



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN
DE INGENIEROS EN LA
ERA DIGITAL



IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE CACAO A PEQUEÑA ESCALA PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO Y CONSERVAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS EN EL CONSEJO COMUNITARIO LAS VARAS TUMACO (NARIÑO)

Erazo Ortiz Daniela, Bastidas Rodriguez Jhon Alexander, Acosta Martínez Julián Marcelo, Herrera Ruales Carlos Frank

**Universidad Mariana
San Juan de Pasto, Colombia**

Resumen

El método de secado tradicional de cacao que se implementa actualmente en el Sur Occidente del país, no es un proceso idóneo, debido a que determinadas variables como el tiempo, temperatura y humedad son parámetros no controlados, permitiendo que la efectividad y calidad del secado se vean afectadas. Para solucionar estos inconvenientes se propone cambiar el tipo de secado tradicional por el secado solar con colector solar mixto. Como primera fase de la investigación, se realizó un análisis del contexto sobre la teoría del secado de alimentos y de los diferentes tipos de secadores solares que se han implementado en el mundo. El diseño propuesto consta de tres partes fundamentales: colector solar, cámara de secado y una chimenea. Para el dimensionamiento del colector solar se tuvo en cuenta diferentes ecuaciones y datos suministrados de Geo-alternar y el IDEAM de radiación solar, humedad relativa y temperatura de la estación de Tumaco – Nariño del año 2017 y el calor necesario para secar con una base de cálculo de 10 Kg de cacao, obteniendo como resultado un área total del colector solar de 1.5 m² (1.64m x 0.94m) con un ángulo de inclinación de 16° y para el dimensionamiento de la cámara de secado se realizaron diferentes pruebas experimentales en un horno de bandejas, con capacidad de 2 Kg en cada una de ellas, con dimensiones de 0.68m x 0.53m, obteniendo como área total de la cámara de secado de 0.56 m². Se concluye que el diseño propuesto presenta resultados óptimos para un secado controlado que mejore el rendimiento, calidad del grano y sea económicamente viable.

Palabras clave: colector solar; secador de cacao; diseño; cacao

Abstract

The traditional drying method of cocoa that is currently implemented in the South West of the country, is not a suitable drying process, because certain variables such as time, temperature and humidity are uncontrolled parameters, allowing the effectiveness and quality of drying are affected. To solve these problems, it is proposed to change the traditional type of drying by the mixed type solar drying. As a first phase of the research, a context analysis was carried out on the theory of food drying and the different types of solar dryers that have been implemented in the world. The proposed design consists of three fundamental parts: solar collector, drying chamber and a chimney. For the sizing and equations of the solar collector, the data supplied by Geoalternar and the IDEAM of the solar radiation, relative humidity and temperature of the Tumaco-Nariño station in 2017 and the heat needed to dry with a calculation base were taken into account of 10 Kg of cocoa, obtaining as a result a total area of the solar collector of 1.5 m² (1.64m x 0.94m) with an inclination angle of 16° and for the sizing of the drying chamber, different experimental tests were carried out in a tray oven, with a capacity of 2 Kg. each of them, with dimensions of 0.68m x 0.53m, obtaining as a total area of the drying chamber of 0.56 m². It is concluded that the proposed design presents optimal results for a controlled drying that improves yield, grain quality and is economically viable.

Keywords: solar collector; cocoa dryer; design; cocoa

1. Introducción

El comercio mundial de productos primarios, entre ellos el cacao en grano es de significativa importancia, dado que la producción y el comercio de estos bienes constituyen la base de la economía (Díaz, 2014). Este producto proviene de la planta de *Theobroma cacao* L, es un árbol tropical que se identifican tres variedades: Criollo, Forastero y Trinitario, el genotipo más importante es el Criollo debido a que son denominados "cacaos finos, de aroma o de alta calidad", y certificado por la Organización Internacional de Cacao (ICCO). Esta variedad se produce en un 5% a nivel mundial, es por esta razón que es demandado por países europeos debido a sus propiedades organolépticas y nutritivas que representan una excelente calidad del producto (PreColombia, 2016).

Actualmente Colombia participa con 42.000 toneladas anuales de cacao, que representan el 1,5% de la producción agrícola nacional, generando 82.000 empleos directos (CAF, 2017). En el 2010, la ICCO calificó al cacao colombiano como fino de aroma, debido a su origen de materiales tipo criollo y trinitario. A nivel nacional los departamentos productores de cacao son: Santander con (28,5%), Arauca (13,6 %), Norte de Santander (9,6 %), Antioquia (8,4 %), Nariño (6 %) y Tolima (5,8 %); que en conjunto representan el 72 % del total nacional. Nariño estimó su producción de cacao en 3.377 toneladas de grano seco. El 76 % de este cacao se genera en el piedemonte costero, especialmente en el municipio de Tumaco (ICER, 2016). De

acuerdo con Ríos, et al., (2017) determina en su estudio que la ICCO en el año 2015, la región con mayor consumo de cacao es la Unión Europea con un 36% de la cuota mundial, seguida por América del Norte con el 23% y luego, por Asia y Oceanía con el 17%. El consumo de los países productores, por su parte, ubica a América Latina con el 9%.

A partir de esta información, se deduce que la producción de cacao seco, es de gran importancia debido a los grandes volúmenes de exportación, pero uno de los grandes inconvenientes que presenta este proceso, es la etapa de secado debido a que las técnicas que se ha implementado en la mayoría de zonas de producción de cacao son tradicionales que consta de un contacto directo con la luz solar, pero los factores que afectan al cacao de secarlo de forma natural son la temperatura ambiental, frecuencia de precipitaciones, velocidad del viento, humedad relativa del aire y el número de horas de sol aprovechables para el proceso y debido a estos factores encontramos problemas de sobre deshidratación, deshidratación insuficiente, rehidratación por efectos de lluvia, decoloración debida a los efectos de la radiación ultravioleta y contaminación por agentes externos como aves, insectos, microorganismos y humos (Teixeira Da Silva, et., 2016) Este método de secado es una etapa crítica durante el beneficio del cacao, porque es la etapa donde las propiedades finales del grano son seriamente influenciadas (Jiménez, et al., 2016).

El municipio de Tumaco, Nariño, al sur de Colombia, posee muchas potencialidades, su posición estratégica cerca del mar, su altura y su ubicación privilegiada, unidas a un clima tropical le permiten tener productos de la mayor calidad (Montoya, et al., 2015). El centro comunitario las varas es reconocido mundialmente en el Concurso "Cocoa of Excellence" del Salón de Chocolate de París en 2015 (Consolidación Territorial, 2015), pero uno de sus problemas principales es el proceso de secado debido a que no presenta parámetros controlados que pueden afectar la composición del grano y por ende disminuir su calidad. Por esta razón se ha buscado nuevas técnicas de secado que favorezcan tanto a la comunidad como al comercio. A fin de superar las desventajas se han desarrollado varios estudios de colectores solares que son una tecnología que aprovecha la energía solar para calentar algún tipo de fluido (aire en este caso) que permiten incrementar la calidad del producto y mejorar la eficiencia del proceso de secado (Teixeira Da Silva, et., 2016), debido a que la utilización de colectores solares pretende disminuir ese tiempo de secado, al proveer un aire de mayor temperatura en comparación al que fluye naturalmente en el ambiente (Uriol, 2016). El aporte del presente trabajo consiste en implementar un diseño de secado a pequeña escala que disminuya el tiempo de secado y además conserve la calidad y propiedades organolépticas del cacao y que satisfagan las necesidades de la comunidad.

2. Materiales y métodos

Este experimento se llevó a cabo en la Ciudad de San Juan de Pasto en la Universidad Mariana.

2.1. Descripción del sistema

El diagrama esquemático del secador solar mixto propuesto se muestra en la figura 1. El secador consta de un colector solar de lámina metálica y cobre de diferentes calibres y vidrio templado de 4mm, este está conectado a la cámara de secado, mediante un pequeño ducto con materiales de

IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE CACAO A PEQUEÑA ESCALA PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO Y CONSERVAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS EN EL CONSEJO COMUNITARIO LAS VARAS TUMACO (NARIÑO)

acero inoxidable y lámina metálica. El colector está aislado térmicamente con espuma de polietileno con un espesor de 0,07 metros.

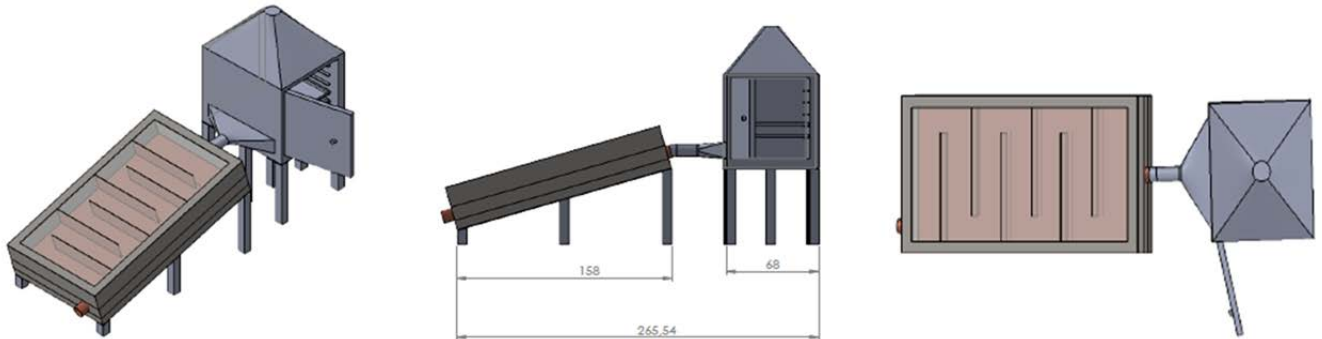


Figura 1. Secador solar

2.2. Propiedades del cacao.

Según Choi y Okos (1986), para determinar el calor específico y conductividad térmica del cacao, se requiere conocer las propiedades físicas químicas del cacao. Este análisis se realizó en los laboratorios Confía control S.A.S.

2.3. Dimesionamiento del colector

Teniendo en cuenta que el área del colector es directamente proporcional a la demanda energética para realizar el proceso de deshidratado, he inversamente proporcional a la radiación solar incidente y la eficiencia (García, et., 2012). La ecuación 1 permite calcular el área requerida del colector.

$$\text{Área}_c = \frac{Q_T}{Rd * 80\%} \quad (1)$$

Para calcular el calor requerido se tiene en cuenta el calor necesario de precalentamiento, el calor que requiere el grano fermentado para llegar a la humedad deseada y las perdidas dependen de los materiales y el medio donde va a operar, además, se requiere conocer las propiedades fisicoquímicas del cacao. Qiu et al., (2016) determina el calor necesario durante el proceso de secado mediante las ecuaciones 2, 3, 4 y 5.

$$Q_T = Q_p + Q_e + Q_i \quad (2)$$

$$Q_p = C_p * m_i * (T_f - T_i) \quad (3)$$

$$Q_e = \gamma * (m_i - m_f) \quad (4)$$

$$Q_i = Q_p + Q_e * 10\% \quad (5)$$

2.4. Dimensionamiento de la cámara de secado

Para el dimensionamiento de la cámara de secado se realizaron diferentes pruebas experimentales en un horno de bandejas de la Universidad Mariana – Sede Alvernia y así determinar el área requerida de cada una de las bandejas y el área total de la cámara de

secado con una capacidad de 10 kg de caco, de igual manera se tuvo en cuenta ciertos factores que se pueden ver afectados según la metodología de García et al., (2012).

2.5. Angulo de inclinación

La cantidad relativa de radiación que recibe la tierra disminuye cuando el sol se encuentra más bajo en el cielo. La pendiente y la orientación del colector se definen por el ángulo de inclinación de colector con respecto a la superficie horizontal y el ángulo de azimut. El ángulo de inclinación óptimo para un colector de placa plana, según Despotovic, et al., (2015) para calcular el ángulo de inclinación se tendrá en cuenta la latitud del lugar en el que se secará el cacao. (Ecuación 6).

$$\beta = \varphi \mp 15 \quad (6)$$

2.6. Selección de materiales.

Para determinar los materiales para la construcción del colector solar, se realizó una matriz de selección que permite visualizar las características más importantes para clasificar los materiales más adecuados.

2.7. Diseño en 3D

El diseño del secador se realizó en 3D en el software SOLIDWORK, para observar a detalle las cotas del secador solar.

3. Resultados y discusiones

3.1. Determinación de las propiedades físicas y químicas del cacao.

Los datos de la muestra de cacao analizada en el laboratorio de Confía S.A.S se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. *Resultados experimentales fisicoquímicos del cacao seco*

Componente	Experimental % Peso
Agua	7,9
Carbohidratos	38,5
Proteína	13,1
Grasa	36,4
Cenizas	3,4

Con los datos obtenidos del Laboratorio SAS se calcula el calor específico y conductividad térmica del cacao (Tabla 2). Donde la temperatura media de operación aproximada es de 26°C según los datos del IDEAM.

Tabla 2. *Propiedades del cacao*

Propiedad	Experimental	Teórico	Fuente
Calor específico ($\frac{J}{kg \cdot K}$)	1087,5243	1373,2704	(Guerrero, 2006)
Conductividad térmica ($\frac{W}{m \cdot k}$)	0,2251	4,3%	0,2453
		8,3%	0,2716
		11,9%	0,2817

IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE CACAO A PEQUEÑA ESCALA PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO Y CONSERVAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS EN EL CONSEJO COMUNITARIO LAS VARAS TUMACO (NARIÑO)

Según investigaciones de Guerrero, (2006) y Borrero, et al., (2006) estas variaciones dependen de las características físicas y químicas del cacao debido a que existen extensas variedades de cacao.

3.2. Dimensionamiento del colector solar.

Con los datos ya calculados y el calor latente de vaporización del aire según las tablas de vaporización de Geankoplis, (1998), para el dimensionamiento del prototipo propuesto se cuenta con las propiedades ambientales más importantes; temperatura promedio 26°C y radiación promedio 4,5 KWh del municipio Tumaco-Nariño y la cantidad de kilogramos de granos de cacao a secar (Tabla 3)

Tabla 3. *Propiedades y condiciones de operación del cacao*

Propiedad	Simbología	Valor	Unidades
Grano de cacao fermentado	m_i	10	Kg
Calor latente de vaporización	γ	2370,7	KJ/Kg
Humedad inicial	$H_{inicial}$	58	%
Humedad final	H_{final}	7	%
Temperatura inicial	T_i	25	°C
Temperatura final	T_f	45	°C
Radiación solar	R_d	4,5	KWh

Fuente: (Geankoplis, 1998), (Sánchez, et al., 2017)

Según la metodología de Qiu et al., (2016) determina que el calor necesario para el proceso de secado incluye la energía de precalentamiento para cacao fermentado, la energía térmica requerida para evaporar agua, y la cantidad de pérdidas de calor durante el proceso de secado. Los cálculos del calor total necesario para determina el área del colector se observan en la tabla 4.

Tabla 4. *Datos de calor requerido y área del colector*

Calor de precalentamiento necesario	$Q_p=217,504 \frac{KJ}{K}$
Porcentaje de agua que se retirara del grano	%agua=54,838
Peso en kilogramos de agua	$Kg_{agua}=5,483$
Calor necesario para evaporar agua	$Q_e=13000,6129 \frac{KJ}{K}$
Pérdidas de energía térmica	$Q_r=1321,811 \frac{KJ}{K}$
Calor necesario total	$Q_T=14539,9294 \frac{KJ}{K}$
Área colector	$\text{Área}_c=1,12m^2 \approx 1,5m^2$

A partir de los datos obtenidos se evidencio que, con una capacidad de 10 kg, el área del colector tiene un margen de error del 0,85% en comparación con el estudio de García et al., (2012) y una eficiencia de 80% esperando llegar a una humedad del 7 %, logrando un secado eficiente en un tiempo de 30 horas.

IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE CACAO A PEQUEÑA ESCALA PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE SECADO Y CONSERVAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS EN EL CONSEJO COMUNITARIO LAS VARAS TUMACO (NARIÑO)

Utilizando un matriz de selección, se determinó el tipo de material a usar para la construcción de la cámara de secado y del colector solar, que se divide en tres capas asiladas adiabáticamente. La primera capa está conformada por una lámina de vidrio templado que tiene un grosor de 4mm y se encuentra expuesta directamente a la irradiación solar, siendo este el receptor de la luz solar que ayuda a calentar el flujo de aire, en la segunda capa se realizó un vacío, debido a que si disminuimos la presión aumenta la temperatura con el fin de aumentar la eficiencia del colector y para evitar el rompimiento o hundimiento del vidrio debido a la presión que ejerce el vacío, se determina implementar soportes de lámina de cobre calibre 14 para una mayor resistencia y no altere la firmeza del vidrio y finalmente en la tercera capa fluye el aire a través de 6 láminas recortadas de cobre, para lograr una temperatura de 45°C a la cámara de secado. El colector y la cámara se aíslan herméticamente con espuma de polietileno con un espesor de 0,07 metros a cada lado para evitar pérdidas de calor en el mayor porcentaje posible. El dimensionamiento de la cámara de secado, se realizó tomando referencia al secador que se encuentra en la sede Alvernia Universidad Mariana, con una capacidad de 2Kg en cada una de las bandejas, con un total de cinco bandejas. Las medidas se observan en las Tablas 5 y 6

Tabla 5. Dimensiones del colector solar

	Capa Externa (m)	Capa Interna (m)
Largo	1,64	1,5
Ancho	0,94	0,8
Alto	0,324	0,324

Tabla 6. Dimensiones de la cámara de secado

	Capa externa (m)	Capa interna (m)
Largo	0,83	0,69
Ancho	0,68	0,54
Alto	685	0,615

4. Conclusiones

Diseñar bandejas con capacidad de 2Kg permite obtener un deshidratado con mejores características al final del proceso, debido a que los granos de cacao forman una capa homogénea que permitirá que el flujo de aire ascienda de forma más fácil sin obstrucción.

Para secar 10 Kg de cacao con la implementación de un secador solar se requiere un calor total de 14539,93 KJ/K con una eficiencia del sistema del 80%.

El diseño en mención puede ser empleado para estimar las condiciones óptimas de deshidratación requeridas (temperatura y tiempo) para alcanzar un contenido final de humedad 7 % en el procesamiento de secado de cacao.

El sistema evacuado ayuda a optimizar la tecnología ya existente debido a que si disminuimos la presión aumenta la temperatura con el fin de aumentar la eficiencia del colector.

5. Referencias

- Borrero, F., & Hernandez, J. (2006). Determinación de parámetros y simulación matemática del proceso de secado del cacao (*Theobroma cacao*), 12.
- CAF. (2017). Latinoamérica produce el 80% del cacao prime del mundo. Recuperado de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2017/11/latinoamerica-produce-el-80-del-cacao-prime-del-mundo/>
- Consolidación Territorial. (2015). Cacao de Tumaco premiado en París por su alta calidad. Consultado Mayo 14, 2018, from <http://www.consolidacion.gov.co/?q=content/cacao-de-tumaco-premiado-en-paris-por-su-alta-calidad>
- Despotovic, M., & Nedic, V. (2015). Comparison of optimum tilt angles of solar collectors determined at yearly, seasonal and monthly levels. *Energy Conversion and Management*, 97, 121–131. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.03.054>
- Díaz, K. M. (2014). *Agroalimentaria. Agroalimentaria* (Vol. 9). Centro de Investigaciones Agroalimentarias (CIAAL). Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542004000100004
- García, L. E., Mejía, M. F., Mejía, D. J., & Valencia, C. A. (2012). Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales. *AVANCES Investigación En Ingeniería*, 9(2), 9–19.
- Geankopolis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Recuperado de <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>
- Guerrero, B. (2006). *Diseño del sistema de esterilización experimental en la obtención de licor de cacao*. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/13588/3/TESIS.pdf>
- ICER. (2016). Informe de coyuntura económica regional. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/icer/2015/ICER_Arauca2015.pdf
- Jiménez, J., Ortigón, N., & Ortega, E. (2016). Análisis del proceso de deshidratación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en túnel de secado continuo Analysis of the dehydration process of cocoa (*Theobroma cacao* L.) in a continuous drying tunnel, 34. Recuperado de <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.58073>
- Montoya, I. A., Montoya, L. A., & Lowy, P. D. (2015). Oportunidades para la actividad cacaotera en el municipio de Tumaco, Nariño, Colombia. *ENTRAMADO*, 11(1), 48–59. Recuperado de <https://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21107>
- PreColombia. (2016). Lo que debe saber para exportar cacao fino de aroma. Consultado Mayo 14, 2018, de <http://www.procolombia.co/actualidad-internacional/agroindustria/lo-que-debe-saber-para-exportar-cacao-fino-de-aroma>
- Qiu, Y., Li, M., Hassanien, R. H. E., Wang, Y., Luo, X., & Yu, Q. (2016). Performance and operation mode analysis of a heat recovery and thermal storage solar-assisted heat pump drying system. *Solar Energy*, 137, 225–235. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.016>
- Ríos, F., Ruiz, A., Lecaro, J., & Rehpani, C. (2017). *Estrategias país para la oferta de cacao especiales, Políticas e iniciativas privadas exitosas en el Perú, Ecuador, Colombia y República Dominicana. Fundación Swisscontact Colombia*. Recuperado de

https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Colombia/Documents/Cadena_de_Valor_Cacao.pdf

- Sánchez, C., Rodríguez, F., Collante, E., & Simbaqueva, O. (2017). Atlas de radiación solar de Colombia. ... , *HIMAT, Bogotá, Colombia*, 13–22. Recuperado de <https://doi.org/10.13140/2.1.4192.8968>
- Teixeira Da Silva, J., & Malpica Pérez, F. (2016). Development of a mathematical model to determine the proportions a direct solar dehydrator of cacao. *Ingeniería Mecánica*, 19(1), 30–39. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442016000100005
- Uriol, J. (2016). Estudio de colectores solares multipasos y sin almacenamiento térmico en el secado de productos agrícolas.

Sobre los autores

- Autor 1: Estudiante de Ingeniería de Procesos noveno semestre, Universidad Mariana. joherazo@umariana.edu.co
- Autor 2: Estudiante de Ingeniería de Procesos, noveno semestre, Universidad Mariana. jhobastidas@umariana.edu.co
- Autor 3: Docente investigador Grupo de investigación GIIDOP. Universidad Mariana jacosta@umariana.edu.co
- Autor 4: Coordinador – investigador. Corporación CIAD. carlosadalherre@yahoo.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)