

Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao L.*) en Tabasco

Ignacio López Cerino¹
Elsa Chávez García^{1§}

¹Colegio de Postgraduados- Campus Tabasco. Periférico S/N, CP 86500, Tel: 9373724099 Ext. 5089 Heroica Cárdenas, Tabasco (cerino3@gmail.com).

§Autor para correspondencia: elsa@colpos.mx.

Resumen

El secado de cacao en la región de la Chontalpa, Tabasco, México realizado por los campesinos se realiza principalmente al aire libre en patio de cemento o bien, en secadores contruidos con madera. Con este tipo de secado puede haber contaminación con polvo, hongos y animales que afectan la inocuidad del grano seco. Las beneficiadoras de la región emplean gas como insumo para el secado artificial, lo cual incrementa el costo y la huella ecológica de producto obtenido. Durante la temporada seca el proceso de secado requiere hasta 3.5 días y en temporada de lluvias pocos productores la llevan a cabo. El presente trabajo tuvo como objetivo conocer la eficacia del tiempo de secado de grano de cacao con un secador solar tipo túnel de policarbonato, durante el periodo canicular y la satisfacción por parte del productor participante, en la región de la Chontalpa, Tabasco. Se realizó una prueba en agosto de 2017, con medición de las variables atmosféricas: temperatura y humedad relativa, en una finca ubicada entre las coordenadas 18° 0' 36'' latitud norte y 93° 18' 18'' longitud oeste. Los resultados obtenidos indican que en 24 h se logra cumplir con el porcentaje de humedad en el grano requerido por la norma NMX-F-352-S-1980 y la satisfacción del productor participante relacionada con las características de color interno y externo, olor, sonido, peso final, separación de la cascarilla y presencia de hongos del grano seco de cacao.

Palabras clave: *Theobroma Cacao L.*, invernadero, inocuidad.

Recibido: marzo de 2018

Aceptado: mayo de 2018

Introducción

El cacao es un cultivo con una larga tradición en nuestro país. Se considera que su centro primario de origen de acuerdo a los expertos fue Centroamérica, de donde se estima fue dispersado a diferentes regiones de América, muy probablemente a través de los diversos grupos indígenas que poblaron este continente (ASERCA, 1995). El cacao es un cultivo cultural y económicamente importante en Tabasco, por ser un agroecosistema tradicional y ser el primer productor a nivel nacional con 68% de la superficie y 61% de la producción (SIAP, 2018). El secado del cacao en la región de la Chontalpa, Tabasco, México realizado por los campesinos se lleva a cabo principalmente mediante secado solar al aire libre, en patios de concreto; en algunos casos se utilizan secadores construidos con madera.

Con este tipo de secado puede haber contaminación con polvo, hongos y animales que afectan la inocuidad del grano seco). Las beneficiadoras de la región emplean gas como insumo para el secado artificial, lo cual incrementa el costo y la huella ecológica de producto obtenido. Durante la temporada seca (marzo- mayo) el proceso de secado requiere hasta 3.5 días y en temporada de lluvias o nortes (noviembre- febrero), pocos productores la llevan a cabo. La norma NMX- F-352-S-1980, establece que el contenido de humedad máximo debe ser de 7.5% wb, lo cual permite conservar la inocuidad del grano durante el almacenamiento y disminuye el riesgo de aparición de hongos (Normas, 1980). El proceso de secado consiste en reducir el contenido de humedad del producto para reducir su deterioro en un periodo de tiempo denominado como “periodo seguro de almacenamiento” (Ekechukwu, 1997).

La disminución de humedad en los productos agrícolas se lleva a cabo a través de la evaporación que conlleva la transferencia de masa y calor (Ekechukwu & Norton, 1999). La disminución de la humedad en un producto se puede lograr en forma natural o por convección forzada. La forma natural es cuando el aire caliente circula de forma natural; a través, del producto debido a la diferencia de temperaturas y en la convección forzada, el aire caliente se hace circular mediante un soplador o ventilador.

El uso de la energía solar en los países cercanos al ecuador tiene un gran potencial, sin embargo el desarrollo de tecnologías con base a dicha energía se encuentra aún limitado (Eggers-Lura, 1979). La obtención de energía eléctrica mediante el uso de celdas solares se ha popularizado como una alternativa sustentable (Labouret & Viloz, 2010). Existen diferentes tipos de secadores que aprovechan la radiación solar, que han sido diseñados o adaptados a las condiciones del trópico y que aprovechan los materiales de la región para disminuir costos (Ekechukwu & Norton, 1999). La radiación solar puede ser empleada de forma más efectiva para el secado de productos mediante el control de los parámetros de temperatura del aire, humedad, razón de secado, contenido de humedad y razón de flujo de aire (Garg, 1987).

Al respecto, Hii *et al.* (2006) diseñaron y evaluaron un secador solar tipo invernadero, con capacidad de 20 kg y cubierta de polietileno con protección ultravioleta, que permite aislar el grano de los contaminantes con un tiempo mínimo de secado de 4 días. Dina *et al.* (2015) utilizaron un prototipo de secador solar indirecto, con capacidad de 1 kg y registró un tiempo de secado de 2 días al usar tamiz molecular $13x (Na_{86}(AlO_2)_{86}*(SiO_2)_{106})*264H_2O$ y

CaCl₂, como desecantes. Barnwal y Tiwari (2008) probaron un secador tipo invernadero, con cubierta plástica y extractores activados mediante celdas solares, con el fin de obtener predicciones de humedad evaporada, con expresiones multilínea en modo de convección forzada. Arjoo *et al.* (2017) realizaron la evaluación de un secador solar tipo túnel, con capacidad de 400 kg y cubierta de polietileno con estabilizador UV, para el secado de ajo cuya humedad inicial fue de 66% (w.b.) y final de 9% (w.b.) en un periodo de 9 días.

El objetivo de este trabajo fue probar la eficacia en el tiempo de secado de un secador solar tipo túnel de policarbonato, por convección forzada, en grano de cacao durante el periodo canicular en la región de la Chontalpa, Tabasco y la satisfacción del productor participante.

Materiales y métodos

Secador solar tipo túnel de policarbonato

El secador solar tipo túnel de policarbonato utilizado está basado en un diseño tailandés (Figura 1) propuesto por Janjai (2012), desarrollado para el uso de secado de alimento por industrias a pequeña escala. Este secador consiste en un techo parabólico cubierto con hojas de policarbonato, estructura de acero galvanizado y piso de concreto. Las dimensiones de dicho secador son 8 m de ancho, 20 m de largo y 3.5 m de alto, con una capacidad de carga de 1 000 kg de frutas o vegetales. Las principales modificaciones realizadas al diseño original fueron la integración de ventiladores en el techo para homogeneizar la temperatura interna y acelerar el proceso de secado, activados mediante una celda solar, y el uso de aluminio en su estructura para hacerlo más ligero, durable y portable.



Figura 1. Secador solar tipo invernadero diseñado por Janjai (2012) para industrias a pequeña escala.

Las dimensiones del secador solar utilizado son: 1.20 m de ancho por 2.40 m de largo y 0.6 m de altura, con capacidad máxima de secado de 21 kg de cacao en una sola capa. La cubierta de policarbonato unicelular marca Makrolon Bayer utilizada tiene un grosor de 6 mm, cuenta con protección UV y está montada sobre una estructura de aluminio y base de acero galvanizado. Al interior de dicha cubierta, instalados en el techo, se encuentran cuatro ventiladores de 4 pulgadas de 12 V para homogeneizar el calor interno y en la parte posterior se encuentran tres ventiladores de 4 pulgadas de 12 V para la extracción del aire. Los

ventiladores funcionan con energía generada por un panel solar tipo SE-156*26-25P-36 de 25 W y 21.7 V con dimensión de 55 x 36 x 2.5 cm, fabricado por Solarever. En la parte frontal se ubican dos entradas de aire de 15 x 5 cm cada una, con ventanas movibles para regular la entrada de aire.

Tres portas charolas dobles construidas en aluminio, con una altura de 10 cm del suelo, se colocan en línea sobre el suelo, con una separación de 10 cm entre ellas. Seis charolas, construidas en aluminio y malla de teflón de 50 x 60 cm, con capacidad de 3.5 kg cada una, son colocadas sobre las porta charolas Figura 2.



Figura 2. Partes principales del secador solar tipo túnel de policarbonato. 1) cubierta de policarbonato con protección UV; 2) ventanillas que permite la entrada de aire; 3) ventiladores para homogeneizar el calor interior; 4) ventiladores extractores de aire; 5) portacharolas; y 6 charolas.

Prueba de secado

Se realizó una prueba de secado con duración de dos días en la finca de un productor colaborador ubicada en la Ranchería Miahuatlán 2ª sección, del municipio de Cunduacán, Tabasco (18° 0' 36'' latitud norte latitud y 93° 18' 18'' longitud oeste longitud). Se utilizó cacao fermentado de la variedad Trinitaria cosechado el 19 de agosto de 2017. El proceso de fermentado se realizó durante 5 días previos, a partir del 20 de agosto de 2017, con el uso de cajas de madera de Macuili (*Tabebuia rosea*), con una primera rotación del grano a las 24 h y ocho rotaciones posteriores cada 12 h para favorecer la aireación.

La prueba de secado se realizó los días 25 y 26 del mes de agosto 2017, de 8:30 h a 19:30 h. Se colocó una carga de 12.94 kg de cacao fermentado distribuido en las seis charolas, sin moverlo o mezclarlo, formando dos capas de granos. La determinación del contenido de humedad fue determinado gravimétricamente usando el método de horno, a 105 °C por 24 h (Park, Z., & Brod, 2002). Los datos del secado fueron tomados cada hora a partir de las 8:30 am el primer día y de las 7:30 am en el segundo día. Se enumeraron las seis charolas para llevar el registro de pesado. Cada charola se sacó del secador y se colocó en la balanza para el registro de peso.

Propiedades físicas

Contenido de humedad

El contenido de humedad (θ_m , %) se determinó por la masa mediante la siguiente fórmula:

$$\theta_m = \frac{m_w}{m_m} \cdot 100\% \quad (1)$$

Donde= m_w (Kg) es la masa de agua y m_m (Kg) la masa de material seco.

Considerando que la humedad en el material se origina, en general, de tres fuentes: agua externa, agua líquida interna y vapor de agua presente en el ambiente, se consideró el uso de la determinación gravimétrica para determinar el contenido de humedad promedio; a partir, del peso de las muestras antes y después del secado (Erich & Pel, 2011).

La determinación del contenido de humedad absoluta se calculó estableciendo la diferencia entre muestras húmedas y seca ($\theta_m, k / k$).

$$\theta_m = \frac{m_w - m_d}{m_d} \quad (2)$$

Donde: m_w (Kg) es la masa de material húmedo y m_d (Kg) la masa de material seca.

Calculo de la razón de humedad

Datos obtenidos a diferentes temperaturas de secado fueron transformado a la razón de contenido de humedad (MR, sin dimensión) y es expresado como:

$$M = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3)$$

Donde= M , w.b. decimal, $M_0, w d t$ and $M_e, w d t$ son el contenido de humedad en cualquier instante de tiempo, el contenido de humedad inicial y el contenido de humedad en equilibrio, respectivamente.

Contenido de humedad en equilibrio

El contenido de humedad en equilibrio de los granos de cacao se obtiene cuando este ha permanecido constante por un determinado tiempo, a cierta temperatura y humedad relativa. El contenido de humedad (m_e) de los granos se determinó usando el peso seco de los granos de cacao usando la ecuación 4.

$$m_e = \left(1 + \frac{F}{I_i \times \left(\frac{F}{I} - 1\right)}\right) \times 100 \quad \% \quad (4)$$

Donde= los términos I_i (g) y F (g) se refiere a la masa inicial y la masa seca final, respectivamente F (% , wb) se refiere al contenido final de humedad.

El peso inicial y final de los granos de cacao fueron registrados utilizando una balanza digital (BAPO-01 marca Rhino con un error de lectura de 1 g.

Satisfacción del productor

La satisfacción campesina respecto a los granos de cacao secos obtenidos con el secador solar tipo túnel de policarbonato fue realizada por el productor participante y contrastada con la de un secador de madera tipo mesa, utilizada por el mismo productor. Los criterios de satisfacción considerados, establecidos por el propio productor con base en sus conocimientos y experiencia, fueron: presencia de hongos, color externo e interno, olor, textura, separación de la cascarilla y sonido al estar seco. La satisfacción fue evaluada mediante una escala de calificación del 1 al 10. La puntuación del 1-5 fue considerada como no satisfactoria; a menor puntaje otorgado mayor fue el nivel de insatisfacción. La puntuación del 6-10 fue considerada como satisfactoria, a mayor valor otorgado, mayor es el nivel de satisfacción.

Equipo de medición

Temperatura y humedad relativa: se utilizaron dos Data Logger HOBO UX100-003 para medir temperatura y humedad relativa con un rango de error de 3.5%. Uno se colocó en el interior del secador y el segundo se colocó a una altura de 2 m del suelo, a 14 m de distancia del secador para lectura de las condiciones del ambiente externo.

Radiación solar: los datos fueron tomados de las estaciones meteorológicas automáticas pertenecientes al servicio meteorológico nacional de México. <http://smn.cna.gob.mx/tools/GUI/EMAS.php>.

Resultados y discusión

En esta sección, se presentan las condiciones en que se llevó a cabo la prueba de secado de grano de cacao mediante el uso del secador solar tipo túnel con cubierta de policarbonato. Los parámetros de temperatura y humedad relativa al interior del secador, así como la radiación solar, contenido de humedad y razón de humedad en el grano de cacao son discutidos.

El proceso de secado requirió de dos días y una noche, un total de 35 h. La Figura 3 muestra los registros realizados de las temperaturas ambiental y del interior del secador solar tipo túnel de policarbonato. La diferencia entre la temperatura ambiental e interna a las 10:30 h fue de 8.7 °C. La máxima diferencia de temperaturas se observa a las 15:30 h con 25.7 °C de diferencia.

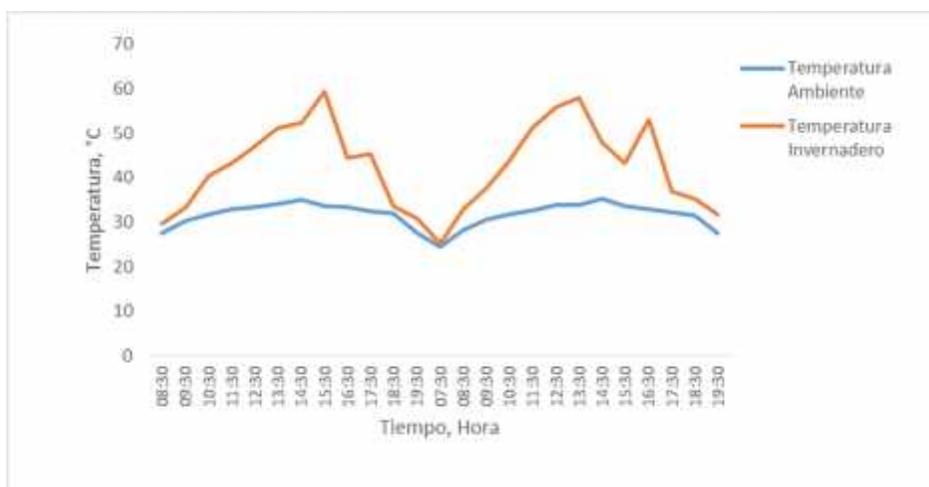


Figura 3. Comparación de temperatura ambiente con la temperatura interior del secador solar tipo túnel de policarbonato en la Ranchería Miahuatlán, Cunduacán, Tabasco, México usando data Logger HOBO UX100-003.

La Figura 4 muestra la radiación solar para la región de la Chontalpa, Tabasco durante los días en que realizó la prueba. Se observa que el valor máximo es de 900 W/m^2 , coincide con la temperatura máxima de $59 \text{ }^\circ\text{C}$ registrada en el interior del secador solar tipo túnel de policarbonato. De acuerdo con los resultados de Jinap *et al.* (1994), con $60 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura se obtienen granos secos de cacao con una alta concentración de ácidos grasos volátiles (VFA) que intensifica el sabor del chocolate producido con dicho cacao. Se considera que el secador solar tipo túnel de policarbonato logra condiciones similares en la calidad del grano seco de cacao registradas por Jinap *et al.* (1994).



Figura 4. Radiación solar en la región cercana a Cunduacán, Tabasco, México.
<http://smn.cna.gob.mx/tools/GUI/EMAS.php>.

Es importante mencionar, que las variaciones de radiación solar observadas (Figura 4) se deben a la presencia de nubes durante el día, lo cual parece tener relación directa con la temperatura del interior del secador (Figura 3).

La Figura 5 muestra los registros de humedad relativa ambiental y al interior del secador solar tipo túnel de policarbonato. Se observa que los valores de la humedad relativa al interior del secador solar se mantienen por debajo de los valores de la humedad relativa ambiental en los dos días de la prueba, lo cual ratifica la eficiencia de secador utilizado para el proceso de secado del grano de cacao y la mejora del diseño original con la integración de los ventiladores en parte interna anterior del secador solar que favorece el secado homogéneo a pesar de la doble capa de granos (Figura 6). Esto último elimina la necesidad del volteado constante de los granos de cacao que se lleva a cabo, con los métodos de secado utilizados por los productores de la región.



Figura 5. Comparación de la humedad relativa ambiente (%) con la del interior del secador solar tipo túnel de policarbonato en Miahuatlán, Cunduacán. Mediciones tomadas cada hora.



Figura 6. Aspecto del cacao secado en dos capas con el secador solar tipo túnel de policarbonato.

La Figura 7a muestra la disminución en el contenido de humedad, de 56.40% (wb) a 6.2% (wb) en grano de cacao. El valor final obtenido fue menor al valor máximo establecido por la norma mexicana NMX-F-129-S-1979. La Figura 7b muestra el tiempo en que se realizó el proceso de secado hasta lograr un periodo sin pérdida ni ganancia de humedad que va de la 19:30 h del primer día hasta las 8:30 h del segundo día, a pesar de la presencia de lluvia por la noche y rocío por las mañana durante el periodo de prueba. Para obtener granos de cacao

con un contenido de humedad final de 6.26% (wb) se requirió de dos días de secado (24 h). El tiempo de secado obtenido es 6 horas menos que el tiempo obtenidos con el secador solar integrado con almacenamiento de energía térmica desecante y uso de desecante tipo adsorbente y 5 h más en comparación con el uso de desecante tipo absorbente Dina *et al.* (2015).

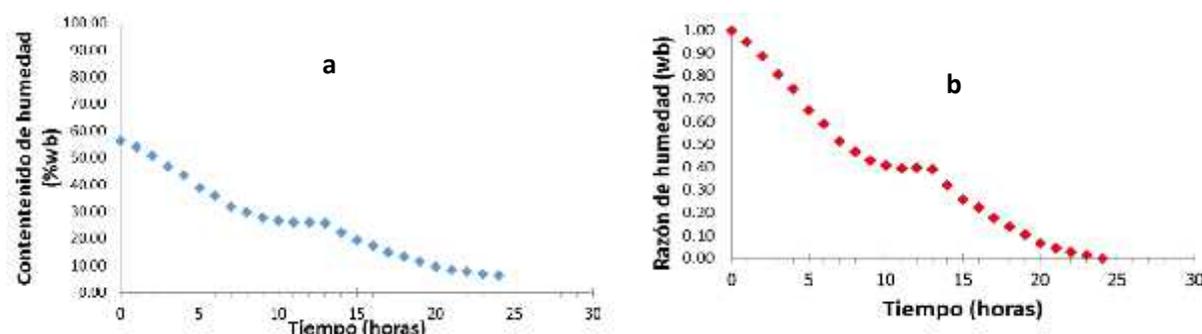


Figura 7. a) Contenido de humedad en porcentaje de bulbo húmedo (% wb) con respecto al tiempo; y b) razón de pérdida de humedad medida en bulbo húmedo (wb) con respecto al tiempo de secado.

Satisfacción del productor

El productor relacionó un secado adecuado del grano con un color externo entre canelo y chocolate. Un color blanquecino en el grano es indicador de que no fue secado adecuadamente. El color interno debe ser de una tonalidad homogénea color chocolate (café), un color negro o morado indica un grano que no ha sido fermentado adecuadamente o el grano no estaba maduro al momento del corte. Otro aspecto considerado fue el sonido del grano seco, el cual se verificó al mover y hacer chocar los granos de cacao entre sí, cuando el sonido es “grueso” o grave, indica que requiere más tiempo de secado, y cuando el sonido es “ligero” o agudo, se ha logrado un secado adecuado. En el caso de la cascarilla, se busca una consistencia quebradiza que favorezca una fácil separación del grano, de lo contrario se le designa como pellejuda al quedar pegada al grano.

La satisfacción del productor con respecto al grano seco obtenido con el secador solar tipo túnel de policarbonato, tuvo una diferencia de 4 a 6 puntos en la escala de medición definida, relacionado con la presencia de hongos en el grano, color externo del grano seco, olor, separación de la cascarilla y sonido de los granos, en relación al secador de madera tipo mesa. La satisfacción del productor mejoró de 2 a 3 puntos con el secador solar tipo túnel de policarbonato, en relación a la disminución del peso del grano, tiempo y capacidad de secado por carga. La satisfacción con respecto al color interno del grano mejoró solo en un punto, ya que se observaron algunos granos secos con color violeta en su interior; sin embargo, el productor relacionó esta característica con los granos cosechados prematuramente. De manera general, todos los criterios evaluados mostraron una mayor satisfacción con el secador solar tipo túnel de policarbonato probado en relación al secador de madera utilizado por el productor (Cuadro 1).

Cuadro 1. Evaluación cualitativa del proceso de secado e inocuidad del grano seco en secador de madera tipo mesa y el secador solar tipo túnel de policarbonato, realizada por el productor.

Criterio de satisfacción	Satisfacción con secador de madera tipo mesa (escala del 1 al 10).	Satisfacción con el secador solar tipo túnel de policarbonato (escala del 1 al 10).
Tiempo de secado	7 (3.5 días)	10 (2 días)
Capacidad (kg) por carga	7	9
Presencia de hongos en grano seco	4 (2%)	10 (0%)
Color externo del grano	5 (café blanquecino)	10 (rojizo)
Color interno del grano	7 (café oscuro)	8 (café oscuro y algunos violeta)
Olor	6	10
Pérdida de peso al secar	7	9
Separación de la cascarilla	5 (tallado, pegado al grano)	9 (crujiente, quebradizo)
Sonido de los granos	5 (opaco)	9 (buen sonido)

Conclusiones

Se realizó el secado de 12.94 kg de cacao fermentado de la variedad Trinitaria con el secador solar tipo túnel de policarbonato. Como resultado, se obtuvo un secado en menor tiempo que el secado al sol al aire libre realizado por los productores de la región. El peso final fue de 6.19 kg (47.82% con respecto al peso inicial) con una pérdida de 52.18% de agua. Se registró una marcada diferencia entre la temperatura ambiente con respecto a la temperatura interior del invernadero, así como de la humedad relativa, lo cual indica la eficiencia del secador utilizado. La humedad del grano se mantuvo con una ganancia casi nula durante la noche a pesar presencia de lluvia por la noche y rocío por la mañana.

La prueba de contenido de humedad final en base húmeda indica un porcentaje de 6.6% (wb) logrado en dos días de experimento, lo cual es menor a lo establecido por la norma mexicana que es máximo de 7.5% (wb). La satisfacción del productor del proceso de secado del grano de cacao con el secador solar tipo túnel de policarbonato fue mayor de 4 a 6 puntos que con el secador de madera tipo mesa.

Agradecimientos

Al CONACYT por el financiamiento otorgado para la realización de la investigación y al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

Literatura citada

- Arjoo, Y. and Yadav, Y. K. 2017. Performance evaluation of solar tunnel dryer for drying of garlic. *Current Agric. Res. J.* 220-226.
- ASERCA. 1995. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. Retrieved from Claridades Agropecuarias. <http://www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/016/ca016.pdf>.
- Barnwal, P. and Tiwari, G. N. 2008. Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: an experimental study. *Solar Energy.* 1138-1144.
- Dina, S. F.; Ambarita, H.; Napitupulu, F. H. and Kawai, H. 2015. Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans. *Case Studies in Thermal Engineering.* 32-40.
- Eggers, L. A. 1979. *Solar energy in developing countries.* Gentofte, Denmark. Pergamon Press.
- Ekechukwu, O. V. 1997. Experimental studies of integral-type natural-circulation solar-energy tropical crop dryers. *Energy Convers.* 38(14):1483-1500.
- Ekechukwu, O. V. and Norton, B. 1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy conversion and Management.* 615-655.
- Erich, B. J. and Pel, L. 2011. Fundamentals of mold growth in indoor environments and strategies for healthy living. doi:<http://doi.org/10.3920/978-90-8686-722-6>.
- Garg, H. P. 1987. *Advances in solar energy technology.* Dordrecht, Holland. D. Reidel Publishing Company. 1 Ed. Vol. 3.
- Hii, C. L.; Rahman, R. A.; Jinap, S. and Man, Y. C. 2006. Quality of cocoa beans dried using a direct solar dryer at different loadings. *J. Sci. Agric.* 1237-1243.
- Janjai, S. 2012. A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: Development and dissemination. *Inter. J. Energy Environ.* 3(3):383-398.
- Jinap, S.; Thien, J. and Yap, T. N. 1994. Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Sci. Food Agric.* 65(1):67-75.
- Labouret, A. and Viloz, M. 2010. *Solar photovoltaic energy.* London. The Institution of Engineering and Technology.
- Park, K. J. Z. V. and Brod, F. P. 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *J. Food Eng.* 51(3):193-199.
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.gob.mx/siap. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/avancenacionalcultivo.do.