

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE 1ra.Ed.**



En colaboración con



Universidad Complutense de Madrid, España



Universidad de El Salvador, El Salvador

“Estudio de un secador solar indirecto por convección natural para el deshidratado de frutas y vegetales en Nicaragua”

Tesis previa a optar al Título de Máster en Energías Renovables y Medio Ambiente

Presentado por: Lic. Carla Patricia Cortez Calero

Tutor: MSc. Jorge Isaac Cisne Altamirano

León, 17 de Septiembre del 2014

INDICE

I.INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
III.ANTECEDENTES.....	4
IV. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:	5
V. OBJETIVOS	7
VI. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
VI.1 Energía solar(10)	8
VI.1.1 Usos de la energía solar ⁽¹²⁾	8
VI.2 Un método tradicional: SECADO AL AIRE LIBRE ⁽¹¹⁾	10
VI.3 La innovación tecnológica: SECAR CON SECADORES SOLARES ⁽¹¹⁾	10
VI.4 Tipos de Secadores Solares ⁽¹¹⁾	11
VI.4.1. Tipo “armario” ⁽¹¹⁾	11
VI.4.2. Tipo “carpa” ⁽¹¹⁾	12
VI.4.3 Tipo “túnel” ⁽¹¹⁾	12
VI.5 Factores que influyen en el tiempo de secado ⁽¹¹⁾	13
VI.6 Pasos principales para secar alimentos ⁽¹¹⁾	13
VI.7 Evaluación del fin de secado ⁽¹¹⁾	15
VI.7.1 Procedimiento para evaluar el correcto secado de los productos	15
VI.8 Utilización de los productos secos ⁽¹¹⁾	16
VII. Metodología Experimental.....	17
VIII. Resultados y análisis.....	19
VIII.1 Selección y rediseño del deshidratador solar.....	19
VIII.2 Análisis económico de costo.....	21
VIII.3 Prueba de validez 1: Secado de cebolla	22
VIII.4 Prueba de validez 2: Secado de piña.....	23
VIII.5 Prueba de validez 3: Secado de banano	24
VIII.6 Comparación de secado directo y en el deshidratador de banano y cebolla..	25
IX. Conclusiones.....	29
X. Recomendaciones.....	30
XI. Referencias Bibliográficas.....	31
XII. ANEXOS	32

Agradecimiento

Agradezco a Dios sobre todas las cosas por darme salud, fuerzas y sabiduría para enfrentar la vida con todos sus obstáculos.

Dedicatoria

Dedico este trabajo al Señor todo poderoso que me da la vida. A mi hijo motor que me impulsa todos los días a salir adelante y mi esposo quien me brinda su apoyo incondicional.

RESUMEN

En este trabajo se evaluó el comportamiento de la velocidad de secado de piña, banano y cebolla mediante secado directo bajo el sol e indirecto en un prototipo de deshidratador solar. Los experimentos se realizaron utilizando un deshidratador solar a escala piloto. Las condiciones ambientales son las de la ciudad de León. Se hicieron mediciones de las variables de interés como, temperatura a la entrada y salida del equipo, velocidad del aire y pérdida de humedad, éstas permitieron realizar las curvas de secado, obtener una capacidad dinámica de la operación de secado de piña de 3.58 g/h, banano de 2.24 g/h y cebolla de 1.8 g/h.

ABSTRACT

In this paper the behavior of the rate of drying of pineapple, banana and onions by direct drying under the sun and indirect in a prototype solar dryer was evaluated. The experiments were performed using a pilot scale plot dehydrator. Environmental conditions are those of the city of León. Measurements of the variables of interest, the temperature at the inlet and outlet equipment, air velocity and moisture loss, they allowed for the drying curves, get a dynamic capacity of the drying pineapple 3.58 g / h, bananas 2.24 g / h and onion 1.8 g / h.

I. INTRODUCCIÓN

La operación de secado de frutas y residuos vegetales, involucra mecanismos de transferencia de materia y calor, estos se controlan para manejar un proceso ecoeficiente y obtener un producto de mejor calidad.

La reducción de humedad en los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados de conservación, al reducir el contenido de agua se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y otros mecanismos asociados a él. El secado de productos de agrícolas ha sido un método ampliamente utilizado por países desarrollados y en vía de desarrollo, pero el tema toma vigencia en el sentido de manejar procesos ecoeficientes, es decir cerrados, sin impactos y económicamente rentables.

El secado de plantas medicinales, granos y carnes ha sido una práctica habitual de conservación en el campo para asegurar la disponibilidad de los productos alimenticios y medicinales durante todo el año.

En Europa, desde la primera guerra mundial se ha venido trabajando en los procesos de deshidratación de vegetales por medio de máquinas especiales, pero durante la Segunda Guerra Mundial estos procedimientos alcanzaron un desarrollo notable. Los procedimientos actuales, muy superiores a todos los usados antes, mantienen el color y la textura de los alimentos⁽¹⁾.

Hoy en día el secado de vegetales y carne no tiene solamente una función de auto-abastecimiento como antes, sino que ofrecen una alternativa productiva y comercial para el mercado nacional e internacional.

Los habitantes de los países industrializados quieren consumir cada vez más productos naturales y sanos, entre los cuales se encuentran también frutas secas, charque ecológico y plantas medicinales y aromáticas. Por un lado, existen para muchos productos perecederos excedentes temporarios en épocas de cosecha, que generan millonarias pérdidas para los productores y por otro lado, nuestro país dispone de una oferta abundante de radiación solar para ser aprovechada a fines energéticos, entre otros para la deshidratación de estos excedentes.

En el trabajo se realiza la construcción de un secador solar el cual será destinado a la producción de cualquier fruta y vegetal deshidratado, realizando una prueba experimental con la deshidratación de banano, cebolla y piña. La tecnología propuesta no produce ningún efecto adverso en el ambiente, ni genera desechos indeseables ni contaminación.

El modelo que se construyó, tiene la virtud de unir la sencillez de concepción y una fácil construcción, aunque solo se pretende utilizarlo como base que sirva de partida, para que cada cual diseñe el secador adecuado a sus necesidades, que vendrá condicionado por la cantidad de material a secar, materiales de construcción accesibles a cada uno y habilidad manual para construirla.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La globalización determina los modelos económicos que deben implementar los países. Este modelo impone su concepto de desarrollo basado fundamentalmente en el capital y, por lo tanto, en el consumo irracional. Una consecuencia directa de este dominio lo encontramos en el concepto de desarrollo tecnológico. Nos imponen la idea de que el desarrollo tecnológico está relacionado con la aplicación de los últimos descubrimientos y las herramientas más novedosas. Somos capaces de lograr un apropiamiento de la tecnología, entendiendo dicha apropiación como la utilización de la tecnología más apropiada para nuestras circunstancias y nuestro entorno, utilizando principios científicos básicos y del dominio común.

Cuando hablamos de invenciones relacionadas con la energía solar son muchos los artefactos que podemos enumerar: sistemas eléctricos, autos solares, huertos solares y hasta cocinas solares; pero en los últimos años, diversos técnicos, debido a las múltiples urgencias en el ámbito rural diseñaron lo que se denomina secador solar.

La conservación de los alimentos por deshidratación es uno de los métodos más antiguos para hacer conservables los alimentos, el cual tuvo su origen en los campos de cultivo cuando se dejaban deshidratar de forma natural las cosechas de cereales, heno y otros, antes de su recolección o mientras permanecían en las cercanías de la zona de cultivo.

El proceso de deshidratación conlleva a la prolongación del tiempo vida para la utilización de los productos como alimento, manteniendo su nivel nutritivo o para poder permitir su manipulación y transformación y por ende hacer que este llegue a cuantos lugares sea posible.

El éxito de este procedimiento reside en que, además de proporcionar estabilidad microbiológica, debido a la reducción de la actividad del agua, y fisicoquímica, aporta otras ventajas derivadas de la reducción del peso, en relación con el transporte, manipulación y almacenamiento.

Hay variedad de modelos y sistemas, pero en esencia, todos contienen las mismas partes fundamentales, un calentador solar de aire que toma el aire y una cámara de secado a la que el aire caliente accede por convección, saliendo por una chimenea situada en la parte superior de la cámara. Estos elementos pueden diseñarse de diferentes formas para integrarse a diferentes equipos de secado solar.

Naturalmente, se pueden construir colectores solares más sofisticados que sigan automáticamente la luz del sol o captadores parabólicos que son de muy superior rendimiento, pero que exigen una construcción mucho más compleja, siendo más sencillo simplemente ampliar la superficie del colector si se considera necesario.

Al contrario del secado al aire libre no hay ninguna necesidad de quitar el contenido cuando llueve. También permite que el material fresco se seque a la sombra y mantiene así un alto contenido de vitaminas.

Los modelos comerciales, generalmente pensados para industrias conserveras, suelen añadir al calefactor solar algún sistema de calefacción convencional complementaria, para cuando llega la noche, o el día este nublado. Con ello reducen el tiempo de deshidratado y aseguran una perfecta conservación. Para evitar un deterioro de la mercancía por exceso de temperatura, se puede añadir uno o dos ventiladores como los usados en los equipos informáticos, para que insuflen mayor corriente de aire del calentador solar cuando en la parte superior de la cámara supera los 60° C.

La utilización de frutas y legumbres deshidratadas tanto como comestibles, como derivados del mismo (alimento), ha venido en desarrollo en los últimos años teniendo un gran auge a nivel internacional. Alrededor del mundo existen por lo menos 29 empresas que se dedican a la producción y comercialización de frutas deshidratadas, entre ellas se destacan:

Tabla 1: Empresas que se dedican a la producción y comercialización de frutas deshidratadas. Fuente “Validación del uso de un deshidratador solar de frutas y hortalizas en el municipio de Matagalpa”, Cordero Rizo E.

Fuente	Empresa	País
Internacional Dedicadas a la comercialización de frutas deshidratadas	OMAERESPAÑA	España
	PRODELAGRO	Colombia
	ENLACE COMERCIAL INTERNACIONAL	México
	DISTRIBUIDORA MONTECRISTO	Guatemala
	C.BARBERA CERVERA	España
Internacional Dedicadas a la producción de frutas deshidratadas	C.I. MUISCA FRUIT TRADING LTDA.	Colombia
	FRUTAS DESHIDRATADAS MARIELLA	Perú
	MARIO VITE	Ecuador
	AGRICORGANICOS S.A	Costa Rica
	NUTRIFRU	Ecuador
	MONTIFRUIT.SRL	Bolivia
	FLOSS	Colombia
	AGROINDUSTRIAL DEL CAUCA LTDA.	Colombia
	JORPAMARSA	Ecuador
	DERIHUEVOS	Colombia
	SICCUS FRUTAS DESHIDRATADAS LTDA	Colombia
	RANCHO J&F	Ecuador
Nacional Dedicadas a la producción de frutas deshidratadas	AMSONAC	Estelí
	SOL MAYA	Managua

Es importante subrayar que sólo nos referimos a la construcción del secador solar para frutas y vegetales. Para hacer un uso adecuado de este dispositivo es necesario realizar un manejo adecuado de los productos a deshidratar, tanto desde el punto de vista de higiene en su manejo, como en lo que respecta a la preparación previa del producto y envasado para su almacenamiento.

III. ANTECEDENTES

Actualmente, existen diversas alternativas para realizar el proceso de deshidratación de alimentos, dentro de las cuales se considera el secador o deshidratador solar. Los equipos empleados para este fin presentan mayor eficiencia que el secado al sol y menores costos de operación que los deshidratadores mecanizados. Los secadores solares son una opción viable y económica⁽⁸⁾.

En este tipo de equipos, el colector solar es el componente más importante; cualquier tipo de mejora obtenida en este aspecto incrementará el rendimiento térmico del sistema de deshidratación. Es por esta razón que cualquier esfuerzo encaminado en esta dirección es considerado de gran interés. De esta forma se logra acelerar el proceso de deshidratación y se excluye la necesidad de emplear sistemas auxiliares de respaldo para proveer calor en periodos de baja radiación⁽⁹⁾.

Existen básicamente dos tipos de secadores, los indirectos en los que el colector y la cámara de secado están separados. El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar. Este secador es esencialmente un secador convectivo convencional sobre el cual el sol actúa como fuente energética. Los secadores directos difieren de los indirectos en la transmisión de calor y la separación de vapor. En los secadores directos, el colector y la cámara de secado, pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.

Para su construcción se pueden utilizar diferentes materiales según los recursos disponibles. El calentador solar consta de una cubierta de vidrio que permite el paso de la radiación solar de onda corta. Para la construcción de la cámara de secado se puede utilizar zinc liso galvanizado y perlin o madera y plástico.

Como referencia puede consultar la Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes, publicado por la organización Uruguay Fundación Celestina Pérez; el documento lo puede revisar en la dirección <http://unesdoc.unesco.org/images/0015/001562/156206s.pdf>.

Otro documento interesante es el Manual técnico de procesamiento de frutas bajo reglamentos y estándares internacionales de calidad, publicado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, el documento lo puede adquirir en la dirección <http://frutal-es.com/docs/centro/manualestandares.pdf>.

Estos dos documentos referenciados son sólo a manera de ejemplo del vasto material relacionado con el tema que puede encontrar en internet.

En Nicaragua a la fecha se encuentran dos trabajos referentes a deshidratadores solares. Uno elaborado por estudiantes de la UNI Norte en el que validan un secador solar para café en pergamino en fincas de pequeños productores del municipio de San Rafael del Norte, realizado en el año 2009⁽²⁾.

El segundo trata de un proyecto de empresa para deshidratar frutas y hortalizas en el municipio de Matagalpa, realizado por estudiantes de la UNAN Managua – FAREM Matagalpa, en el año 2011⁽³⁾

IV. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El deshidratador solar se puede usar con: frutas, hortalizas, especies, carnes, mariscos, plantas medicinales, tabaco, maderas.

Los beneficios de estos son:

- Bajo costo de inversión y utilización.
- Diseño simple para reproducirse.
- Flexibilidad en la aplicación por diferentes materias primas.
- Alta calidad en los productos finales.

Estos beneficios y la amplia aplicación de los deshidratadores solares fueron los motivos que me llevaron al estudio de un prototipo de estos.

La idea de tener productos con mejor calidad y con un costo relativamente bajo debería ser de interés para los pequeños productores de la región, que año con año pierden productos que en su época se dan en abundancia y luego se escasean. Debemos aprender a aplicar estas nuevas tecnologías que con poca inversión harán crecer el porcentaje de ganancia. Incluso para uso doméstico es válida la adquisición de un secador solar que haga durar más nuestros productos.

Algunas de las razones por las cuales es importante secar los alimentos son:

- Conservar los alimentos durante muchos meses y consumirlos conservados en períodos de escasez o fuera de temporada.
- Asegurar la calidad de la alimentación de la familia durante todo el año.
- Aprovechar la energía gratis y limpia del sol y la gran cantidad de frutas que todos los años se producen, como mangos, piñas, aguacates entre otras sólo durante algunos meses.
- Generar trabajo. Las frutas y otros alimentos, se pueden secar, guardar adecuadamente y preparar para la venta, de esta manera se puede abrir una nueva fuente de trabajo. La elaboración de frutas secas para consumo directo o en galletitas o en panes es ahora, muy valorado por el azúcar y las vitaminas que poseen.

En Nicaragua se estima que la oferta de frutas deshidratadas oscila alrededor de 20,000 kg anuales. A nivel internacional éstas cantidades se superan por mucho, alcanzando valores de 1,100,000 kg ofertados anualmente.⁽³⁾

Según los reportes del Food Institute Report del mercado estadounidense, la papaya deshidratada tiene buena disponibilidad. Las importaciones de esta fruta en el mercado de EE.UU. entre el 1º de Enero y el 1º de Agosto del 2002 totalizaron poco menos de 2 millones de libras (901.109 kg).

Referente al mango deshidratado, la oferta ha sido muy estable y las ventas continúan subiendo. El mango cortado en cubitos se está volviendo un ingrediente muy popular en mezclas horneadas, aumentando la demanda. La piña deshidratada proveniente de Tailandia ha sido firme, con envíos lentos. No se dispone de datos de volumen ni precios para este producto en el mercado estadounidense.

Según la información de una de las más grandes empresas importadoras de Londres, la "Community Foods of London", el mango deshidratado tiene especialmente una gran oportunidad de crecimiento debido a que los mercados europeos, en su mayoría, son relativamente inexplorados.

Estados Unidos continúa con una tendencia al alza en la importación del mango deshidratado, pero al mismo tiempo, mientras que el mango deshidratado ha incrementado su consumo, las importaciones de frutas deshidratadas convencionales como el coco y la papaya se vieron reducidas en términos de valor⁽⁴⁾.

Nacionalmente no se tienen registros del consumo de productos deshidratados, pero si se sabe que la demanda existe. Entre los sectores que demandan productos deshidratados podemos encontrar a nivel nacional e internacional: Supermercados, Distribuidoras, Restaurantes, Cafeterías, Hoteles, Panaderías, entre otros.

V. OBJETIVOS

Objetivo General

Construir un prototipo de secador solar indirecto por convección natural para el deshidratado de frutas y vegetales en Nicaragua.

Objetivos Específicos

1. Seleccionar un tipo de secador solar.
2. Rediseñar el deshidratador seleccionado.
3. Realizar estudio económico de los costos incurridos en la construcción.
4. Realizar pruebas de validez del prototipo construido.
5. Comparar el deshidratado de banano y cebolla mediante secado directo y en el deshidratador.
6. Calcular la capacidad dinámica del secador solar.

VI. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

VI.1 Energía solar⁽¹⁰⁾

La energía solar es una fuente de energía de origen renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que pueden ayudar a resolver algunos de los problemas más urgentes que afronta la humanidad.⁽⁶⁾

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores térmicos para recolectar la energía. Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.

En 2011, la Agencia Internacional de la Energía se expresó así: "El desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independientemente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costes de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costes para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma sabia y deben ser ampliamente difundidas"⁽⁶⁾.

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030⁽⁷⁾.

VI.1.1 Usos de la energía solar⁽¹²⁾

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad.

El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los denominados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

El calor recogido en los captadores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial.

También, y aunque pueda parecer extraño, otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar es la refrigeración durante las épocas cálidas, precisamente cuando más soleamiento hay. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de una «fuente cálida», la cual puede perfectamente tener su origen en unos captadores solares instalados en el tejado o azotea. En los países árabes ya funcionan a pleno rendimiento muchos acondicionadores de aire que utilizan eficazmente la energía solar.

Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible.

Las «células solares» fotovoltaicas, dispuestas en paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa (por ejemplo para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. La electricidad fotovoltaica generada también se puede inyectar en la red general, obteniendo una buena rentabilidad económica, bien sea por medio de su autoconsumo o mediante su venta, ya que cada vez más países priman tanto a los pequeños como a los grandes productores de electricidad fotovoltaica, dado el beneficio que aporta para el medio ambiente.

Si se consigue que el precio de los módulos solares siga disminuyendo, potenciándose su fabricación a gran escala, es muy probable que, para la tercera década del siglo, una buena parte de la electricidad consumida en los países ricos en sol tenga su origen en la conversión fotovoltaica.

La energía solar puede ser perfectamente complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación.

VI.2 Un método tradicional: SECADO AL AIRE LIBRE⁽¹¹⁾

En Nicaragua tradicionalmente se secan algunos alimentos, tales como: carne vacuna, granos de maíz, maní, café, plantas medicinales, etc., sin ningún equipamiento especial. Se colocan sobre una manta, lona o tablas de madera o se cuelgan por un hilo al aire libre, en el sol o en la sombra -según el producto- aprovechando el calor ambiental.

Este método natural tiene los siguientes inconvenientes:

- El proceso es lento debido a la elevada humedad en el ambiente.
- Muchas veces, los alimentos se secan mal, sobre todo los que contienen un alto porcentaje de agua, y se pudren o se enmohecen.
- Los productos están expuestos al polvo, a insectos y otros animales que pueden deteriorar los alimentos y causar enfermedades al consumirlos.
- En el caso del secado al Sol, se necesita una atención particular para proteger los alimentos de la intemperie (aguaceros, rocío).
- La exposición directa de los alimentos a los rayos solares puede ser perjudicial en cuanto a su calidad (pérdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioletas.

VI.3 La innovación tecnológica: SECAR CON SECADORES SOLARES⁽¹¹⁾

La energía del Sol, se puede utilizar correctamente para beneficio de la salud y para la economía familiar. Para ello, se han creado métodos o procedimientos que aseguran un buen proceso a través de aparatos especialmente diseñados.

En el secador solar los rayos luminosos del Sol son transformados en calor a través del efecto invernadero en un llamado colector solar, que tiene los siguientes elementos:

- Una superficie metálica oscura, preferiblemente de color negro, generalmente orientada hacia la dirección del Sol, que recibe y absorbe los rayos luminosos. El calor producido de esta manera es transferido al aire, que está en contacto con dicha superficie.
- Una cobertura transparente (vidrio o plástico), que deja pasar la radiación luminosa y que evita el escape del aire caliente. Para un mayor rendimiento, algunos modelos de secaderos solares de gran capacidad disponen de un sistema de calefacción combinado. Se usa un combustible o energía eléctrica como fuente de energía auxiliar para los periodos con deficiencia de radiación solar, para los días nublados y para seguir trabajando en horas de la noche.

El proceso de secado se produce por la acción de aire cálido y seco, que pasa por los productos a secar, ubicados generalmente en bandejas en el interior del secadero. De esta forma la humedad contenida en los alimentos se evapora a la superficie de los mismos y pasa en forma de vapor al aire, que los rodea.

Los factores claves para un buen secado son:

1. Aire caliente a una temperatura de 40 a 70°C.
2. Aire con un bajo contenido de humedad.
3. Movimiento constante del aire.

Al calentar aire, que está a la temperatura del ambiente y con un cierto porcentaje de humedad, aumenta su capacidad de absorber vapor de agua. Por cada 20°C de aumento de la temperatura del aire su capacidad de retener vapor de agua se triplica y por consecuencia su humedad relativa se reduce a un tercio.

Para eliminar la humedad de los alimentos, es necesario que el aire que pasa por los productos esté en constante movimiento y renovación. Esta ventilación se puede lograr en forma natural gracias al efecto chimenea o en forma forzada mediante ventiladores, dependiendo del modelo del secadero. Para obtener un buen secado, los productos tienen que ser colocados de tal forma que haya suficiente espacio entre las partes que los componen.

VI.4 Tipos de Secadores Solares⁽¹¹⁾

VI.4.1. Tipo “armario”⁽¹¹⁾

Es un modelo complejo para secar todo tipo de alimentos, especialmente aquellos que necesitan mantener un buen color y proteger sus propiedades naturales. Consiste en una cámara de secado y un colector solar inclinado, unidos entre sí en la parte inferior de la cámara. En ésta se encuentran superpuestas varias bandejas de secado removibles con tejido. Las bandejas están protegidas por una puerta colocada en la pared trasera de la cámara.

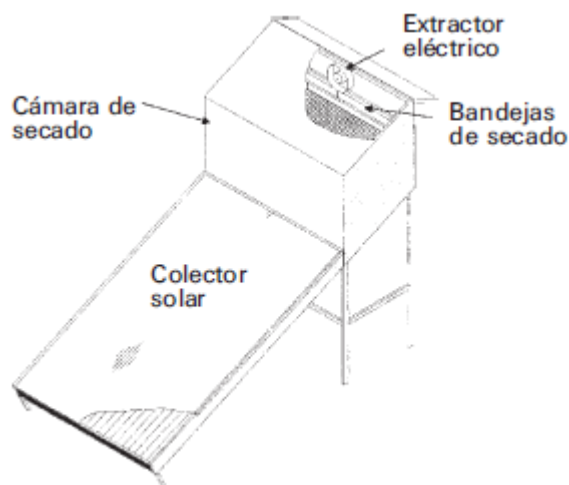


Figura 1: Secador solar tipo armario

El colector está cubierto con vidrio y tiene en su interior una chapa de color negro doblada en zigzag, para aumentar su superficie de intercambio de calor con el aire. El aire ambiental entra por la extremidad inferior del colector, que está cubierta por una malla mosquitero, y se calienta gradualmente hasta una temperatura de 25 a 30°C superior a la temperatura ambiental. Entra finalmente en la cámara, donde atraviesa las bandejas ejerciendo su poder secador. Un extractor eléctrico de aire en la parte superior de la cámara garantiza la buena ventilación del aparato.

VI.4.2. Tipo “carpa”⁽¹¹⁾

Es un modelo sencillo, compacto, liviano, plegable y transportable para secar cualquier tipo de alimento en pequeñas cantidades. Está hecho de una estructura metálica (que puede ser también de madera) de la forma de una carpa triangular, cubierta en gran parte por una lámina de plástico transparente, resistente a los rayos ultravioletas (polietileno larga duración) y puede tener diferentes tamaños.

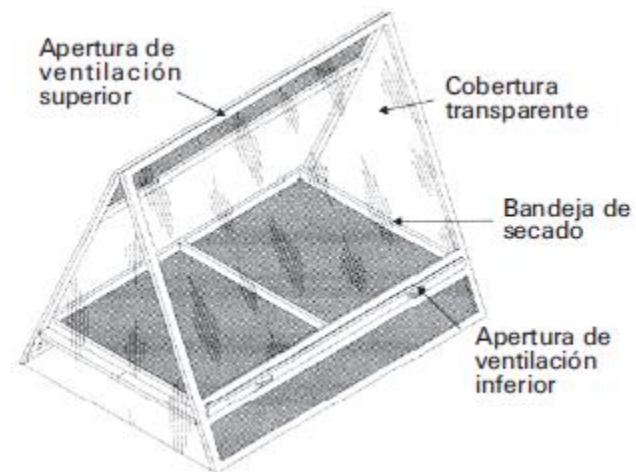


Figura 2: Secador solar tipo carpa

Las aberturas de ventilación están ubicadas abajo, por uno de los lados longitudinales y arriba por el otro, los dos cubiertos de malla mosquetero para evitar el ingreso de insectos. A 20 cm del suelo aproximadamente se encuentra la bandeja de secado removible, consistiendo en un tejido por ejemplo de hilo de nylon. Sobre éste se coloca una gasa o una malla fina sobre la cual se colocarán los productos a secar.

VI.4.3 Tipo “túnel”⁽¹¹⁾

Este modelo sirve para pequeños emprendimientos industriales. Consiste en un túnel horizontal elevado con una base rígida de hierro y una cobertura transparente de lámina de polietileno de larga duración, igual que el tipo carpa. El túnel está dividido en sectores alternantes de colector y secador. Los primeros tienen la función de calentar el aire, que luego en los últimos es utilizado para el secado de los productos en las bandejas.

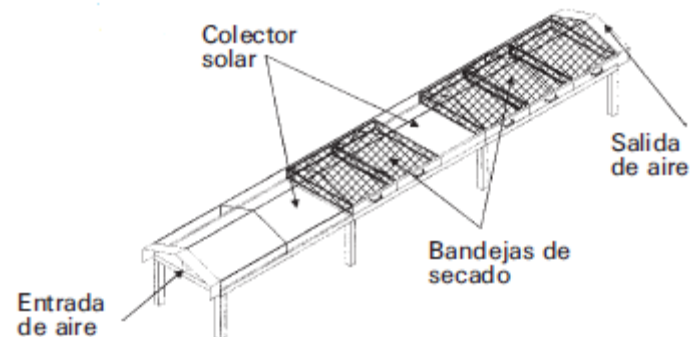


Figura 3: Secador solar tipo túnel

El aire circula en forma horizontal a través de todo el túnel, ingresa por un extremo y sale por el otro, generalmente con la ayuda de un ventilador eléctrico. En sitios sin energía eléctrica está apoyado por una chimenea ubicada en la salida del secadero. El aparato es una construcción modular plana con marco rígido, compuesta de dos chapas, con una capa de aislante térmico. Esta estructura se coloca sobre caballetes.

Las bandejas de secado son removibles y se pueden estirar lateralmente como los cajones de una cómoda. Por la altura relativamente grande de las bandejas es posible secar también productos que ocupan mucho volumen, tales como hierbas

o flores. La entrada y la salida del aire están protegidas con una malla mosquitero para evitar el ingreso de insectos.

El secadero se calienta a una temperatura de 20 a 25°C superior a la temperatura ambiente. Para un mejor aprovechamiento del secadero, se puede agregar un sistema de calefacción auxiliar.

VI.5 Factores que influyen en el tiempo de secado⁽¹¹⁾

El tiempo de secado depende de varios factores. Los más importantes son:

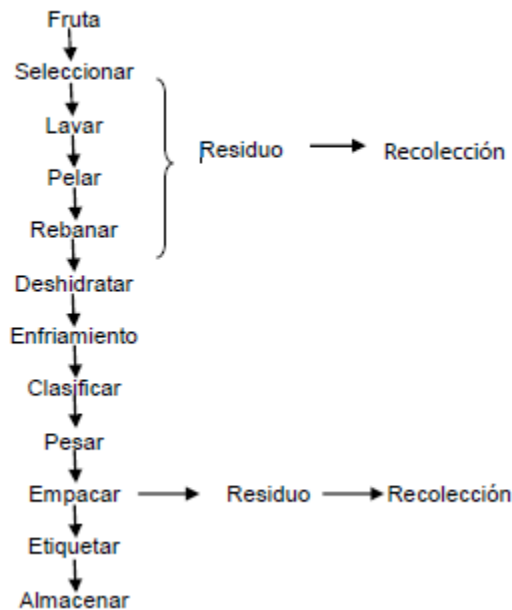
- Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo)
- Tamaño de los trozos del producto (más grande, mayor tiempo)
- Temperatura del aire (más elevada, menor tiempo)
- Humedad relativa del aire (más elevada, mayor tiempo)
- Velocidad del aire (más elevada, menor tiempo)

VI.6 Pasos principales para secar alimentos⁽¹¹⁾

- 1. Seleccionar (Primera Vez):** Separar los productos en buen estado y descartar los productos en mal estado, muy maduros o con manchas.
- 2. Lavar (Primera vez):** Con agua limpia para limpiar la suciedad de la superficie de los productos a secar.
- 3. Seleccionar (Segunda vez):** Cortar con un buen cuchillo todas las partes inservibles del producto: cáscara, restos de raíz, tallo, semillas y las partes descompuestas, lastimadas o inmaduras, etc.
- 4. Cortar:** Según el producto y la presentación deseada, cortar en forma de cubos, trozos, rodajas o tiras. En todos los casos el espesor de los pedazos no debe pasar los 0,5 a 1 cm de grueso, para favorecer un secado adecuado.
- 5. Lavar (Segunda vez):** Por segunda vez con abundante agua para eliminar cualquier suciedad, cáscara que pueda haber.
- 6. Pretatar:** Según el tipo de producto se aplicarán diferentes tipos de pretratamientos tales como blanqueado, baño en jugo de limón, salado, baño en solución de metabisulfito de sodio o potasio, etc.
- 7. Secar:** Colocar los productos preparados sobre los tamices de secado en capas delgadas y regulares. Es preferible poner los productos a secar bien temprano a la mañana, para extraer la mayor cantidad de agua durante el primer día. Durante el secado se debe controlar regularmente los productos. Al finalizar el secado, retirar los productos del secadero.

- 8. Seleccionar (Tercera Vez):** Antes de envasarlos separar aquellas partes mal secadas o quemadas.
- 9. Envasar:** Después del secado los productos tienen que ser envasados rápidamente, para que no vuelvan a humedecerse por la humedad del ambiente. Para el efecto se pueden utilizar recipientes de plástico, cajas o latas herméticas de metal o bolsas de polipropileno (no polietileno), que se tienen que sellar con vela o una máquina selladora. Etiquetar cada recipiente con los siguientes datos: contenido, peso, fecha de envasado. Es muy importante dejar unos paquetes o frascos en cantidad de “testigos” para conocer su duración y en los próximos secados, coloca este dato como una importante información nutricional que los consumidores apreciarán mucho.
- 10. Almacenar:** Para la buena conservación de los productos secos, debe almacenarlos en buenas condiciones:
- Guardar los productos en un lugar seco, aireado, si es posible fresco y protegido de la luz.
 - Este lugar debe ser limpio y protegido de insectos y ratones.
 - Cada cierto tiempo, hay que controlar el estado de los productos.
 - No depositar los productos almacenados en el suelo ni contra las paredes para evitar el riesgo de absorber humedad.
 - Si los productos secos son de buena calidad y están en buenas condiciones de almacenado pueden conservarse durante muchos meses.

PROCESO



VI.7 Evaluación del fin de secado⁽¹¹⁾

El criterio más importante para definir el fin del secado es el contenido residual de humedad, que no tiene que superar los valores indicados en la tabla 6 de anexos. Podemos determinar el momento justo para finalizar el secado a través de la evolución de la masa de una muestra de producto que se está secando. Para el efecto se requiere una balanza de precisión y realizar los cálculos utilizando las fórmulas que a continuación se describen.

$$Hf = \frac{(Mf - Pms)}{Pf} \times 100\% \quad (1)$$

$$R = \frac{(100\% - Hf)}{(100\% - Hs)} = \frac{Ms}{Mf} \quad (2)$$

$$Ms = R \times Mf \quad (3)$$

Ms= Masa seca

Hf = Humedad fresca en %

Mf = Masa fresca

Hs = Humedad seca en %

Pms= Peso materia seca

R = Rendimiento

VI.7.1 Procedimiento para evaluar el correcto secado de los productos

1. Determinar la humedad fresca del producto utilizando el valor de la tabla o secando una muestra del producto en un horno eléctrico a temperatura constante (50 a 70°C), midiendo la masa de la muestra cada 30 minutos, hasta que no se observe más ninguna reducción de masa. En este momento se puede considerar, que el producto perdió la totalidad de su agua y queda solamente la materia seca (Pms).
2. Calcular la Humedad fresca (Hf) usando la fórmula (1).
3. Calcular con la fórmula (2) el rendimiento (R), que va a ser un valor constante para cada tipo de producto.
4. Se elige una muestra del producto fresco que se va secar y se le mide la masa (Mf). Anotar el valor en una tabla.
5. Calcular con la fórmula (3) la masa seca (Ms) que corresponde a la Humedad seca (Hs) recomendable.
6. En el transcurso del secado (por ejemplo cada 2 horas) medir masa de la misma muestra y anotar los valores correspondientes en mencionada tabla. Continuar el secado hasta que la Ms medido corresponde a la Ms calculada.
7. Para hierbas medicinales y aromáticas que contienen poca agua el punto de fin de secado se determina sencillamente por la textura del producto. Cuando se trata

de hojas, el secado ha terminado, cuando las hojas se separan del tallo y se quiebran con facilidad.

VI.8 Utilización de los productos secos⁽¹¹⁾

a) Frutas: Se pueden comer directamente como meriendas o suplementos de dietas. Agregar en la preparación de panes dulces en vez de frutas brillantadas que contienen aditivos químicos.

Al rehidratarlos con agua, leche o yogur se pueden comer como ensalada de fruta o compota. Se pueden mezclar con cereales para la preparación de granola. La banana seca, se puede comer sola como un valioso alimento a cualquier hora. Las frutas secas pueden ser consumidas directamente como “aperitivo golosinas”. Es posible también rehidratarlas en agua fría durante 30 minutos.

b) Hortalizas: Utilizar en la preparación de caldos de verduras, agregándolos directamente en el agua de cocción. Se pueden también utilizar en la preparación de guisos o salsas rehidratándolas en agua previamente. Trituradas o molidas se pueden utilizar como condimento en salsas o ensaladas

c) Plantas medicinales y aromáticas: Se utilizan como remedio y/o condimento en la forma habitual o en preparaciones farmacológicas.

d) Carnes: Comer directamente como “charque”, en meriendas, suplementos de dietas, o con las comidas. Utilizar en la preparación de caldos agregándolos directamente en el agua. Utilizar en la preparación de guisos o salsas rehidratándolas en agua previamente.

De manera general, los productos secos pueden reemplazar a todos los productos frescos en sus recetas de cocina diaria. Para utilizar los productos secos, debe remojarlos en una pequeña cantidad de agua para rehidratarlos. El tiempo de remojo es variable según el producto seco y según se use agua tibia o caliente. En la Tabla 9 de anexos se presentan las equivalencias cantidades de producto seco que rinden por producto fresco.

VII. Metodología Experimental

De manera general todo secador solar tiene dos partes un calentador solar de aire y una cámara de secado. Tras consultar en internet diferentes modelos se decidió escoger un secador indirecto tipo armario dado la disponibilidad de recursos.

Se realizó un rediseño del modelo seleccionado. Este se ensambló en el taller de las cocinas ECOFOGON, contando con la mano de obra de los ayudantes de dicho taller. Los materiales utilizados fueron todos aportados por el dueño de las cocinas ECOFOGON y cabe mencionar que todos fueron materiales reutilizados. Se realizó una aproximación de los costos de los materiales utilizados, de acuerdo al precio actual de estos en el mercado.

Se realizaron pruebas con diferentes productos como mango, cebolla, piña y banano, para conocer tanto fallas de construcción como ubicación óptima del secador. Por falta de espacio se ubicó sobre el techo del taller, el cual es de zinc.

En total se llevaron a cabo tres pruebas, con tres productos por separado, no se escogió un tipo específico de corte para cada producto dado que no se quería producto terminado si no simplemente determinar temperatura, humedad relativa y velocidad de viento dentro del deshidratador con producto. En las pruebas se dejaron los productos dentro del secador durante dos o más días, entre el 5 y 16 de agosto del año 2013. Las mediciones que se realizaron en estas pruebas fueron peso del producto al inicio y al final de cada prueba y temperatura y humedad relativa dentro del secador. Los productos se retiraban cuando a simple vista estaban deshidratados.

Al revisar los resultados la temperatura alcanzada dentro de la cámara de secado estaba dentro de los rangos recomendados, los productos se mantenían protegidos de contaminación, lluvias e insectos.

Al confirmar que el secador solar estaba bien se utilizó para el deshidratado de tres productos simultáneamente, esto se realizó con el objetivo de determinar la curva de secado del deshidratador para cada uno de los productos y el comportamiento de la temperatura, al mismo tiempo se deshidrataron los productos directamente bajo el sol para comparar la pérdida de peso en ambas condiciones. Se calculó el peso seco de cada uno.

Las condiciones climatológicas, irradiancia y temperatura del ambiente para cada una de las pruebas se obtuvieron de datos obtenidos de la página de la NASA⁽⁵⁾.

En la parte experimental se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- ✓ Secador solar indirecto de convección natural
- ✓ Balanza
- ✓ Cuchillos
- ✓ Medidor de Temperatura y humedad relativa
- ✓ Producto alimenticio a secar: piña, cebolla, banano.

El procedimiento para operar el secador solar fue:

1. Determinar la masa inicial del producto.
2. Con base a datos meteorológicos de la región de León se conoció la temperatura, humedad relativa, irradiancia solar, velocidad de viento y temperatura de la tierra en la fecha de realización de las pruebas.
3. Se cargó las bandejas con el producto a secar.
4. Para las pruebas de validez se utilizó un periodo de secado de 2 a 3 días. En la cuarta prueba se usó intervalos de pérdida de peso y de temperatura a la entrada y salida de la cámara de 90 minutos durante 6 horas para los cálculos y gráficas.
5. Se calculó la masa seca de cada uno de los productos.
6. Con los datos obtenidos se elaboraron curvas de pérdida de peso del producto, y temperatura a la entrada de la cámara e irradiación contra el tiempo.

Para la realización de las mediciones se utilizaron los siguientes equipos: Anemómetro marca BARIGO, Medidor de temperatura y humedad relativa de marca Easylog USB, Balanza analógica marca Vikingo con capacidad de hasta 10 Kg x 50 g.

VIII. Resultados y análisis.

VIII.1 Selección y rediseño del deshidratador solar.

En esencia un deshidratador solar es un aparato que aprovecha la energía solar para calentar aire, provocando por convección, una corriente de aire caliente que pasa entre los productos colocados en su camino, secándolos, y arrastrando la humedad al exterior por una chimenea o abertura. Hay variedad de modelos y sistemas, pero todos contienen las mismas partes fundamentales, un calentador solar de aire y una cámara de secado a la que el aire caliente accede por convección, saliendo por una chimenea u orificio situado en la parte superior de la cámara⁽¹¹⁾.

Se seleccionó un secador solar de tipo armario, sin extractor de aire. En la parte del calentador no se pintó de negro el fondo; al principio por falta de recursos pero después de realizarse pruebas se encontró que la temperatura alcanzada, aun cuando las pruebas se realizaron tanto en meses no lluviosos como lluviosos, se lograba alcanzar 50°C, temperatura que se encuentra dentro del intervalo recomendado. Sus dimensiones se obtuvieron de un modelo encontrado en internet en la página <http://comohacer.eu/como-construir-un-deshidratador-solar/>.

Después de valorar los recursos y la comparación con otros modelos resulto ser el más accesible económicamente y de fácil construcción. Este se puede observar en la figura 4.

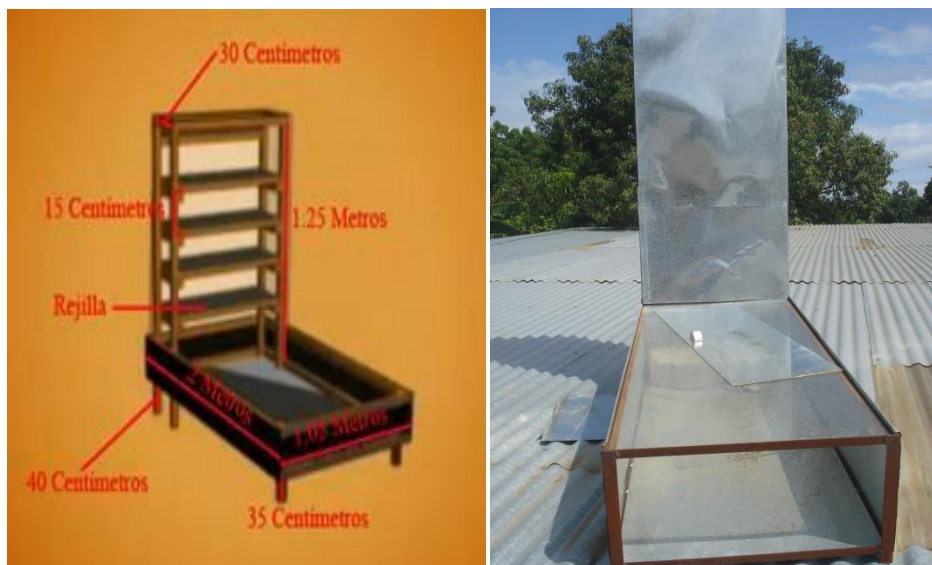


Figura 4: Prototipo de secador solar⁽¹³⁾

Sus partes principales son:

- **Bandejas:** Estas tiene una superficie de 0.3 m^2 cada una. El secador posee 5 bandejas por lo que la superficie total es de 1.5 m^2 .

La bandeja utilizada fue de malla de 1/8 que es de fácil limpieza, pues con frecuencia las hortalizas desprenden jugos que se pegan a la bandeja y que aguanta como mínimo 70°C sin deformarse, pues esa es la temperatura que puntualmente se puede alcanzar en el interior del aparato.

- **Cámara de secado:** La cámara debe situarse a cierta altura, para permitir que la salida superior del calentador quede a la misma altura que la base de la cámara, por lo que se construyó sobre un pedestal de 40 cm de alto.

La altura que alcanza la cámara es de 1.25 m. Con ella las bandejas quedan con una separación de 15 cm que resulta cómoda para meter y sacar las bandejas sin dificultad. El material de la cámara y el pedestal son zinc liso. La cámara es hermética a los insectos, pues el olor que va a desprender el secador atraerá indefectiblemente a insectos y roedores.

La cámara tiene en la parte inferior una abertura donde se conecta el calentador solar y en la superior otra donde sale el aire caliente y una puerta de vidrio en uno de los costados que permite introducir y sacar las bandejas pero lo suficientemente segura de modo que evita la entrada de insectos.

- **Calentador solar:** El calentador solar es un compartimento alargado con la parte superior formando un cierto ángulo con el suelo, de forma que más o menos resulta perpendicular a los rayos del sol. Este tiene una altura de 40 cm en la parte superior, tiene vidrio por encima y está hecho de zinc liso. Este abarca un volumen de 3.5 m^3 . El calentador se colocó durante las pruebas en dirección norte – sur y sobre el techo de una casa con una inclinación de aproximadamente 40°C .
- **Salida del aire caliente:** Es una apertura en un costado en la parte superior de la cámara.

Al realizar las pruebas se validó el modelo pues se lograba el objetivo de deshidratar los alimentos. La cámara de secado logró alcanzar temperaturas de hasta 50°C , con HR entre 20% y 80%.

VIII.2 Análisis económico de costo

Los materiales utilizados para la fabricación del deshidratador solar fueron proporcionados por el señor Juan Gutiérrez propietario de Cocinas ECOFOGON, pero previo a eso se realizó un análisis económico de los precios de dichos materiales para conocer los costos en que se incurriría al fabricar el secador solar, dichos costos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 2: Análisis económico de costo

Gasto de transporte a Cocinas Mi fogón y materia prima				
DESCRIPCIÓN	FECHA	COSTO	CANTIDAD	TOTAL
Transporte a empresa para toma de muestras	Del 01 de marzo 2013 al 25 de octubre 2013	40	15	600
Materia prima a Secar		100	2	200
Otros Gastos		300	1	300
			TOTAL C\$	1,100

Gasto de construcción de secador solar				
DESCRIPCIÓN	FECHA	CANTIDAD	COSTO (C\$)	TOTAL (C\$)
Angulares de 1 pulgada	10/02/13	5	225	1,125
Láminas de zinc lisa N° 26	10/02/13	2	425	850
Varillas de ¼	10/02/13	6	30	180
Platinas de ½"	10/02/13	4	175	700
Malla de ¼ (Yardas)	10/02/13	4	60	240
Vidrio de 1mt por 50 cm	10/02/13	1	150	150
Vidrio de 75 por 25 cm	10/02/13	1	75	75
Remaches	10/02/13	100	0.65	65
Mano de obra	10/02/13	1	1660	1,660
			TOTAL C\$	5,045

TOTAL GASTOS C\$	6,145
-------------------------	--------------

Cualquier mejora o modificación pueden ser agregados a este análisis y así tener una idea más precisa del presupuesto que ha de tenerse disponible para construir uno similar.

VIII.3 Prueba de validez 1: Secado de cebolla

Se utilizaron 4.5 libras de cebolla amarilla. Se pelaron con un cuchillo y se cortaron con una cuchilla especial con la que se lograron partes aproximadamente iguales y muy delgadas. Una vez limpias y cortadas resultaron 3 libras.

Se colocaron en el secador solar a las 9:30 am del día lunes 5 de agosto del 2013. Dejándose durante dos días hasta el 7 de agosto a las 5:00 pm. Las condiciones climatológicas en la región en este periodo tomadas de la Tabla 8 de anexos fueron Temperatura de 25.5°C, Humedad Relativa 78.5%, velocidad de viento de 3.8 m/s e irradiancia solar de 5.75Kwh/m²/d.

Al retirar las cebollas deshidratadas se obtuvo una masa de 0.2 libras. El rendimiento para este producto utilizando la ecuación (2) resulta en

$$R = \frac{(100\% - 80\%)}{(100\% - 4\%)} = 0.20833$$

y su masa seca calculada con la ecuación (3) sería de

$$M_s = R \times M_f = 0.20833 \times 3 \text{ lb} = 0.625 \text{ lb.}$$

Lo cual nos indica que esta cantidad de cebolla dura menos de dos días en el secador solar para considerarse masa seca.

Las características observadas después del secado fueron: aspecto físico oscuro, duras al tacto y el olor se conservó. Las condiciones durante el secado de temperatura y humedad relativa dentro del secador se muestran en la siguiente gráfica.

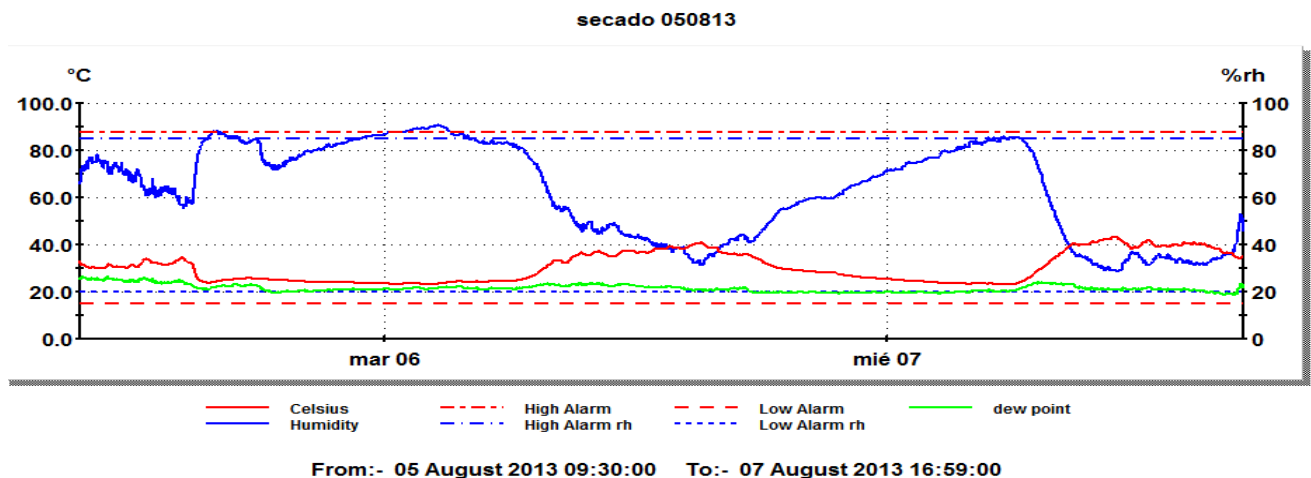


Figura 5: Temperatura y Humedad Relativa dentro de la cámara del secador en el periodo 05/08/13 al 07/08/13

VIII.4 Prueba de validez 2: Secado de piña

Se utilizaron tres piñas pequeñas. Se pelaron y cortaron con un cuchillo por lo que no se consiguió tener partes homogéneas ni muy delgadas. Al pesarse el producto limpio y cortado se obtuvo 1.5 libras. La piña se dejó durante cuatro días en el secador, del 09/08/13 al 13/08/13. Las condiciones climatológicas para la región en este periodo son las mismas que para la prueba anterior.

Al retirarse el producto se obtuvieron 0.2 libras. Es decir la fruta perdió 1.3 libras. La piña cambio de color pero su sabor y olor se mantuvieron.

El rendimiento para este producto según la ecuación (2) es

$$R = \frac{(100\% - 85\%)}{(100\% - 15\%)} = 0.17647$$

Y su materia seca según la ecuación (3) resulta en

$$Ms = R \times Mf = 0.1764 \times 1.5 \text{ lb} = 0.26 \text{ lb}.$$

La temperatura máxima alcanzada en el periodo de deshidratación fue de aproximadamente 50°C. La humedad relativa estuvo por encima del 50%. A continuación se presenta su gráfica.

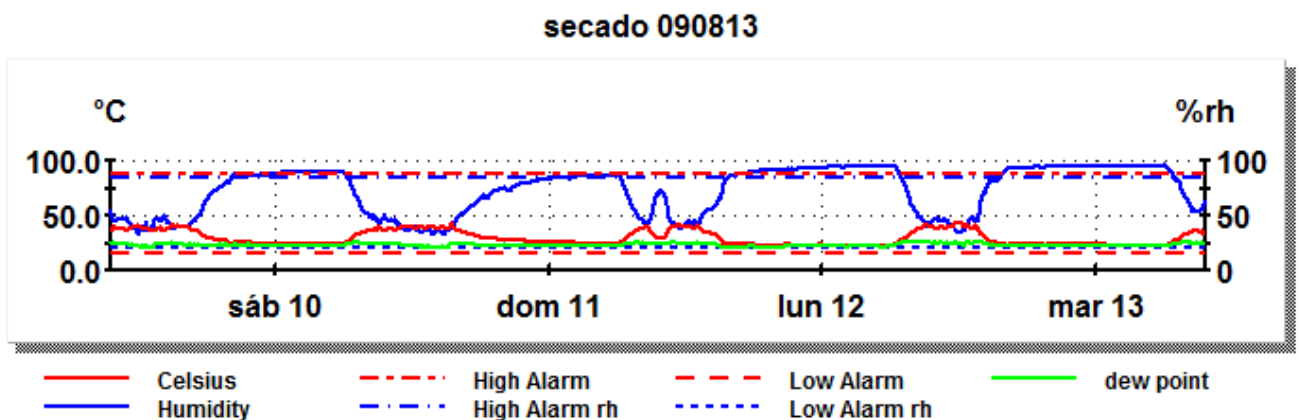


Figura 6: Temperatura y Humedad Relativa en la cámara del secador en el periodo 09/08/13 al 13/08/13

VIII.5 Prueba de validez 3: Secado de banano

La tercera prueba se realizó con 15 bananos en buen estado. Se pelaron y cortaron por la mitad, que al final resultó en 2.5 libras.

El banano se dejó durante tres días del 13/08/13 al 16/08/13. Las condiciones climatológicas para la región durante este periodo se mantienen igual que en las dos pruebas anteriores.

El producto seco tenía una masa de aproximadamente 0.30 libras. Las características físicas de los bananos se alteraron ya que se oscureció, cabe aclarar que no se aplicó ningún tipo de tratamiento en las pruebas a los productos a deshidratar.

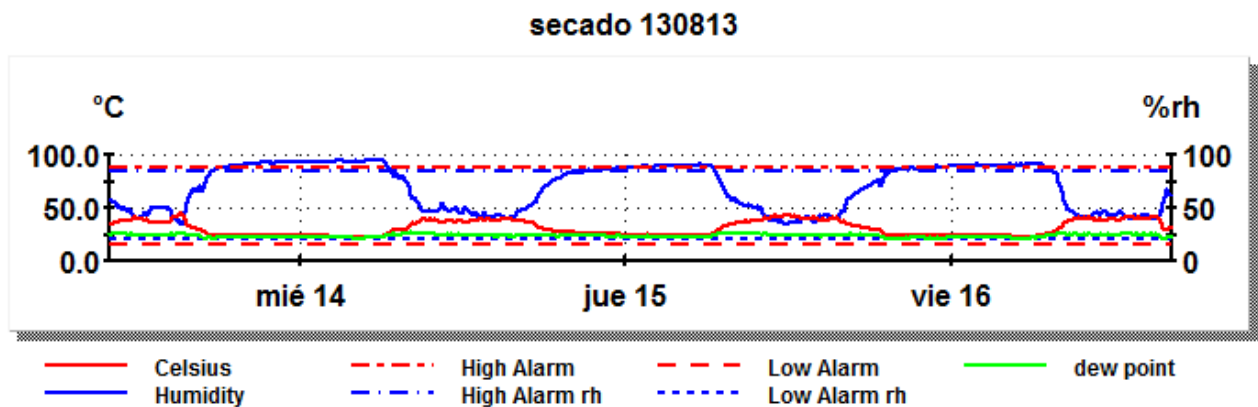
El rendimiento para este producto según la ecuación (2) es de:

$$R = \frac{(100\% - 80\%)}{(100\% - 15\%)} = 0.2353$$

Y su masa seca según la ecuación (3) es de:

$$M_s = 0.2353 \times 2.5lb = 0.59 lb.$$

La temperatura y humedad relativa dentro del deshidratador en el tiempo de secado se muestran a continuación.



From:- 13 August 2013 10:00:00 To:- 16 August 2013 16:11:00

Figura 7: Temperatura y Humedad Relativa en la cámara de secado en el periodo del 113/08/13 al 16/08/13

Después de realizadas las tres pruebas de validación se hizo un último ensayo con tres productos simultáneamente dentro del secador

VIII.6 Comparación de secado directo y en el deshidratador de banano y cebolla.

La cuarta prueba se realizó con el objetivo de determinar las curvas de pérdida de masa de los productos en prueba y así conocer la capacidad dinámica del deshidratador. También se secó productos con irradiación directa para comparar la pérdida de peso en ambas condiciones. Se midieron temperatura y humedad relativa a la entrada y salida del secador y dentro del secador. Se analizaron las características físicas de los productos tanto por irradiación indirecta como directa para evaluar en cual se obtiene mejor calidad.

Las condiciones climatológicas para esta prueba corresponden a las del mes de Octubre de la Tabla 8 de anexos.

Tabla 3: Masa en gramos de los productos en el deshidratador

Hora	Piña	Banano	Cebolla
9:00	32.3	37.25	8.2
10:30	27	34	6
11:30	22.5	31.5	4.1
1:30	17.6	26.2	2.7
2:30	14.1	25.9	2.1
3:30	11.9	24.5	1.9
4:30	10.8	23.8	1.9

Tabla 4: Masa en gramos de los productos deshidratados con irradiación directa.

Hora	Piña	Banano
9:00	34	61.5
10:30	30.5	57.4
11:30	25.5	53.1
1:30	20.4	48.8
2:30	17.2	43.2
3:30	15.3	40.8
4:30	14.5	39.8

De los datos anteriores se obtienen las curvas de pérdida de masa para cada uno de los productos deshidratados mediante contacto directo y en el deshidratador.

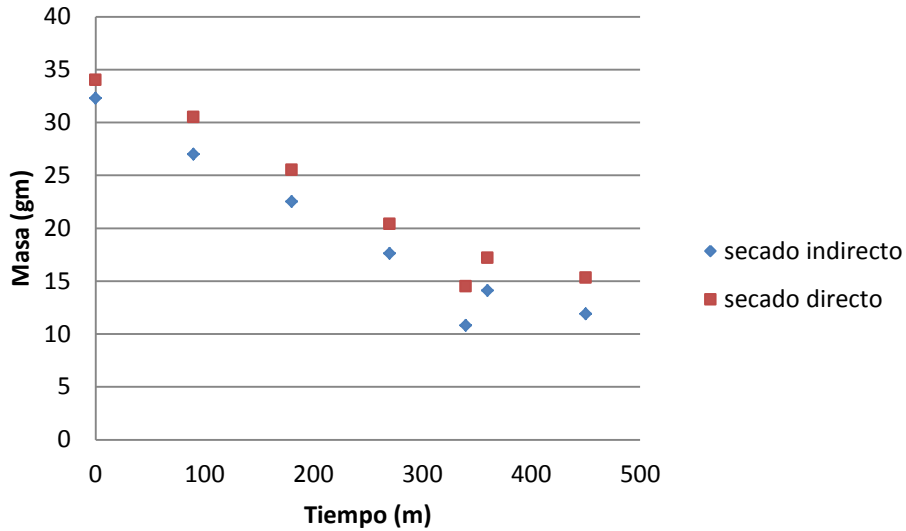


Figura 8: Curva de pérdida de masa de la piña mediante secado directo y en el deshidratador

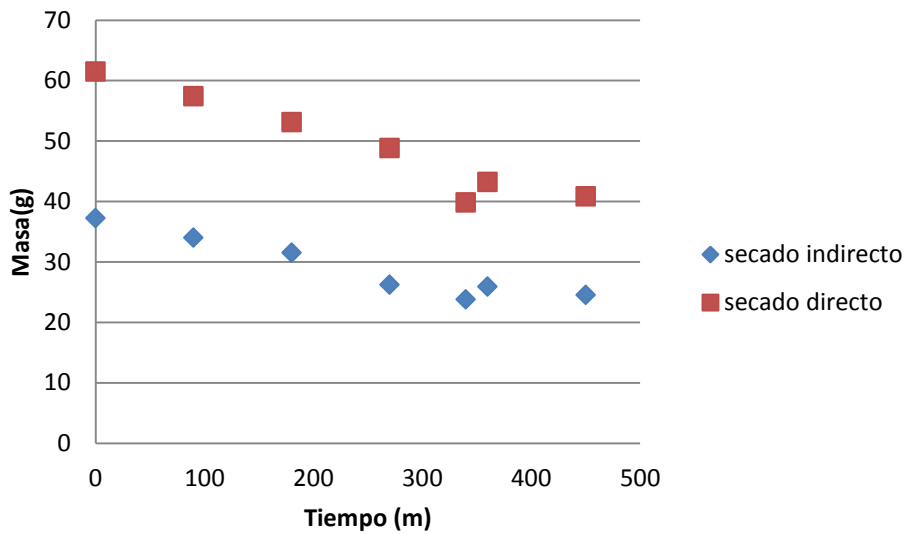


Figura 9: Curva de pérdida de masa de banano mediante secado directo y en el deshidratador

Se puede observar que mediante contacto directo y en el deshidratador la pérdida de masa presenta la misma tendencia.

La capacidad dinámica del secador se calculó mediante la siguiente ecuación

$$CD = \frac{p_i - p_f}{\theta_s} \quad (4)$$

Para el banano: $CD = \frac{37.25g - 23.8g}{6h} = 2.24 \text{ g/h}$

Esto quiere decir que la fruta perdió 2.24 g por cada hora. Si el rendimiento para este producto según cálculos anteriores es de 0.2353 y la masa seca es de $8.76 \text{ g} = 0.2353 \times 37.25 \text{ g}$, el producto debe perder 28.49 g y para eso se necesitan $12.72 \text{ h} = 28.49 \text{ g} \div 2.24 \text{ g/h}$

Para la piña: $CD = \frac{32.3g - 10.8g}{6h} = 3.58 \text{ g/h}$

Esto quiere decir que la piña perdió 3.58 g por cada hora. Si el rendimiento para este producto según cálculos anteriores es de 0.17647 y la masa seca es de $5.7 \text{ g} = 0.17647 \times 32.3 \text{ g}$, el producto debe perder 26.6 g y para eso se necesitan $7.4 \text{ h} = 26.6 \text{ g} \div 3.58 \text{ g/h}$

Para la cebolla: $CD = \frac{1.9g}{6h} = 1.8 \text{ g/h}$

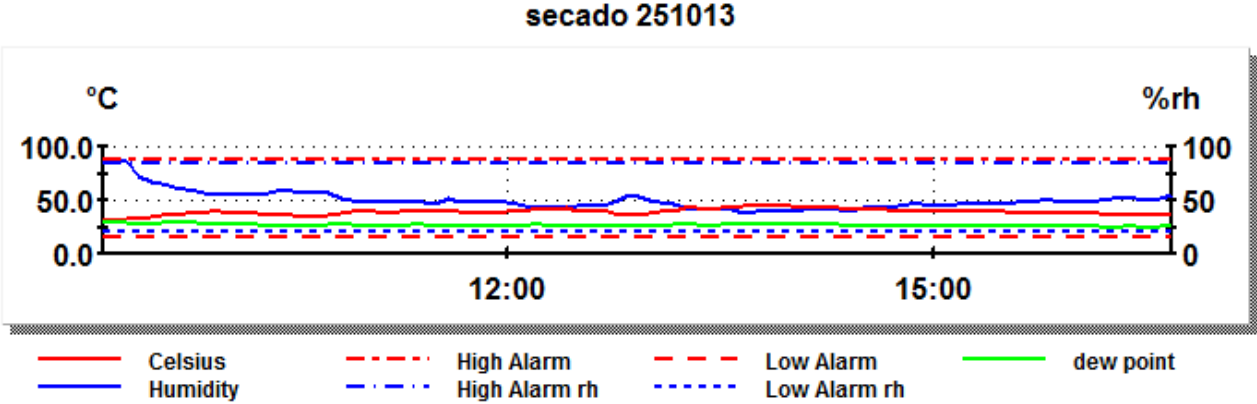
Esto quiere decir que la cebolla perdió 1.8 g por cada hora. Si el rendimiento para este producto según cálculos anteriores es de 0.20833 y la masa seca es de $1.7 \text{ g} = 0.20833 \times 8.2 \text{ g}$, el producto debe perder 6.5 g y para eso se necesitan $3.6 \text{ h} = 6.5 \text{ g} \div 1.8 \text{ g/h}$

La siguiente tabla muestra el comportamiento de la temperatura y humedad relativa a la entrada y salida del deshidratador.

Tabla 5: Temperatura y Humedad relativa a la entrada y salida del deshidratador

Hora	Entrada del deshidratador		Salida del deshidratador	
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
9:00	46	41	41.5	43
10:30	34	60	34	60
11:30	41.2	46	39	49
1:30	40.2	48	38.2	48
2:30	36.8	51	36.2	52
3:30	35	55	35.6	55
4:30	33.2	58	32.9	59

Podemos observar que la temperatura es generalmente más baja en la salida que en la entrada y esto se debe a que el aire que circula se enfría a medida que pasa por los productos, debido al intercambio de humedad.



From:- 25 October 2013 09:10:00 To:- 25 October 2013 16:40:00

Figura 10: Temperatura y Humedad Relativa en la cámara del secador.

IX. Conclusiones

El presente documento describe el estudio de un prototipo de secador solar experimental para pruebas, éste puede ser utilizado como base para que se diseñen secadores adecuados a cada necesidad que estará condicionado por la cantidad de material a deshidratar, materiales de construcción accesibles y habilidad manual para la construcción del aparato.

El resultado obtenido fue bastante satisfactorio. Se realizaron pruebas utilizando banano, piña y cebolla. El tiempo de secado fue en promedio de dos días, este tiempo depende de lo soleado que esté el día, del tamaño de los cortes, de la humedad relativa en el ambiente y de la velocidad de viento. La calidad del deshidratado fue bastante buena a pesar de no realizar ningún tratamiento en cuanto al proceso de preparación de los alimentos para el deshidratado.

Las duraciones de los períodos de secado varían de un secador a otro y de un producto a otro, de tal forma que es en la práctica donde se fijan estos valores. Al disminuir la cantidad de humedad a evaporar también disminuye el tiempo de secado; otra opción de disminuir el tiempo de secado es la de aumentar la energía térmica, para que aumente la temperatura del aire y así aumente la tasa de transferencia del calor necesario para evaporar la humedad del producto. Si se quiere disminuir el tiempo de secado se debe tener cuidado de que la temperatura del aire no sea demasiado alta, ya que puede ocasionar daños al producto a secar.

El costo del prototipo construido es de C\$ 5045. Lo cual es relativamente bajo comparado con los beneficios que se tiene al utilizar este tipo de aparatos.

El deshidratado de los productos al aire libre presenta la misma tendencia comparado con el deshidratado dentro del secador en las pruebas realizadas, pero las ventajas como higiene, protección de los productos de la lluvia y de roedores o insectos que puedan dañar los productos hacen que el deshidratado dentro del secador este siempre por encima del secado al aire libre.

La capacidad dinámica del secador solar depende del producto a deshidratar y de las condiciones climáticas. En las pruebas realizadas se obtuvieron de 2.24 g/h para el banano; 3.58 g/h para la piña y 1.8 g/h para la cebolla.

X. Recomendaciones

El diseño de secador solar estudiado en este documento puede ser utilizado en escuelas de educación media y como un excelente vehículo para la enseñanza y motivación en el área de ciencias, explicando los fenómenos físicos en los cuales se basa su funcionamiento y promoviendo la educación ambiental.

Existen muchos diseños que se pueden implementar dependiendo de los requerimientos de las personas, este puede ser utilizado de base para la construcción de otros que se adecuen a las necesidades, como por ejemplo de mayor capacidad, con un colector más amplio o con otros materiales que se tengan a mano.

Se puede completar el estudio, cubriendo áreas no estudiadas que dependerán de las aplicaciones que se le quieran dar a los productos deshidratados, por ejemplo:

- Realizar un estudio con instrumentos más precisos.
- Agregar otros productos y diferentes cortes.
- Ampliar el tiempo de análisis.
- Pretratar los productos lo cual aumentara la cantidad de agua que contienen y por lo tanto variara el tiempo de secado.

XI. Referencias Bibliográficas.

(1) Autores Varios, 1964 "Enciclopedia Ilustrada Cumbre". Editorial Cumbre, S.A. México.

(2) Castellón López J.A., Espinoza Vanegas W.L., 2009; "Validación del uso de un secador Solar de Café pergamino, en fincas de pequeños productores del municipio de San Rafael del Norte". UNI – NORTE, Nicaragua, Trabajo de monografía para optar al título de Ingeniero Agroindustrial.

(3) Cordero Rizo E., Urbina T.V., 2011; "Validación del uso de un deshidratador solar de frutas y hortalizas en el municipio de Matagalpa". UNAN Managua – FAREM Matagalpa, Protocolo de investigación.

(4) Subgerencia de desarrollo agropecuario, 2002. Dirección de mercadeo y agroindustria, Servicio de información de mercados.

(5) <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=12.93&lon=-86.61&submit=Submit>

(6) «Solar Energy Perspectives: Executive Summary» (PDF). International Energy Agency (2011). Archivado desde el original el 3 de diciembre de 2011.

(7) <http://www.greenpeace.org/espana/es/news/la-energ-a-solar-puede-dar-ele/>

(8) A. Sharma, C.R. Chen y Nguyen Vu Lan. "Solar energy drying systems: A review". Renewable and sustainable energy reviews, vol 13 (2009), pp. 1185 – 1210.

(9) A. A. El-Sebaili y S.M. Shalaby. "Solar drying of agricultural products: A review". Renewable and sustainable energy review, vol 16 (2012), pp. 37-43.

(10) http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar

(11) Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes, Fundación Celestina Pérez de Almada, Asunción, Paraguay, 2005.

(12) <http://www.censolar.es/menu2.htm>

(13) <http://comohacer.eu/como-construir-un-deshidratador-solar/>

XII. ANEXOS

Tabla 6: Contenido de humedad de algunos productos y temperatura máxima tolerable.

PRODUCTO	FRESCO (%)	SECO (%)	°C
Granos			
Arroz	24	14	50
Maíz	35	15	60
Poroto	70	5	n/d
Maní	40	9	n/d
Café	50	11	n/d
Tubérculos			
Papa	75	13	55
Mandioca	62	13	n/d
Batata	80	13	70
Hortalizas			
Arveja	80	5	60
Cebolla	80	4	55
Hortalizas en hojas	80	10	50
Tomate	95	8	65
Repollo	94	4	55
Zanahoria	70	5	60
Ajo	80	8 a 10	55
Frutas			
Durazno	85	18	n/d
Manzana	84	14	50
Banana	80	15	70
Guayaba	80	7	n/d
Uva	80	15 a 20	55
Mango	85	12 a 15	65
Mamón	85	2 a 15	65
Pescado (sin salar)	80	15	40
Pescado (salado)	8018	35 a 45	40

Tabla 7: Datos generales de la región

	Unidad	Datos de climas locales
Latitud	°N	12.93
Longitud	°E	-86.61
Elevación	m	285
Calefacción temperatura de diseño	°C	20.39
Refrigeración temperatura de diseño	°C	32.39
Amplitud térmica de la tierra	°C	10.65

Tabla 8: Datos de temperatura, Humedad Relativa, irradiancia solar, presión atmosférica, velocidad de viento y temperatura de la tierra en el año 2013.⁽⁵⁾

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Irradiancia solar	Presión Atmosférica	Velocidad de viento	Temperatura de la tierra
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C
Enero	25.4	62.2%	5.55	98.0	5.7	26.4
Febrero	26.5	56.8%	6.06	98.0	5.1	28.3
Marzo	27.7	53.0%	6.69	97.9	4.5	30.6
Abril	28.4	54.3%	6.52	97.9	3.7	31.8
Mayo	26.9	70.7%	5.77	97.9	3.4	28.8
Junio	25.6	80.5%	5.69	97.9	3.6	26.4
Julio	25.5	78.1%	5.78	98.0	4.4	26.0
Agosto	25.5	78.5%	5.75	98.0	3.8	26.1
Septiembre	25.2	81.1%	5.36	97.9	3.2	25.9
Octubre	24.9	80.2%	5.27	97.9	3.7	25.4
Noviembre	24.7	75.4%	5.24	97.9	4.5	25.0
Diciembre	24.9	68.2%	5.33	98.0	5.7	25.4
Anual	25.9	69.9%	5.75	97.9	4.3	27.2

Tabla 9: Equivalencias para determinar las cantidades a utilizar de producto seco por producto fresco.

Masa Producto Seco	Producto	Equivalencia Masa producto fresco
100 g.	Cebolla, repollo, zanahoria, berenjena, mango, banana, mamón	1 kg
50 a 75 g.	Tomate seco	1kg
125 g.	Chaucha	1 kg
150 a 250 g.	Papa, mandioca, batata	1 kg



Figura 11: Preparación y pesaje de cebolla a deshidratar



Figura 12. Cebolla deshidratada



Figura 13: Pesaje y carga de piña en el deshidratador.



Medidor de temperatura y humedad relativa

Figura 14: Pesaje de piña deshidratada



Medidor de temperatura y humedad relativa

Figura 15: Pesaje y carga de banano en el deshidratador



Figura 16: Banano deshidratado