

VI Congreso de Ingeniería Industrial COINI 2013
7 y 8 de noviembre de 2013

Centro Tecnológico de Desarrollo Regional
Facultad Regional San Rafael - Universidad Tecnológica Nacional
Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, Argentina

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA EL DESHIDRATADO DE FRUTAS Y HORTALIZAS

J. Cerioni.¹, J. Rubio.², F.López.³, H.Ferro.⁴, F. Genovese.⁵, A .Quiles⁶
1, 2, 3, 4,5 y 6 Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Rafael, Urquiza 314,
C.P. 5600, San Rafael, Mza., Argentina.
E-mail: ingcerioni@yahoo.com.ar Tel/Fax 0260- 4421078

RESUMEN

El aprovechamiento térmico de la energía solar está relacionada con dos fenómenos físicos: el fenómeno del cuerpo negro y el efecto invernadero. El primero consiste en; si sobre un cuerpo pintado de negro, se hace incidir un haz luminoso, luego de que se corta la fuente de luz, el cuerpo negro en forma espontánea emite cierta energía (en forma de calor), el segundo es en que la energía liberada por el cuerpo negro quede retenida entre este y el material utilizado para generarlo. Los secadores solares más difundidos, consisten en una estructura de invernadero, donde el aire se renueva en forma constante; por un extremo ingresa aire fresco y por el otro sale el mismo aire pero con mayor temperatura. Este se puede aprovechar para deshidratar frutas y hortalizas. Se han desarrollado múltiples modelos de secador, aprovechando distintos materiales plásticos para producir el efecto invernadero. La limitante mayor que tienen estos diseños, es que se necesita una gran superficie para calentar el aire, lo que se traduce en espacio e infraestructura.

La tecnología desarrollada se fundamenta en los conceptos citados anteriormente. El sistema propuesto consta de colectores solares con una superficie total de 400 metros cuadrado con el fin de elevar el estado térmico del aire a introducir en el horno de secado, para la extracción de humedad de las frutas y hortalizas.

Es importante señalar que se han realizado diferentes pruebas de deshidratación, obteniendo resultados positivos en damascos y tomates. Con este sistema se ha logrado elevar la temperatura del aire en promedio unos 20°C con respecto a la temperatura atmosférica.

Bajo esta experiencia real y concreta podemos determinar que es posible la aplicación de este proyecto en el secado de productos de la región sur de la Provincia de Mendoza.

1- INTRODUCCIÓN

En base a la bibliografía "Ingeniería del secado solar", editores: R. Corvalan, M. Horn, R. Roman, L. Saravia, se diseñaron los colectores solares, el horno solar se encuentra ubicado en el localidad de San Rafael, Mendoza, en las instalaciones de la estación experimental Rama Caída dependiente del INTA. Este consta de dos partes definidas que son el área de colección y el túnel de secado, el área de colección de la energía es de 400 metros cuadrado y está compuesta por cuatro colectores de 2,5 metros de ancho por 40 metros de largo, construido en su base con piedra bola, un arco de hierro y polietileno, el túnel es un container de chapa de 2,5 metros de ancho por 6 metros de largo, con un capacidad aproximada de 2000 kg de frutas, provisto de 7 carros de 26 bandejas cada uno.

1.1. Objetivos

Deshidratar damascos utilizando la energía del sol, comparar tiempos y calidad con el proceso de secado de la fruta en la zona, en la cual se utiliza quemadores a gas natural.

2- DESARROLLO TEÓRICO

Selección de tamaño se realiza manualmente al igual que el partido, se utiliza para este fin un cuchillo, cuando se realiza el corte se debe evitar rasgaduras, por lo que debe hacerse sobre el total del perímetro. El resultado de ello son dos mitades casi idénticas.

Inmediatamente luego de ser cortadas, las mitades deben ser sumergidas en una solución de metabisulfito de sodio al 10 (diez) % para retardar la oxidación, que como consecuencia le otorga a la fruta un oscurecimiento. El tiempo que debe permanecer en la solución es de aproximadamente 10 minutos. Las mitades son colocadas en las bandejas, con la cavidad del carozo hacia arriba, para favorecer la pérdida de agua.

Los carros tienen una capacidad de 26 bandejas cada una de ellas puede cargar aproximadamente 5 kilos de fruta, estos ingresan por un extremo al horno y el aire caliente proveniente de los colectores ingresa por el otro extremo, el sistema es contracorriente.

El aire utilizado proveniente de los colectores ingresa al túnel mediante convección forzada (ventiladores), la circulación del aire dentro del túnel la realiza otro ventilador que se encuentra en su interior.



Foto 1

3- Equipos utilizados para la realización de la experiencia

Balanza electrónica: Marca Challenger SC103 de una capacidad de 600kg. Sensores de temperatura y humedad Data Logger miniatura, marca iButton, modelo Hygrochron DS1923. Frecuencia de lectura mínima: 1 minuto. Capacidad 8k. Rango -20°C a $+85^{\circ}\text{C}$, 0-100%. Resolución 0.5°C , 0.6%. Error $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$, $\pm 3\%$. Acero inoxidable, resistente al agua y al polvo. IP65. Origen, USA. Software e interfase para PC, Express Thermo Basic. Para leer y programar iButton Thermochron e Hygrochron. Conexión USB o Serial. Opcional USB. Compatible con Windows 2000, XP y Vista. Origen, Portugal.

Anemómetro Termo anemómetro (con turbina incorporada), higrómetro, luxómetro portátil. Marca Lutron, modelo LM-8000. Combinado 4 en 1, mide temperatura, humedad, velocidad de viento e intensidad de luz. Retención de máximos y mínimos. Conexión para sonda externa de temperatura, Termocupla tipo K. Rango 0.4 a 30 m/s, sensor externo K -100°C a $+1300^{\circ}\text{C}$, 0 a 20000 lux, 10 a 95% Hr.

4- Desarrollo Experimental

Una vez llenado el horno se procede a dar inicio a la deshidratación, el primer carro consta de una balanza con la cual se va midiendo la pérdida en peso de agua de la fruta, las variables medidas durante el procesos son: temperatura y humedad ambiente, temperatura y humedad a la entrada

del túnel, temperatura y humedad en el interior del horno y velocidad de los ventiladores de circulación forzada.

4-1 Primer día de secado variables obtenidas

Hora	Ambiente	Quemador	Balanza
	T [°C]	[°C]	[Kg]
10:30	21,3	29,5	273,5
11:00	21	31,2	273,5
11:30	24,5	33,4	271
12:00	24	35,3	266
12:30	24,9	37,2	261,5
13:00	26,6	39,4	256,5
13:30	26,3	41	252
14:00	26,8	41,6	246,5
15:00	27,3	43	238
16:00	28	43,1	230
17:00	26	41,8	223,9
18:00	26	36,4	217,5
19:00	26	33,2	213,5
19:30	26	32,6	213,5

Tabla 1: primer día de secado

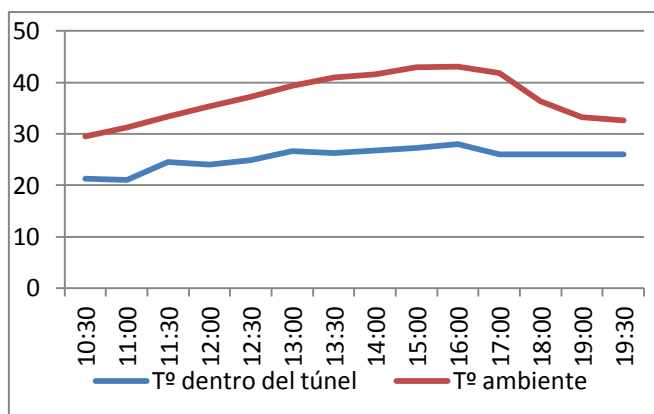


Gráfico 1

4-2 Segundo día de secado variables obtenidas

Hora	Ambiente	Quemador	Balanza
	T [°C]	[°C]	[Kg]
10:30	27,5	32,7	146
11:00	26,8	35,6	144
11:30	34,5	38,7	142
12:00	32,1	40,9	140
12:30	30	43	137,5
13:00	30,5	44,8	135,5
13:30	31	46	133,5
14:00	32,5	48,1	-
15:00	33	49,3	-
16:00	32	49	-
17:00	31	47,8	-
18:00	32	42,9	-
19:00	31,7	38,2	-
19:30	31	38	-

Tabla 2: segundo día de secado

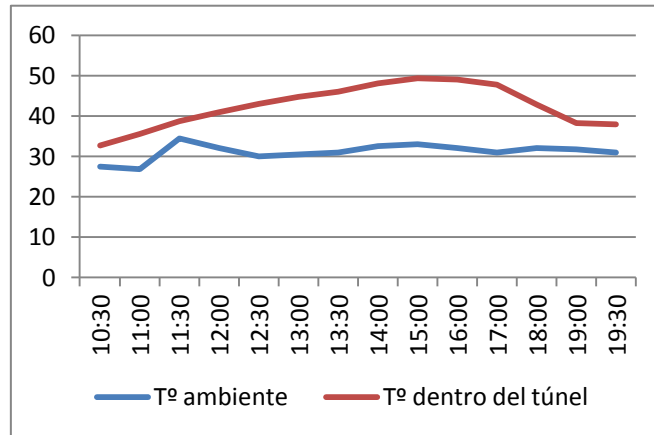


Gráfico 2

4-3 Tercer día de secado variables obtenidas

Hora	Ambiente T [°C]	Quemador [°C]	Balanza [Kg]
10:30	27	34,9	-
11:00	27	38,00	-
11:30	29,9	42,8	-
12:00	31,6	44,8	-
12:30	31,8	46,5	-
13:00	32,2	48,2	-
13:30	33,7	49	-
14:00	35,6	50	-
15:00	36,1	52,5	-
16:00	34,5	49,50	-
17:00	30	48,3	-
18:00	32,6	46,4	-
19:00	31,1	44,1	-
19:30	31,2	41,7	-

Tabla 3: tercer día de secado

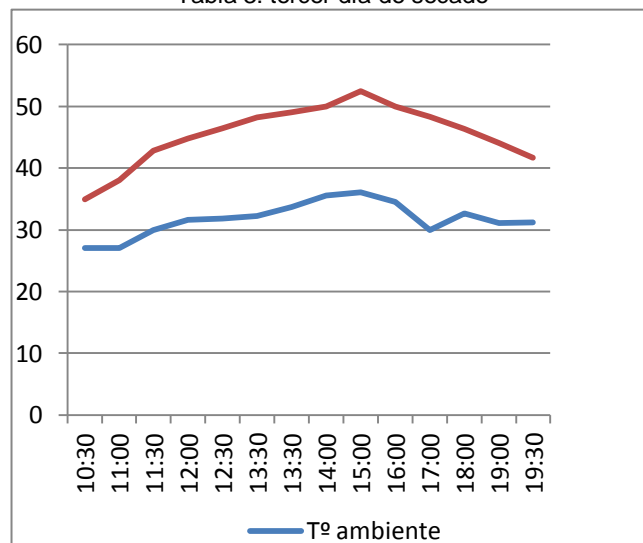


Gráfico 3

Los sensores de temperatura y humedad fueron colocados en el primero y en el último carro en las bandejas 6 y 20.

Último carro día 1

Hora	Bandeja 6		Bandeja 20	
	°C	% Humedad	°C	% Humedad
10:00	15,0	92,14	15,9	84,31
11:00	18,0	91,05	18,0	83,56
12:00	22,1	89,66	22,1	81,61
13:00	26,1	87,90	25,8	76,55
14:00	29,4	86,27	29,1	70,31
15:00	31,9	80,04	31,5	63,58
16:00	33,4	70,51	33,0	57,38
17:00	33,5	62,77	33,2	52,41
18:00	32,0	56,05	31,7	48,10
19:00	29,3	52,02	29,0	47,12

Tabla 4 Sensor 1y 2

Último carro día 2

Hora	Bandeja 6		Bandeja 20	
	°C	% Humedad	°C	% Humedad
10:00	15,3	75,17	15,9	77,22
11:00	25,7	72,52	25,5	73,69
12:00	31,5	65,05	31,0	63,51
13:00	36,3	57,27	35,6	54,69
14:00	39,6	48,42	39,0	46,04
15:00	42,3	42,39	40,5	41,43
16:00	43,4	36,05	41,7	37,36
17:00	42,3	33,30	41,1	33,68
18:00	40,5	31,20	39,2	32,00
19:00	36,8	32,80	36,0	34,13

Tabla 5 Sensor 1y 2

Último carro día 3

Hora	Bandeja 6		Bandeja 20	
	°C	% Humedad	°C	% Humedad
10:00	23,2	63,12	22,1	66,69
11:00	33,5	53,19	32,2	56,16
12:00	38,8	42,59	37,4	45,99
13:00	43,0	35,07	41,7	37,01
14:00	45,7	30,35	44,8	31,98
15:00	48,5	26,05	47,7	27,32
16:00	48,6	23,88	48,0	24,89
17:00	47,6	22,36	47,2	23,45
18:00	44,3	22,40	44,2	23,49
19:00	38,8	24,51	39,1	25,36

Tabla 6 Sensor 1 y 2

Primer carro día 1

Hora	Bandeja 20		Bandeja 6	
	°C	% Humedad	°C	% Humedad
10:00	16,5	97,42	15,8	56,90
11:00	23,1	94,24	26,1	56,05
12:00	28,6	93,80	31,5	53,85
13:00	33,1	91,24	35,8	51,24
14:00	36,4	81,63	38,8	49,63
15:00	38,6	67,79	40,8	48,21
16:00	39,6	52,49	41,5	46,59
17:00	38,8	45,16	40,3	45,20
18:00	35,8	41,00	37,0	44,38
19:00	32,1	40,71	32,7	42,97

Tabla 7 Sensor 3 y 4

Primer carro día 2

Hora	Bandeja 20		Bandeja 6	
	°C	% Humedad	°C	% Humedad
10:00	20,3	76,26		
11:00	31,5	68,55	21,2	46,73
12:00	37,1	54,25	33,2	47,33
13:00	41,5	44,37	38,7	45,83
14:00	44,8	36,31	43,1	46,32
15:00	47,1	32,34	46,3	44,21
16:00	47,8	28,25	48,4	43,50
17:00	46,0	27,48	48,9	43,23
18:00	43,0	27,85	46,8	42,33
19:00	38,5	30,17	43,5	40,93

Tabla 8 Sensor 3 y 4

Primer carro día 3

Hora	Bandeja 20		Bandeja 6	
	°C	% Humedad	°C	% Humedad
10:00	21,7	60,37		
11:00	24,0	55,60	22,5	39,96
12:00	29,1	41,90	24,5	40,50
13:00	31,7	43,55	31,7	74,02
14:00	32,4	42,29	31,6	36,53
15:00	31,8	41,02	32,4	34,49
16:00	30,5	40,35	31,7	33,88
17:00	29,6	39,75	30,5	33,04
18:00	30,5	41,71	29,6	33,65
19:00	30,2	40,10	29,2	33,50

Tabla 9 Sensor 3 y 4

Gráfico de humedad en función tiempo en las diferentes pastillas. Día 1

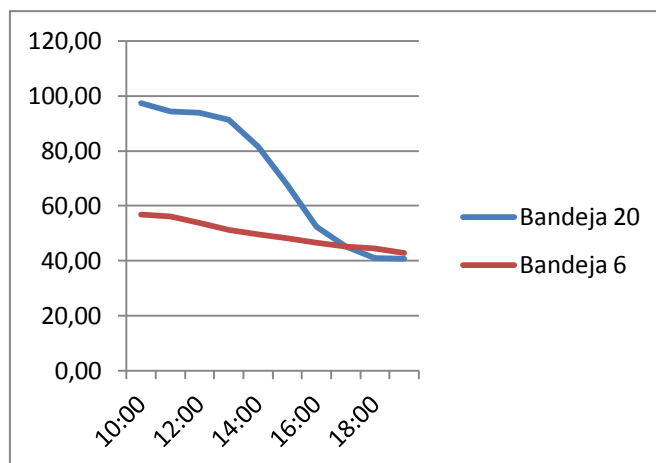


Gráfico 4

5- CONCLUSIONES

Partiendo de los resultados obtenidos en la experiencia anterior, en la cual determinamos el tiempo total de desecado el cual fue de 26 horas aproximadamente, lo que equivale a tres días de ocho horas de sol, en esta experiencia se marcó como un objetivo verificar dicho tiempo el cual fue corroborado en forma exitosa.

De los datos extraídos de la pérdida de humedad de la fruta con respecto al tiempo se observa que en las primeras horas de secado esta es mayor, luego de un tiempo la humedad retenida en la fruta es menor y por consecuencia la pérdida de humedad es más lenta.

La fruta al no estar en contacto directo con el ambiente no se oscurece (oxida) fácilmente. Es importante señalar que durante las horas de la noche al no haber circulación de aire no se registraron alteraciones en la fruta.

La temperatura promedio alcanzada en los colectores ronda los 15°C sobre la temperatura ambiente (28°C-32°C). Este incremento se logra por la época del año en que se realizan los ensayos.

La diferencia entre el tiempo de salida del primer carro y el tiempo de salida del último carro fue de nueve horas.



Foto2

Cabe señalar que en un proceso continuo y teniendo en cuenta las dimensiones del horno experimental, deberá considerarse igual tiempo de secado, lo que equivale a decir que entre el último carro sacado y el primero colocado, hay 20 horas de diferencia aproximadamente.

Simultáneamente con este ensayo se tendieron bandejas con damascos al sol habiendo sido tratados de la misma manera, en pos de comparar los tiempos de desecado y la calidad del producto obtenido, las conclusiones son: el tiempo de secado es similar, la calidad obtenida (color, aspecto, etc) es inferior ya que la fruta secada al sol es más oscura y su piel presenta otra textura. Es importante saber que para deshidratar 1000 kilos de damascos al sol se necesitan alrededor de 100 bandejas y una playa de 1000 metros cuadrado, mayor mano de obra para el tendido y el recogido diario (operación necesaria para obtener un producto de calidad).

En el horno solar se logra una excelente calidad, la mano de obra es menor y no se tiene riesgo de inclemencias climáticas ni tampoco presencia de insecto o roedores.

4-4 REFERENCIAS

- 1- Corvalan, R, Horn M, Roman R, Saravia L, Año 2002. *Ingeniería del secado solar*, Editorial. CYTED-D
Programa de Ciencia y Tecnología para el desarrollo V Centenario.
- 2- Pistono Raschieri J, Año 1987. *Desecación de los Productos Vegetales*, Editorial Reverte S.A.