidas de humedad para cada muestra. El punto donde a la temperatura de trabajo del sistema no se observaban pérdidas significativas de H₂O, oscila entre el 19 y 20% del peso seco en relación al peso fresco.

d) Las capas transparentes de plástico que actuaron como cubierta de los colectores funcionaron sin problemas, no sufrieron deterioros e inflándose correctamente.

e) La capa negra de plástico que actuó como absorbedor llegó a temperaturas de orden de 80°C lo que produjo un deterioro rápido del plástico. Esto es debido al uso de láminas de PVC recuperado, que si bien es más económico, no ha dado los resultados esperados.

DISEÑO PRELIMINAR DE LA PLANTA DE SECADO

Sobre la base de las experiencias a pequeña escala se decidió construir una planta de secado piloto de tamaño semi-industrial que permitiese obtener una experiencia constructiva y de funcionamiento de los distintos elementos, así como conseguir datos suficientes para llevar a cabo una evaluación económica definitiva y comprobar la calidad obtenida en el pimiento seco.

Teniendo en cuenta la producción de pimiento seco necesaria para evaluar el proceso, así como la disponibilidad de fondos, se decidió diseñar un sistema similar con un colector de 300m² de área. El túnel de secado a instalar es en contracorriente, con los pimientos en bandeja sobre carros entrando por un extremo y el aire caliente haciéndolo por el otro. El colector, cuyo corte esquemático se muestra en la Figura 4, es horizontal y está compuesto por una superficie absorbente de piedra negra aislada del piso por una capa de poliestireno expandido. Dos capas de plástico transparente infladas por la presión del aire que circula cubren la superficie absorbente.

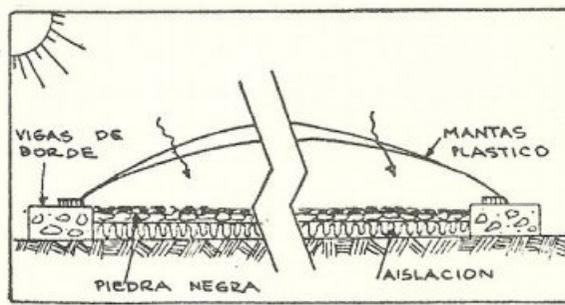


Fig.4: Corte esquemático del colector

El diseño es similar al ensayado por Fabris et al. (3) con la excepción del material de absorción y la sujeción del plástico tal cual se explica en la próxima sección. La piedra reemplaza al plástico negro que ha tenido problemas de sobretemperatura a la vez que actúa como un acumulador parcial del calor que permite que el sistema siga funcionando por un tiempo limitado después de la puesta de sol. Se decidió colocar 10 cm de espesor de piedra, lo que para una superficie de 300 m² da una masa de 48000 Kg. de piedra. El aire entra al colector impulsado por un ventilador que también infla al colector. Se ha colocado un ventilador intermedio que compensa la pérdida de carga en el túnel evitando sobrepresiones excesivas en el plástico inflado. Se han colocado dos compuertas de regulación de flujo con el fin de equilibrar el funcionamiento de ambos ventiladores permitiendo el inflado correcto de los plásticos y regulando el flujo total del aire.

El gasto volumétrico de aire en los colectores, G, queda determinado por la radiación incidente I y las temperaturas de entrada T_{ent} y de salida T_{sal} teniendo en cuenta el rendimiento η del colector. Planteando el balance térmico instantáneo:

$$\eta I A = c_p \cdot \rho \cdot G \cdot (T_{sal} - T_{ent})$$

donde A es la superficie del colector y c_p y ρ el calor específico y la densidad del aire. No se ha tenido en cuenta la acumulación en la piedra, cuyo estudio detallado se realizará más adelante. En Cachí lugar de los valles calchaquíes donde se instalará el sistema, durante el mediodía solar en la época de secado se tiene:

$$I = 900 \text{ w/m}^2, T_{ent} = 25^\circ\text{C}, \rho = 0.8 \text{ kg/m}^3,$$

$$c_p = 100 \text{ jul/kg } ^\circ\text{C}.$$

Con A=300m², estimando $\eta = 0.4$ y tomando una temperatura requerida a la salida de 53°C se obtiene G=290m³/min. Los ventiladores fueron elegidos para entregar un flujo 10% mayor al calculado con una pérdida de carga estimada en 12 mm de altura de agua en los colectores y 20 mm en el túnel. Debe tenerse en cuenta que debido a la altura de Cachí, 2400 m, la selección de los ventiladores con manuales de fábrica ha de considerar el sustancial cambio de densidad respecto al nivel del mar.

El diseño del túnel requiere el conocimiento detallado del proceso de evaporación de agua en el fruto, el cual

recién está en estudio. Por tal razón se utilizaron valores estimativos de evaporación obtenidos en los prototipos así como en otros tipos de secado. Los prototipos dan cifras de evaporación del orden de 2 kg. de agua por día/m² de colector, las que resultan similares a las obtenidas en el proceso de secado de tabaco, 6000 Cal/kg de tabaco seco (4) y la de durazno, 0.5 kg durazno seco/m² colector. día (3). Para 300 m² de colector se procesarían alrededor de 750 kg de pimiento fresco. Se necesitan 4 días de secado en el túnel éste debe contener el equivalente a 3000 kg. de pimiento fresco. El túnel requiere 300 m² de bandejas, lo que equivale a bandejas de 1.5 m² por carro da un total de 20 carros. Los carros se han diseñado con una dimensión de 1 m de ancho por 1.5 m de largo, con 10 bandejas montadas una sobre otra en cada carro. En estas condiciones cada carro lleva 150 kg. de pimiento, lo que permite el fácil manejo por dos personas. El túnel de 2.4 m de ancho, admite dos carros pareados y tiene una longitud de 18 m. Los carros tienen un sistema automático de enganche que permite el traslado de toda una fila dentro del túnel.

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

A continuación se detallan los aspectos constructivos más importantes de los colectores, túnel de secado, bandejas y carros.

El esquema de disposición de los colectores se muestra en la Figura 5. Cada colector fué diseñado con un ancho de 2.4 m con el fin de poder utilizar el PVC como plástico. Por problemas de trega en fábrica no fué posible utilizar ese material, el que fué reemplazado por polietileno transparente de 200 micrones de espesor. Los colectores fueron agrupados de a dos a efectos de asegurar una buena circulación de aire, colocando dos ventiladores a la entrada y dos a la salida. Ello permite utilizar los ventiladores de tamaño adecuado para el transporte hasta el lugar, asegura una circulación más pareja del aire y minimiza la cantidad de cañerías necesarias. Los acoples de sección variable entre los ventiladores y colectores disminuyen las pérdidas de carga. Las capas plásticas deben ser sujetadas y cerradas adecuadamente para evitar pérdidas de aire. Se ha señalado anteriormente (3) las desventajas derivadas del uso de soldaduras plásticas a esos efectos, proponiéndose sujeciones y cierres por presión. La Figura 6 detalla la solución utilizada en este caso.

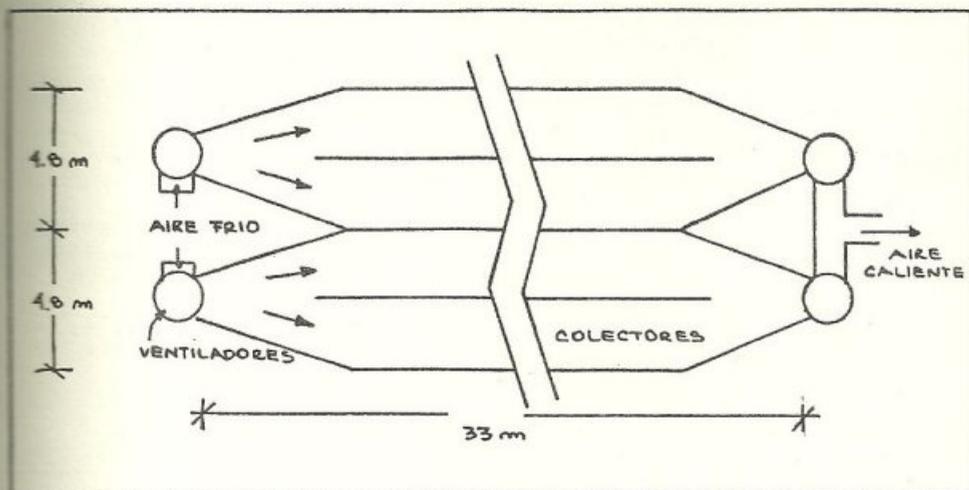


Fig. 5: Esquema de la disposición de los colectores

Se usó una viga de hormigón ciclópeo en el borde del colector. A las armaduras de la viga se suelda un bulón saliente cada 50 cm. Las dos capas de plástico son apretadas por varillas de madera dura sujetas por travesaños metálicos que se apretan mediante los bulones. Una misma viga sirve para sujetar dos colectores apareados. Esta técnica es de muy fácil uso y sencilla construcción. Las vigas, debido a su peso, no necesitan anclaje al suelo y durante su construcción se acomodan a pequeñas irregularidades del suelo minimizando los movimientos de tierra.

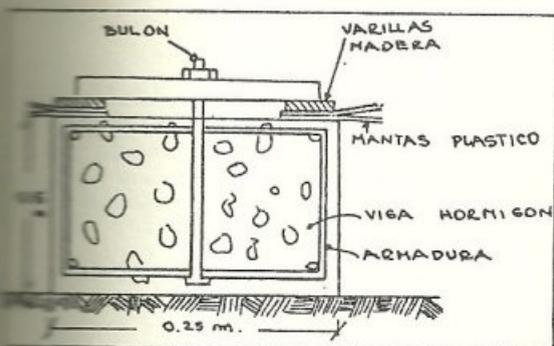


Fig. 6: Fijado de las capas del colector

Los carros fueron construídos con caños de sección cuadrada y ruedas de nylon. Las bandejas están construídas con malla Sima de 25 cm entre hierros en el fondo y 15 cm en el costado. En los vértices se ha colocado un trozo de caño de 3/4" al que se suelda en el extremo otro de 1/2". Ello permite que cada bandeja encaje en la inferior. Sobre la malla Sima del fondo se coloca una malla plástica de 2 cm entre hilos, la que sostiene a los pimientos.

La bandeja es liviana y tiene buena fortaleza. El uso de la malla Sima simplifica la construcción al minimizar la soldadura.

El túnel fué construído con unidades desarmables de manera que pudiese ser construído en la ciudad de Salta y trasladado a Cachi. Tiene una estructura soporte de vigas y columnas metálicas paredes y techos de placas de poliestireno expandido recubierto con una chapa metálica y con 4 cm de espesor, y un techo externo de chapa metálica ondulada. Se tomó especial atención con las posibles pérdidas de aire sellando se todos los elementos de unión.

SIMULACION NUMERICA DE LOS COLECTORES

Se han desarrollado códigos de computación para el cálculo numérico del comportamiento térmico de los colectores con un doble propósito. En primer lugar el modelo numérico podrá ser ajustado con los resultados numéricos correspondientes pudiendo ser utilizado en el futuro para el diseño de otros sistemas a nivel industrial. En segundo lugar servirá como elemento de análisis de los resultados experimentales, permitiendo un mejor ajuste de los parámetros de funcionamiento del equipo. El sistema de colección utilizado tiene la particularidad de que en él ocurre un proceso simultáneo de colección y acumulación debido a la masa de piedra. Esto hace muy difícil plantear una solución analítica al problema, por lo que se ha recurrido a un análisis numérico computacional. El modelo no se discutirá aquí debido a razones de espacio.

Se han obtenido resultados del modelo a partir de datos provenientes de ensayos del sistema de colectores. Los valores utilizados para el cálculo se dan en la Tabla II.

<u>Parámetro</u>	<u>Valor</u>
* Flujo de un colector .	1.5 m ³ /seg
* Altura de la manta plástica.	0.5 m
* Conductividad térmica de las piedras.	1.7 vatios/m °C
* Porcentaje de radiación incidente. absorbido por las piedras.	53 %
* Radiación horizontal de 8 a 19 hs	230,460,650,850,890, 920,890,850,650,460, 230, 0, vatios/m ²
* Temperatura del aire de entrada de 8 a 19 hs.	15,16,18,20,22,24, 25,26,25,24,22,20 °C
* Coeficiente de transferencia tér- mica sobre las piedras.	7.5 vatios/m ² °C
* Coeficiente de transferencia tér- mica de las cubiertas.	4.5 vatios/m ² °C

Tabla II : Valor de los parámetros del modelo del colector

El parámetro del modelo sobre el cual se tiene menos conocimiento es el coeficiente de transferencia térmica sobre las piedras debido a las características muy irregulares de éstas. Este valor se ajustó para obtener temperaturas sobre las piedras similares a las experimentales. El valor final es superior en un 80% al correspondiente para una superficie lisa. Ello parece razonable dado el carácter irregular de la superficie que incrementa la superficie de contacto así como la turbulencia. La figura 7 muestra los valores obtenidos para la temperatura de salida como función del tiempo. Se han superpuesto los valores experimentales obtenidos correspondientes a los datos usados. La eficiencia media del día obtenida del cálculo es del 33%.

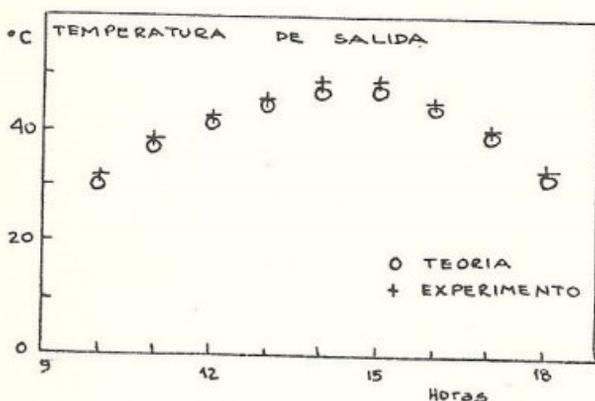


Fig.7: Valores de temperatura en función del tiempo.

ASPECTOS ECONOMICOS:

La Tabla III da cifras preliminares del costo de la obra. Se ha procurado no incluir costos derivados del material de que esta es una primera instalación.

Resulta interesante realizar una prueba de evaluación del costo de energía térmica producida. La Tabla IV resume un análisis del costo anualizado de la energía producida expresada en litros equivalentes de combustible.

RESULTADOS Y DISCUSION:

El equipo terminó de ser construido en Feb/83 habiendo realizado su primera campaña de secado entre Marzo y Mayo de 1983. En lo que se refiere al colector, las temperaturas de salida medidas se han sobrepuesto a los cálculos teóricos en la Figura 7. Dado el nivel de nubosidad del lugar, estos resultados se han repetido con gran sistencia a lo largo de la temporada. El producto secado ha sido de buena calidad, llevando un tiempo de secado de 6 días en vez de 4 debido a la temperatura algo baja de salida, según se discute a continuación.

Los principales puntos a destacar en esta primera campaña son:

- 1) La temperatura máxima de salida, en °C, ha sido algo más baja de la esperada lo que ha sido debido a la cantidad de polvo que se deposita sobre el plástico. En la próxima temporada se analizará el colector en 10 m para solucionar éste problema.

3) La colocación del plástico fue la esperada en general. Su altura la inflar se fué un poco alta, 70 cm lo que debē ajustarse al armarse de nuevo. La sujeción en los extremos de los colectores fué algo engorrosa por lo que se modificó la sujeción en esa zona. La regulación del flujo y el inflado de los colectores fué correcto.

4) Las operaciones con los carros y bandejas han procedido de acuerdo con lo esperado. Se colocó un bafle de plástico en la entrada de aire para uniformizar su distribución en el túnel.
5) El flujo de aire obtenido fué el esperado.

Parte	Materiales	Mano de obra	Total
Colectores	3076	256	3332
Plást.	1743	205	1948
Carros y bandejas	2429	380	2809
Total	7248	841	8089

Tabla III: Costo de las partes del sistema de secado solar en U\$S

Item	Costo anual en U\$S
1) Capital inicial a 10 años de amortización con 10% de interés	489
2) Consumo de energía eléctrica: 3645kwh a U\$S .06 por kwh.	218
3) Reemplazo de plástico cada 3 años	60
4) 10 días-hombre por temporada para limpieza y colocación de plástico	70
Total	837
5) Costo anualizado de la producción de energía térmica	
Rendimiento de los colectores	30%
Radiación diaria	6000 Cal/m ² día
Días de funcionamiento	90
Rendimiento de quemadores	80%
Costo equivalente	U\$S .127por litro de combustible equivalente.

Tabla IV: Análisis del costo anualizado.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- L.Saravia, E. Frigerio, M.Gray y A.C.Somigliano, E.I. Militello; Secado Solar de Pimientos: Estudio Preliminar. Actas de la 5° Reunión de la ASADES, pp.253, 1979, Córdoba, Argentina.
- 2.- A. Fabris, M.García, H.Grossi y A. Roberti; Construcción de un secadero solar experimental para frutas y hortalizas. Actas de la 6° Reunión de la ASADES, pp. 3. 1980, Catamarca, Argentina.
- 3.- A. Fabris, M.García, A. Roberti y S. Chiabrera; Ensayo de un secadero solar. Actas de la 7° Reunión de la ASADES, pp 18, 1981, Rosario Argentina.
- 4.- L.Saravia, E. Frigerio, I. De Paul y R. Echazú; Programa de secado solar de Tabaco; 2da.fase. Actas de la 7° Reunión de la ASADES, pp.11 1981, Rosario, Argentina.