

ESTUDIO COMPARADO DE TRES MODELOS DE DESHIDRATADORES
SOLARES PARA GRANOS BASICOS.

Ernesto Siguenza, Jaime Pérez,
Huber Ramírez, Antonio Ramos

Col. Montefresco, Av. Andalucía.
Num. 29. Fax 74-4494, 25-2506.
San Salvador, El Salvador, C.A.

RESUMEN.

El presente trabajo es el resultado de una investigación experimental que permitió identificar un sistema de energía solar para secado de granos. De acuerdo a su naturaleza, este trabajo de validación técnica comparada se presenta como descripción genérica del desarrollo metodológico de la investigación, en función de obtener una propuesta de solución técnica al problema de contaminación biológica en la etapa de secado en el proceso de almacenamiento de granos básicos (maíz, frijol y arroz). Como prospección, el desarrollo continuado del trabajo deberá, en la siguiente etapa, significar la validación tecnológica de la solución técnica, dirigida a los pequeños y medianos agricultores que, siendo un sector significativo de la población salvadoreña, manifiesta mayor recurrencia e intensidad respecto a este problema.

DESCRIPCION METODOLOGICA.

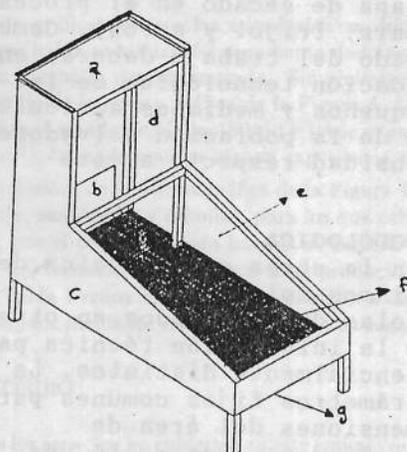
En base a la adquisición de datos en la etapa gnoseológica de la investigación, respecto a los mecanismos solares de deshidratación para productos agrícolas desarrollados en otras latitudes y hemisferios, se integró la información técnica para diseñar y construir tres modelos esencialmente distintos. La etapa constructiva consideró los parámetros fijos comunes para los modelos, según materiales y dimensiones del área de colección. Paralelamente a esta actividad se desarrolló una investigación de campo en una zona muestra del territorio nacional, para determinar las épocas de siembra, recolección y los problemas asociados con la contaminación biológica de granos básicos, según una escala de pequeño y mediano productor. El problema más recurrente según este estudio de campo, lo constituye la contaminación por insectos, hongos y roedores en la etapa de secado natural que utiliza este sector productivo.

A partir de la interpretación e integración de los resultados anteriores, se identificó y seleccionó los productos agrícolas muestra y se procedió a la ejecución de las pruebas experimentales comparadas del funcionamiento cualitativo y cuantitativo de los modelos de deshidratadores solares en estudio, de acuerdo al destino final del producto: semilla, forraje, almacenamiento y consumo directo. Los resultados de la calidad del producto se midieron según un análisis proximal del contenido de proteína, grasa, ceniza, carbohidratos y fibra cruda que, comparados con la composición de los granos producto del

secado tradicional, indicaron la vocación de uso de cada uno de los modelos según el destino final de los granos. En base a ello se desarrolló un modelo matemático predictivo de comportamiento del modelo de deshidratador solar más versátil. Finalmente, se procedió a estudiar las posibilidades de mejorar el comportamiento del sistema, en base a una serie de reformas técnicas del mismo.

MODELOS FISICOS DE PRUEBA.

Deshidratador solar artesanal. Es el modelo más sencillo de los tres, tanto en funcionamiento como de diseño y construcción. Se clasifica como un deshidratador solar directo, debido a que la energía solar incide directamente sobre el producto expuesto. Ver figura 1. Este modelo fué desarrollado en Brasil.



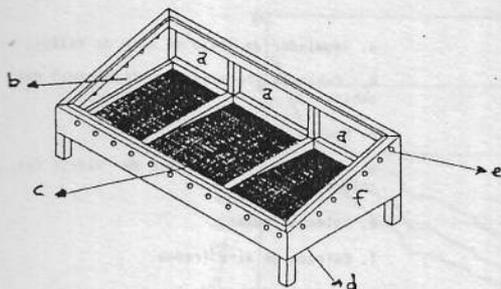
- a. Regulador de aire de salida
- b. Puerta de acceso para el depósito del producto.
- c. Pared lateral (fornada con plástico negro).
- d. Chimenea (fornada con plástico negro).
- e. Plástico transparente para el colector.
- f. Depósito del producto (cedazo metálico).
- g. Agujeros en la pared aislante del fondo, para la entrada de aire fresco.

Figura 1. Deshidratador solar: modelo artesanal.

El fluido de trabajo (aire) ingresa al sistema a través de agujeros situados en la parte inferior; éste aumenta su temperatura debido al efecto de invernadero, atravesando el lecho del producto, arrastrando la humedad y abandona el sistema a través de la chimenea. En la parte superior de la chimenea se ubica un regulador de flujo de aire.

Los materiales de construcción son: madera de pino blanco, cedazo metálico, plástico transparente y negro y viruta de madera. El producto se deposita en una bandeja y su acceso se realiza por la parte posterior.

Deshidratador solar: caja caliente. Basicamente posee un funcionamiento similar al artesanal, con ciertas variantes de diseño con el propósito de disminuir el tiempo de secado. Esta clasificado como un deshidratador solar directo. Ver figura 2. Este modelo es el resultado de integrar los modelos similares desarrollados en El Salvador y el Instituto Brace (Canadá).



- a. Puerta de acceso al depósito del producto.
- b. Cubierta transparente de vidrio.
- c. Depósito del producto (gaveta con cedazo metálico).
- d. Agujeros para entrada de aire fresco.
- e. Agujeros para salida de aire.
- f. Pared Lateral.

Figura 2. Deshidratador solar: modelo de caja caliente.

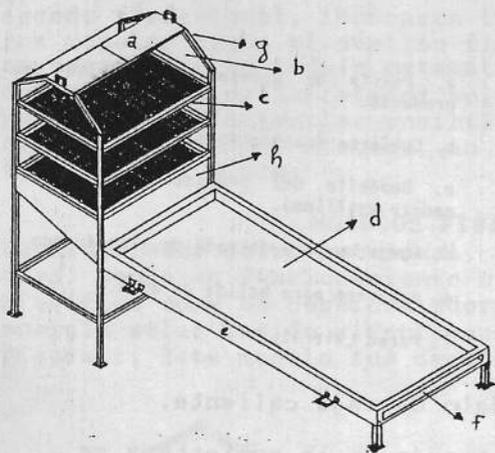
La radiación solar se transmite a través de la cubierta y es absorbida por una superficie metálica interior pintada de negro. El contenedor principal cuenta con agujeros en el fondo para introducir aire fresco al sistema, atraviesa la cámara de precalentamiento (situada entre la base aislada y la placa metálica) y el producto, abandonando el sistema a través de los agujeros laterales debido al efecto de convección natural. Esto crea un efecto de vacío y se introduce continuamente aire fresco a través de los agujeros de la base. El flujo se puede regular tapando o abriendo estos agujeros a conveniencia.

Los materiales principales de construcción son: madera de pino blanco, vidrio común, lámina de hierro negro, cedazo metálico, pintura anticorrosiva y tramos de PVC.

Deshidratador solar de gabinete. Constituye el de mayor complejidad tanto en funcionamiento como en diseño. Se clasifica como un deshidratador mixto de cama fija, debido a que el producto esta expuesto directamente a la radiación solar y recibe una corriente de aire caliente desde un precalentador solar. Ver figura 3. Este modelo fué desarrollado inicialmente en Africa y localmente se realizaron algunas reformas técnicas.

Los materiales de construcción para el precalentador son: vidrio común, madera de pino blanco, lámina galvanizada, viruta de madera y pintura negra anticorrosiva. Para el gabinete: tubo industrial cuadrado de hierro negro, madera de pino blanco, lámina galvanizada, cedazo metálico, lámina de hierro negro y pintura anticorrosiva negra.

El aire ingresa al precalentador por la parte más baja, se distribuye en la cámara de pleno hacia las bandejas superiores y atraviesa el producto depositado en ellas. La circulación de aire es inducida por convección natural.



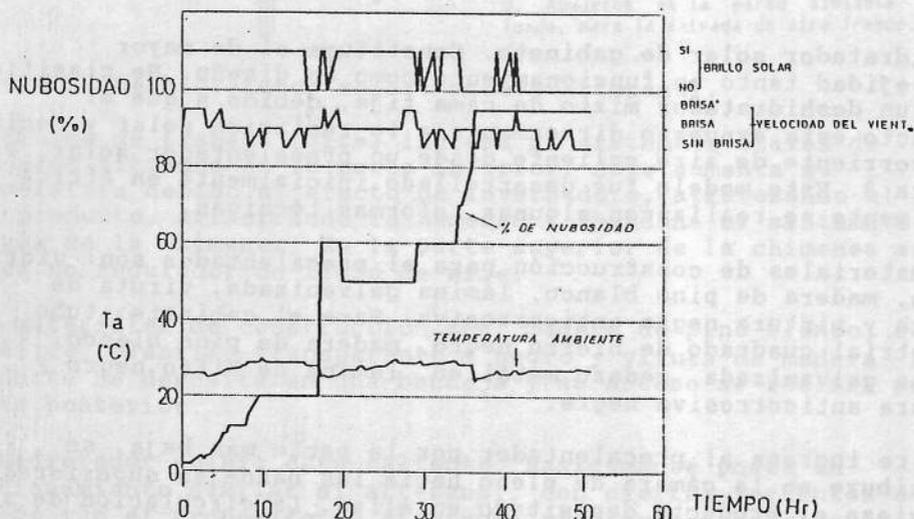
- a. Regulador de flujo de aire de salida.
- b. Cubierta transparente (plástico) del gabinete.
- c. Gaveta.
- d. Cubierta transparente de vidrio del colector.
- e. Colector solar.
- f. Entrada de aire fresco.
- g. Gabinete de secado.
- h. Cámara de pleno.

Figura 3. Deshidratador solar: modelo de gabinete.

RESULTADOS DE PRUEBA.

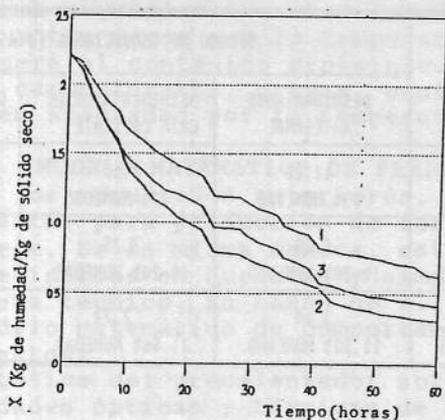
Las pruebas se realizaron simultáneamente con los tres modelos, manteniendo fijos los dos parámetros más importantes: el área de colección de energía solar fué de 2 metros cuadrados y se mantuvo el mismo flujo de aire a través de los sistemas.

Las variables a medir durante la etapa de pruebas de cada uno de los productos y modelos de deshidratadores fueron las siguientes:
 - Variables climatológicas: nubosidad, brillo solar, velocidad de viento y temperatura ambiente. Ver gráfica 1.



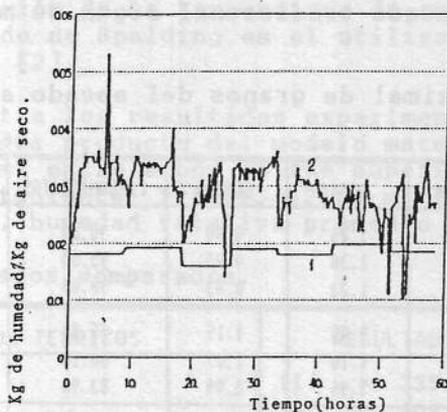
Gráfica 1. Variables climatológicas durante el periodo de secado de arroz.

- Variación de las propiedades físicas de los granos deshidratados: ver curva de secado para maíz en la gráfica 2.



Gráfica 2. Curva de secado por lotes para maíz en un deshidratador de gabinete. Gabetas 1, 2 y 3.

- Variación de la humedad absoluta de entrada y salida del aire: ver gráfica 3.



Gráfica 3. Humedad absoluta de entrada y salida del aire en el deshidratador de gabinete para la prueba con maíz. Entrada: 1. Salida: 2.

Los resultados cuantitativos de prueba para el tiempo de secado de granos, se muestra en la tabla 1. El tiempo de secado esta basado en 8 horas diarias efectivas de insolación. Como se puede observar, el tiempo de secado en cualquiera de los deshidratadores solares es siempre menor que el secado tradicional. El porcentaje promedio de disminución de tiempo de secado para los deshidratadores es: 50.8 % artesanal, 62.5 % caja caliente, 56.9 % gabinete.

Tabla 1. Tiempo de secado por producto y modelo de deshidratador.

GRANO	SECADO TRADICIONAL (DIAS) 10-13% HUMEDAD	SECADO NO TRADICIONAL (DIAS)		
		DESHIDRATADOR ARTESANAL 13% HUMEDAD	DESHIDRATADOR DE CAJA CALIENTE 13% HUMEDAD	DESHIDRATADOR DE GABINETE 13% HUMEDAD
MAIZ	20	11.00	7.50	9.13
FRIJOL	8	4.00	3.25	3.60
ARROZ	8	3.40	2.74	3.10

- Análisis proximal de granos deshidratados en cada uno de los modelos de deshidratadores solares. Los resultados se muestran en la tabla 2 y han sido comparados con los análisis proximales de granos producto del secado tradicional según se muestra en la tabla 3.

Tabla 2. Análisis proximal de granos del secado solar (base seca).

GRANO	DESHIDRATADOR	PROTEINA	GRASA	CENIZA	CARBOHIDRATOS	FIBRA CRUDA
ARROZ	ARTESANAL	9.00	1.25	0.90	90.00	1.30
	GABINETE	8.12	1.30	0.95	93.00	1.45
	CAJA CALIENTE	7.93	1.23	0.83	98.00	1.18
MAIZ	ARTESANAL	10.78	3.98	1.15	75.34	1.90
	GABINETE	10.24	4.10	1.03	80.10	1.78
	CAJA CALIENTE	8.91	3.95	0.99	83.90	1.45
FRIJOL	ARTESANAL	31.26	1.10	5.23	70.48	4.90
	GABINETE	27.48	1.09	5.10	72.33	5.24
	CAJA CALIENTE	24.95	1.18	5.14	75.39	5.03

Tabla 3. Análisis proximal de granos producto de secado tradicional (base seca).

GRANO	PROTEINA	GRASA	CENIZA	CARBOHIDRATOS	FIBRE CRUDA
ARROZ	9.03	1.30	0.92	97.9	1.41
MAIZ	10.73	4.04	1.18	82.15	1.90
FRIJOL	31.36	1.12	5.26	70.52	5.80

De la comparación de las tablas 2 y 3 puede deducirse que la alta velocidad de secado no afecta las propiedades físicoquímicas del producto en forma significativa. A pesar de ello puede, puede observarse que entre mayor sea la temperatura de trabajo de los modelos menor será el contenido proteínico, contrario a lo que sucede con los carbohidratos, grasas, cenizas y fibra cruda, los cuales no se ven afectados por la temperatura.

MODELO MATEMATICO DE PREDICCIÓN.

De acuerdo con los resultados anteriores, se identificó que el modelo más versátil para producción de forraje, consumo y semilla es el de gabinete. De la misma manera, este modelo presenta las mejores características en duración y simplicidad de manejo desde el punto de vista técnico. En razón de ello, se seleccionó para formular un modelo matemático de comportamiento que comprende los siguientes aspectos:

- Balance energético del precalentador solar de aire. De acuerdo con las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de construcción, se formuló un modelo matemático en base a la ecuación de Klein [1]. El método se utiliza para determinar la temperatura de salida del aire del precalentador.

- Balance de masa y energía en la cámara de deshidratación. El objetivo es determinar la variación del contenido de humedad del producto en función de la temperatura de entrada del aire a la cámara. El método de Spalding es el utilizado para la evaluación de éste balance [2].

La tabla 4 muestra los resultados experimentales en comparación con los resultados producto del modelo matemático predictivo. La desviación máxima entre ambos no fué superior al 8.6 %, esto referido a lo siguiente: frijol, 12:00 m, 120992 , latitud 13.46°N , altitud 660 m, humedad relativa promedio 78 %.

Tabla 4. Resultados comparados.

RESULTADOS TEÓRICOS		RESULTADOS EXPERIMENTALES	
T1	= 331.00 k	T1	= 335.00 k
Tp1	= 315.07	Tp1	= 309.00 k
Tp2	= 316.00 k	Tp2	= 313.00 k
Tp3	= 319.00 k	Tp3	= 317.00 k
T4	= 322.70 k	T4	= 319.00 k
W4	= 0.032 <u>Kg de humedad</u> Kg de aire seco	W4	= 0.035 <u>Kg de humedad</u> Kg de aire seco

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Duffie J.A. y Beckman W.A.
Solar Engineering of Thermal Processes.
Editorial Jhon Willey e hijos. Nex York, 1980.
2. Robert E. Treybal
Operaciones de Transferencia de Masa.
McGraw - Will. México, 1981.