

**Artículo Original**

***EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE SECADO SOLAR DIRECTO PARA GRANOS DE CACAO EN TENA***

***EFFICIENCY EVALUATION OF A DIRECT SOLAR DRYING SYSTEM FOR COCOA BEANS IN TENA***

Rocío Guapulema Maygualema<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2768-9018>

Galo Leonardo Cerda Mejía<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2027-8646>

Jorge Manuel Ríos Obregón<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0416-3072>

Víctor Rodrigo Cerda Mejía<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2395-9711>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias de la Tierra y Agua, Universidad Regional Amazónica Ikiám, Tena, Ecuador.

<sup>2</sup> Carrera de Agroindustrias, Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

Recibido: Junio 26, 2023; Revisado: Julio 27, 2023; Aceptado: Agosto 7, 2023

**RESUMEN**

**Introducción:**

En Tena, la producción individual de cacao se ve limitada por problemas como: alta humedad del ambiente, ineficiente secado del fruto, contaminación (secado en carreteras), el escaso valor agregado y consumo interno.

**Objetivo:**

Evaluar la eficiencia de un sistema de secado solar directo para granos de cacao en Tena.

**Materiales y Métodos:**

Se construyó un secador solar directo de convención natural tipo carpa para un análisis experimental de secado para muestras de 5 kilogramos de cacao y evaluación de temperaturas en el sistema, velocidad de secado, humedad y eficiencia térmica.

**Resultados y Discusión:**

Durante el análisis experimental, la diferencia promedio de humedad del aire fuera y dentro del secador fue del 10 % en horas de mayor irradiación solar, en los primeros cinco días se perdió 40 % de la humedad en los granos de cacao, mientras que en los siguientes tres días se logró disminuir 7 % de la humedad. La eficiencia promedio del secador solar fue del 15,38 %. Esto indica un funcionamiento del secador de manera adecuada, los resultados obtenidos se encontraron dentro del rango del 3 % al 65 %.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

\* Autor para la correspondencia: Galo L. Cerda, Email: [galo.cerda@ikiam.edu.ec](mailto:galo.cerda@ikiam.edu.ec)



### **Conclusiones:**

La eficiencia del secador fue evaluada a través del secado de 5 kg de cacao fermentado, obteniéndose al final del proceso 3,72 kg de cacao con una humedad del 7 %. Los principales factores que afectan la eficiencia del secador son: la humedad relativa del sector, la radiación solar que incide sobre el secador solar y el área expuesta de cacao.

**Palabras clave:** cacao; eficiencia; energía solar; secado; Tena.

### **ABSTRACT**

#### **Introduction:**

In Tena, individual cocoa production is limited by problems such as: high humidity in the environment, inefficient drying of the fruit, contamination (drying on roads), low value added and internal consumption.

#### **Objective:**

To evaluate the efficiency of a direct solar drying system for cocoa beans in Tena.

#### **Materials and Methods:**

A tent-type natural convection and direct type solar dryer was constructed for an experimental drying analysis for 5 kg of cocoa beans and evaluation of temperatures in the system, drying speed, humidity and thermal efficiency.

#### **Results and Discussion:**

During the experimental analysis, the average difference in air humidity outside and inside the dryer was 10 % during the hours of higher solar irradiation, in the first five days 40 % of the humidity was lost in the cocoa beans, while in the following three days 7 % of the humidity was reduced. The average efficiency of the solar dryer was 15.38 %. This indicates an adequate operation of the dryer; the results obtained were within the range of 3 % to 65%.

#### **Conclusions:**

The dryer's efficiency was evaluated by drying 5 kg of fermented cocoa, obtaining at the end of the process 3.72 kg of cocoa with a humidity of 7 %. The main factors affecting the dryer's efficiency are: the relative humidity of the sector, the solar radiation that falls on the solar dryer and the exposed area of cocoa.

**Keywords:** cocoa; drying; solar energy; efficiency; Tena.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es uno de los cultivos socioeconómicos más importantes de Ecuador (Herrera y col., 2022), es originario de la cuenca alta del Amazonas (Zarrillo y col., 2018); (Dostert y col., 2012). Valdez (2021) menciona que su cultivo y consumo como práctica ancestral es parte de la vida de familias campesinas principalmente en la región de Costa y en la Amazonía ecuatoriana, lo que le convierte en un cultivo de gran importancia económica, social, ambiental y cultural (Paredes y col., 2022).

En el año 2022, la superficie plantada con cacao a nivel nacional fue de 591557 hectáreas, el 76,4 % corresponde a la región de Costa, mientras que el 14,2 % y 9,4 %

---

corresponden a la región Sierra y región Amazónica respectivamente. En la Amazonía las provincias con mayor producción de cacao son Orellana (9823 toneladas), Sucumbíos (7338 toneladas) y Napo (3713 toneladas), (ESPAC, 2022).

La provincia de Napo es conocida por ser una región importante para la producción de cacao, especialmente para la variedad de cacao fino de aroma (CFA), criollo y trinitario (Pozo, 2016). En el año 2022 se registró 6822 hectáreas de cacao plantadas con una producción de 3713 toneladas (rendimiento de 0,54 t/ha) (ESPAC, 2022). Se fomenta el sistema ancestral kichwa de producción, investigación y comercialización de alimentos agroecológicos “Chakra” reconocido legalmente por el gobierno provincial de Napo en 2017 (Puga, 2022); (FAO, 2020).

Apoyar medios de subsistencia de los pequeños agricultores en esta región es una prioridad para muchas agencias de desarrollo y el gobierno nacional (Viteri y col., 2018). Según Pozo (2016) existen alrededor de 10 organizaciones en la provincia de Napo que participan en la producción, acopio, fermentado, secado (marquesina) y comercialización, este producto se dirige a Kallari, Winak y exportadores nacionales. Estas organizaciones involucran al 25 % de los productores de cacao en Napo. Mientras que el 75 % restante son pequeños productores que trabajan individualmente, quienes comercializan el grano de cacao en baba o lo fermentan y secan de manera inadecuada en la mayoría de los casos. Además, comercializan su producto a través de intermediarios locales, con costos que van desde los 0,20 ctvs de dólar estadounidense por libra de cacao en baba a 1,00 dólar estadounidense por libra de cacao seco.

En la producción y procesamiento de cacao de forma individual se evidencian problemas con la cadena de suministro de cacao como: alta humedad en el cultivo por condiciones climáticas, poca precisión en tiempos de entrega de productos, ineficiente secado del fruto que influye en la calidad y su contaminación (secado en carreteras), el escaso valor agregado y consumo interno, entre otros (Cañadas y Sablón, 2019).

El aroma y contenido de polifenoles de los productos del cacao no dependen únicamente del cultivo, sino también en gran medida de la fermentación, el secado y el tostado (Vázquez y col., 2016). Además, el secado implica un proceso de fermentación residual, siendo más favorable el secado natural por las menores pérdidas de compuesto fenólicos (Menéndez y Burgos, 2021) y óptimo aprovechamiento del recurso energético solar (Restrepo y Burbano, 2005).

El objetivo del presente estudio es evaluar la eficiencia de un sistema de secado solar directo para granos de cacao en Tena.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para el desarrollo de este estudio se construyó un prototipo de secador solar directo, tipo carpa de convección natural, tomando en cuenta equipos y métodos reales de secado de granos de cacao en comunidades y pequeña industria de los cantones de Napo. Este equipo es una alternativa de bajo costo y fácil construcción, así lo afirma Coyoy, (2017). Además, Vergara (2019) indica que su utilización es amplia, en diversas regiones del mundo, especialmente en áreas rurales donde no se cuenta con acceso a energía eléctrica o combustibles fósiles.

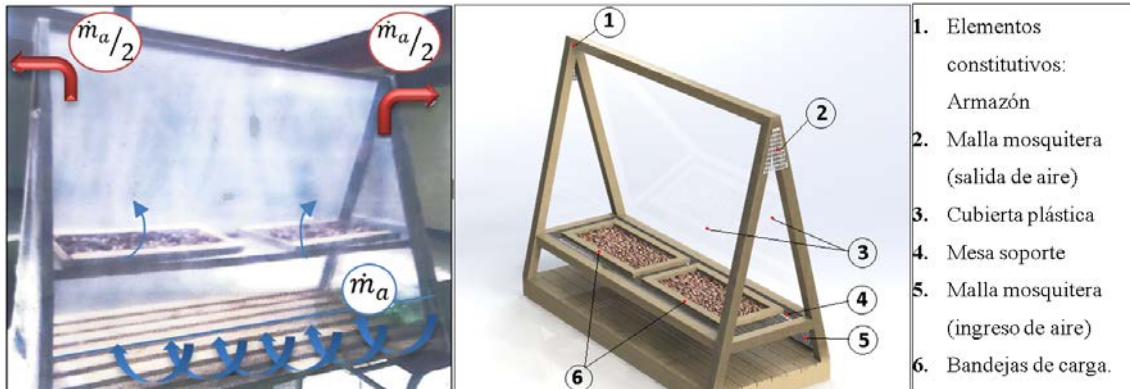
A continuación, se detalla información sobre los equipos utilizados, la muestra de cacao, las condiciones meteorológicas del campus Ikiam (lugar en donde se realizó el

---

estudio experimental: parroquia Muyuna del cantón Tena) y parámetros de rendimiento térmico.

### 2.1. Secador solar y equipos de medición

El sistema de secado se enfoca en el máximo aprovechamiento de la radiación solar (López y Chávez, 2018), sus aberturas de ventilación ubicadas en la parte superior e inferior permiten el flujo de aire por convección natural. Su estructura, cubierta y bandejas de carga, se construyeron en madera de pino, polietileno de baja densidad para cubierta y malla plástica de polietileno negro (Figura 1) para permitir la transferencia de calor, calentamiento de la cámara de secado y salvaguardar el grano de cualquier contaminante.

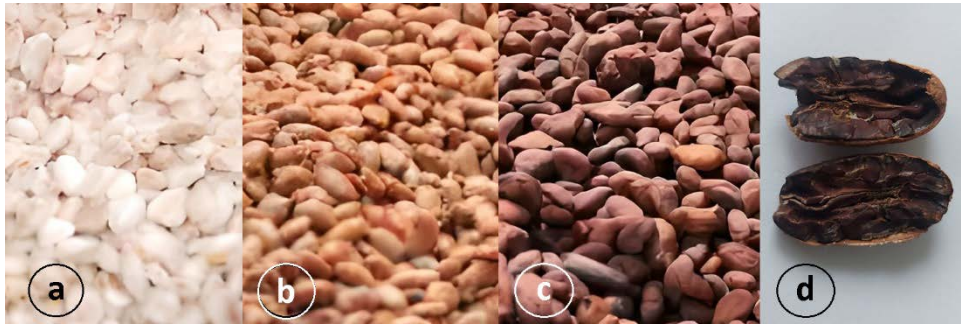


**Figura 1.** Secador solar tipo carpa construido para evaluación de parámetros de secado

Al ser un prototipo de estudio sus dimensiones en área de base y altura son  $0,4 \text{ m}^2$  y  $0,8 \text{ m}$  respectivamente. Cuenta con una mesa soporte ubicada a  $0,2 \text{ m}$  de la base del secador, las dos bandejas de carga son de  $0,20 \times 0,40 \times 0,05 \text{ m}$ , con capacidad conjunta de  $0,008 \text{ m}^3$ . Se consideró un área de secado total de  $0,16 \text{ m}^2$ , para permitir un espesor de capa de granos de cacao no mayor a  $0,05 \text{ m}$ . Para la adquisición de datos se utilizó un data logger HOBO de temperatura y humedad relativa, un anemómetro digital portátil y una balanza analítica WT600 (RADWAG). Datos adicionales como radiación global y difusa, humedad relativa y velocidad del viento se obtuvieron de los datos tomados por la estación meteorológica M5147 (Ikiam) del INAMHI.

### 2.2. Granos de cacao

Se utilizaron  $5 \text{ kg}$  de cacao nacional fresco cuyo volumen fue de  $0,005 \text{ m}^3$  (figura 2). El proceso de fermentación se realizó en un cajón de madera bajo las indicaciones dadas por Paredes y col., (2022), el porcentaje de humedad promedio en granos de cacao fermentado fue de  $54 \%$ .



**Figura 2.** Granos de cacao: a) fresco, b) fermentado, c y d) seco

### 2.3. Condiciones Meteorológicas

#### 2.3.1. Temperatura y Humedad relativa del sector de estudio

La tabla 1 muestra los valores promedios como resultado del monitoreo de la estación meteorológica en Ikiam de temperatura y humedad relativa a partir del 2016 mostrado por Carrión y col., (2023). Además, durante el estudio experimental del secador, la adquisición de datos se realizó in situ, con la utilización del datalogger HOBO de temperatura y humedad relativa.

**Tabla 1.** Valores promedio de parámetros climatológicos en campus Ikiam

Mes	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)		
	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima
Enero	22,38	17,77	32,25	92,83	21,95	100
Febrero	22,94	17,97	32,12	92,10	46,10	100
Marzo	22,62	17,17	33,27	92,94	44,71	100
Abril	22,93	18,06	32,74	92,34	47,92	100
Mayo	22,70	17,34	32,01	93,19	48,35	100
Junio	22,16	17,53	31,32	93,07	50,54	100
Julio	21,76	16,30	32,03	91,91	29,35	100
Agosto	22,39	16,71	34,14	90,25	13,67	100
Septiembre	22,89	15,87	33,51	89,20	40,09	100
Octubre	23,12	16,40	33,50	90,32	39,37	100
Noviembre	23,31	17,48	32,86	91,67	44,06	100
Diciembre	23,05	16,61	32,57	92,07	44,79	100

#### 2.3.2. Radiación solar

La estación meteorológica de Ikiam mide datos de radiación global y difusa, con lo cual es posible obtener los valores de radiación directa. El intervalo de tiempo analizado fue desde enero 2018 hasta diciembre 2022 (cinco años). La figura 3 muestra la radiación directa media, por meses y por horas del día. Se puede apreciar que los mayores valores de radiación solar se encuentran entre octubre y diciembre.

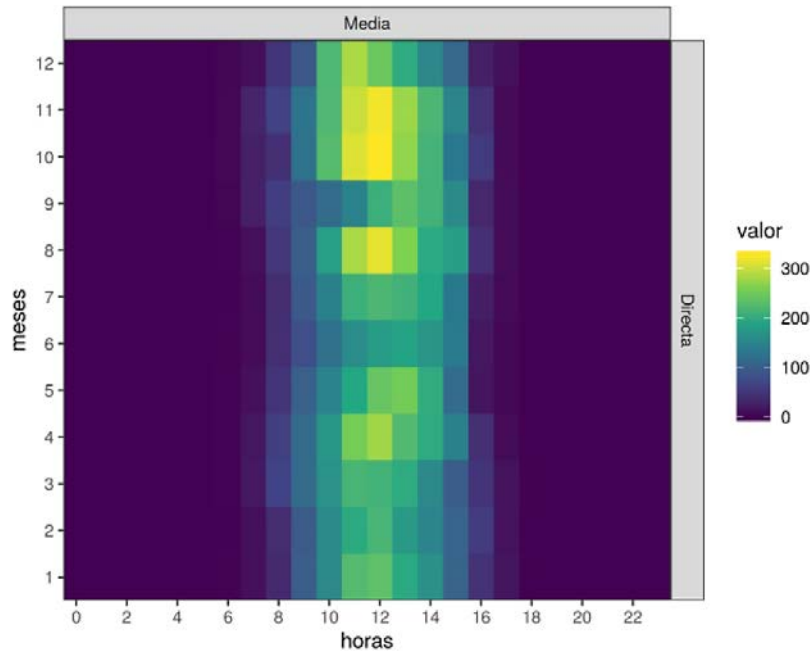


Figura 3. Radiación solar directa media [ $W/m^2$ ]

#### 2.4. Parámetros de rendimiento térmico

Se planteó la evaluación de parámetros importantes en el proceso de secado como son: variación del contenido de humedad de granos de cacao, velocidad de secado, temperaturas dentro del secador, eficiencia del sistema de secado, en búsqueda de un mejor entendimiento del proceso de secado.

##### 2.4.1. Flujo másico del aire

Bajo la consideración de flujo másico de aire constante que ingresa al secador solar sin carga, se pudo evaluar el flujo másico de ingreso y salida  $ma(kg/s)$  a través de la ecuación (1):

$$\dot{m}_a = \rho_a * A_i * v_i = \rho_a * A_s * v_s \quad (1)$$

donde  $\rho_a$  es la densidad del aire ( $kg/m^3$ ),  $A_i$  la sección de ingreso ( $m^2$ ),  $v_i$  la velocidad del fluido a la entrada ( $m/s$ ),  $A_s$  la sección de salida ( $m^2$ ) y  $v_s$  la velocidad del fluido a la salida del secador ( $m/s$ ). Esta evaluación permitió definir las secciones de ingreso y salida de aire e identificar una posible concentración de calor o problemas de ventilación para garantizar la seguridad en el funcionamiento del secador.

##### 2.4.2. Velocidad de secado

Para hallar la velocidad de secado inicialmente se determinó el contenido de humedad después de cada muestreo, pesando los granos de cacao antes y después del secado diario. El contenido de humedad  $H_t$  (%), se expresó en base seca de acuerdo a la ecuación (2), (Geankoplis, 1998); (López y Chávez, 2018)

$$H_t = \frac{(W_i - W_s) * 100}{W_s} \quad (2)$$

donde  $W_i$  es el peso de la muestra antes del secado ( $kg$ ) y  $W_s$  es el peso de la muestra seca ( $kg$ ).

El contenido de humedad libre  $H$  (%), se evaluó a través de la diferencia entre el contenido de humedad  $H_t$  y el contenido de humedad de equilibrio  $H_e$  (%), como

muestra la ecuación (3), (López y Chávez, 2018).

$$H = H_t - H_e \quad (3)$$

Para productos alimenticios existen ecuaciones que permiten predecir el contenido de humedad de equilibrio en función de las condiciones ambientales (Restrepo y Burbano, 2005), en este estudio se determinó a través del modelo matemático modificado presentado por Henderson (Guachamin, 2007), (Llerena, 2013), según la ecuación (4):

$$H_e = \frac{1}{100} * \left( \frac{\ln(1-H_r)}{-c_1(T+c_2)} \right)^{\frac{1}{c_3}} \quad (4)$$

donde,  $H_r$  es la humedad relativa expresada en decimales,  $T$  la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ). Los valores de las constantes  $c_1$ ,  $c_2$  y  $c_3$  para el cacao son 4,1942, 0,0 y 2,7296 respectivamente.

La velocidad de secado  $R$  ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{día} * \text{m}^2$ ), es una tasa de eliminación de agua que cada grano posee, la evaluación se efectuó por hora, la cual debe respetarse para evitar el deterioro del mismo (Geankoplis, 1998); (Tinoco y Ospina, 2010); (Jiménez y col., 2016), esta velocidad se define por la ecuación (5):

$$R = -\frac{m_s}{A} * \frac{dH}{dt} \quad (5)$$

donde  $m_s$  es la masa de la muestra seca ( $\text{g}_{\text{s seco}}$ ),  $A$  el área expuesta al secado ( $\text{m}^2$ ) y  $\frac{dH}{dt}$  es la tasa de cambio de humedad en el tiempo de los granos de cacao ( $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{s seco}} * \text{día}$ ).

### 2.4.3. Eficiencia del secado y sistema de secador solar

La eficiencia del secado se utiliza habitualmente para representar el rendimiento del secador (Ekechukwu y Norton, 1999). León y col., (2002) afirma que la eficiencia del sistema de un secador solar es una medida de la eficacia con la que la energía que ingresa (radiación solar) al sistema de secado se utiliza para secar el producto. Para el secador solar de convección natural estudiado, la eficiencia  $\eta_{ss}$  (%) se calculó a través de la ecuación (6).

$$\eta_{ss} = \frac{W * L}{I * A} * 100 \quad (6)$$

donde,  $W$  es la cantidad de agua evaporada del grano de cacao ( $\text{kg}$ ),  $L$  es el calor latente de vaporización del agua a la temperatura del aire de salida ( $\text{J}/\text{kg}$ ),  $I$  es la radiación solar media horaria sobre la superficie de secado ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ ) y  $A$  es el área expuesta al secado ( $\text{m}^2$ ).

### 2.5. Cálculos y análisis de datos

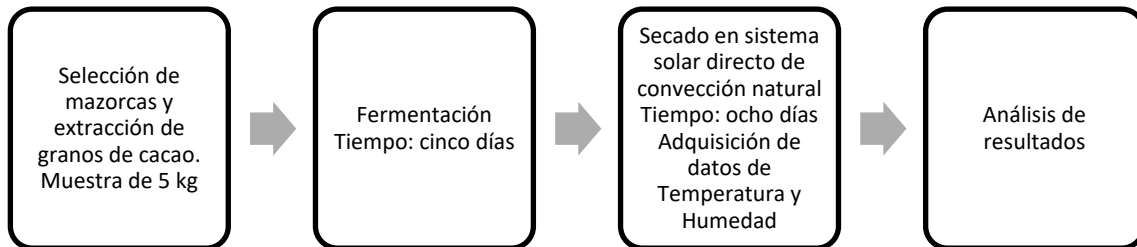
Los cálculos e interfaz gráfica para la obtención de las curvas de secado se realizaron en los softwares Matlab y *Microsoft Excel*. Se analizó la temperatura y humedad relativa al interior del secador, la velocidad de secado, el flujo másico de aire en el secador y la eficiencia del sistema de secado. Además, se obtuvieron las curvas, velocidad y tiempo de secado.

### 2.6. Análisis experimental

El procedimiento utilizado para la obtención de la muestra de cacao a secar, proceso de



secado y adquisición de datos de temperatura y humedad se detallan en la figura 4. Se registraron valores de humedad y temperaturas al ingreso y salida del secador y en cada bandeja de secado, en un horario de 9.00 horas a 17.00 horas, durante ocho días. Se realizaron tres corridas experimentales, al inicio y final de cada una se pesaron los granos de cacao.

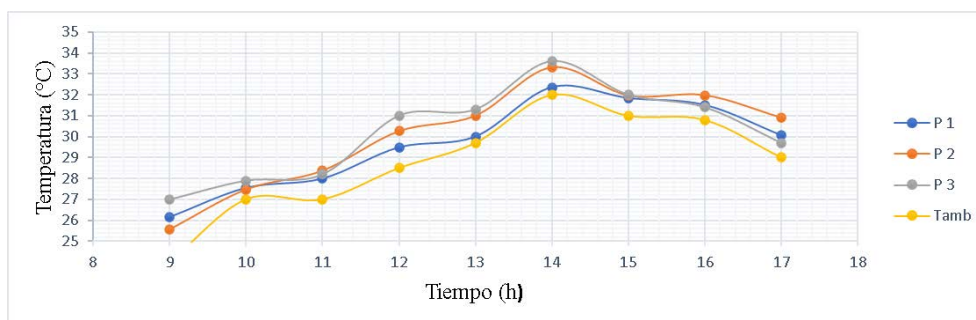


**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso de fermentación y secado de cacao

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

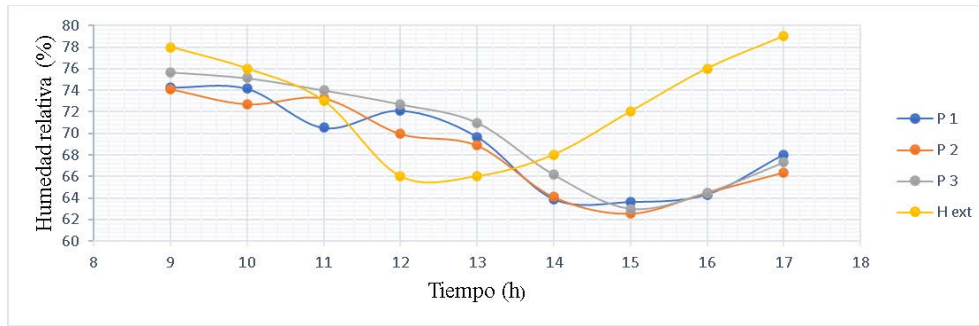
Partiendo de la premisa que indica: a medida que aumenta la temperatura del aire, puede absorber más líquido disponible y, por lo tanto, disminuye la humedad relativa, se explican las tendencias presentadas en las figuras 5 y 6. En horas de la mañana desde las 9:00 a 11:00 se registra la menor temperatura (26,23 °C) y mayor humedad relativa (74,69 % del aire). A medida que asciende la temperatura desde las 12:00 a las 16:00 horas, la humedad relativa desciende proporcionalmente, el valor mínimo registrado es 63,06 %, tendencia que se contrapone a partir de las 16:00a 17:00 horas, en donde la temperatura desciende nuevamente (30,22 °C) y la humedad empieza a aumentar (67,23 %).

Además, en la figura 5 se puede observar que la temperatura ambiente es en promedio 2°C menor respecto a la temperatura registrada junto a las bandejas de secado. Esto indica que el secador está funcionando de manera adecuada ya que la masa del aire está caliente y pasa a través de los granos quitándole la humedad; estos resultados son consistentes con González y col., (2014).



**Figura 5.** Datos promedio de temperatura en el interior del secador de cacao registrados durante ocho días



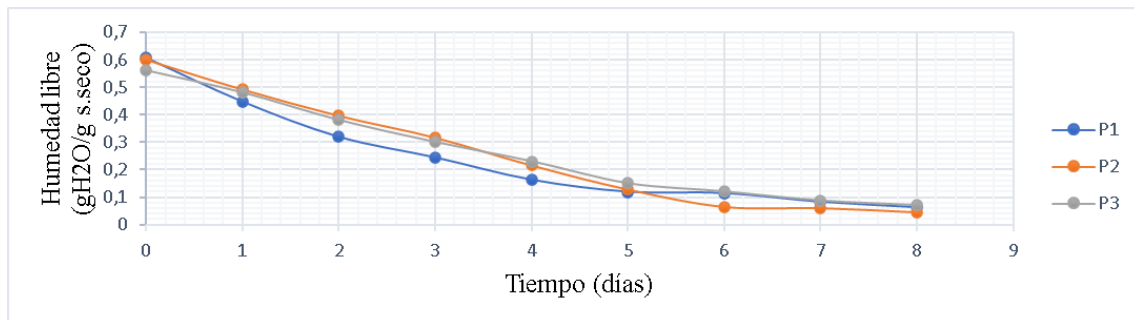


**Figura 6.** Datos promedios de humedad relativa en el interior del secador de cacao registrados durante ocho días

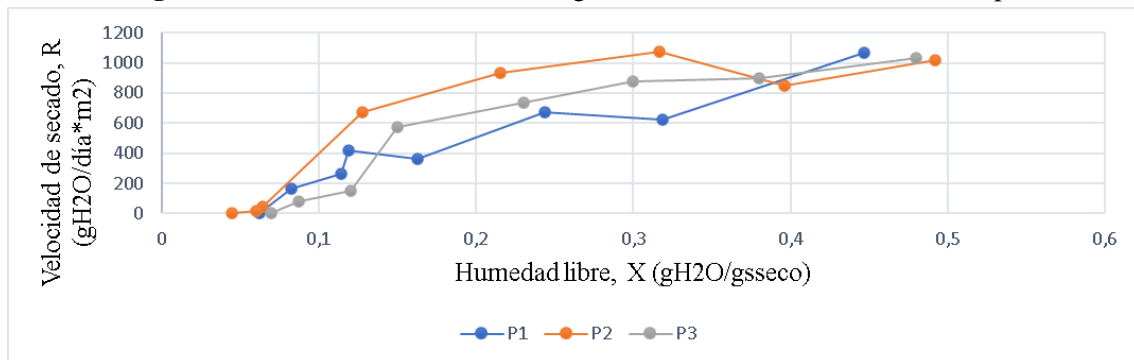
Con respecto a la humedad del aire al exterior del secador, se observó que a partir de las 14.00 horas, existió una diferencia notoria entre la humedad del aire que está fuera y dentro del secador, la diferencia promedio fue del 10 %.

Las curvas de humedad libre y velocidad de secado de granos de cacao (figuras 7 y 8), se obtuvieron mediante el procedimiento descrito por Ibarz y Barbosa, (2005). A través de estas figuras se identificaron dos fases de secado con velocidad decreciente, una fase inicial de secado rápido durante los cinco primeros días con velocidades de secado registradas en el intervalo de 1070,59 a 418,4  $g_{H2O}/día * m^2$  seguida de una fase de secado lenta cuando el contenido de humedad libre disminuye con velocidades de secado registradas en el intervalo de 265,0 a 16,47  $g_{H2O}/día * m^2$ , por esta razón la velocidad de secado de los granos de cacao fue mayor para valores de humedad superiores al 13 %.

La humedad de equilibrio calculada fue de 0,002  $g_{H2O}/g_{s seco}$ , valor muy similar al obtenido por Saza y Jiménez, (2020).



**Figura 7.** Curva de humedad libre de granos de cacao en función del tiempo



**Figura 8.** Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre

En los primeros cinco días se perdió 40 % de la humedad en los granos de cacao, mientras que, en los siguientes tres días solo se logró disminuir 7 % de la humedad, este tiempo de secado se atribuye al clima mega térmico con elevada humedad que posee Tena. La mayor caída de humedad se debe a la evaporación de la superficie del grano del mucílago y de la testa, Chávez (2020) menciona que el mucílago tiene un efecto negativo en la pérdida de humedad del grano por lo que limita el efecto de secado. Se podría disminuir el tiempo de secado al incluir un material absorbente o un colector solar para disminuir la humedad del aire al ingreso del secador. Este dispositivo puede aprovechar la energía solar para calentar el aire antes de ingresar al secador, el calentamiento reduciría la humedad relativa del aire y podría mejorar su capacidad para absorber humedad de los granos de cacao.

Por otro lado, según Hii y col., (2009), la difusividad en cada etapa es una función tanto de la temperatura del grano como del contenido de humedad que lo rodea. Por ello, disminuir la humedad del grano que se encuentra en el centro del mismo es más difícil por lo que se necesita de mayor tiempo. La humedad final promedio del grano fue de 7%. Durante la actividad práctica y con la adquisición de datos por día se evidenció una ganancia de humedad ambiental durante la noche a pesar de haber cerrado la entrada del aire al secador, esta ganancia se debió al aumento de la humedad relativa del aire exterior filtrado. Además, para este tipo de secadores naturales se debe considerar el contenido de humedad del aire. Según Cardona y col., (2021), esta humedad debe ser baja para que su actividad acuosa sea menor que la del producto y se pueda dar así la fuerza impulsora del secado. Por ello, se recomienda aislar la cámara de secado para evitar la entrada de aire húmedo del ambiente y así que los granos recuperen su contenido de humedad durante el secado.

Geankoplis (1998) menciona que durante el proceso de secado ocurren dos fenómenos, la deshidratación externa o superficial (Etapa 1) e interna (Etapa 2). La etapa 1 se caracteriza por presentar una velocidad de secado constante donde se evapora uniformemente la humedad superficial del producto. Mientras que en la etapa 2 se da un periodo de secado de rapidez decreciente, donde la humedad interna sale hacia la superficie para posteriormente evaporarse. En la figura 8 se observa que la pérdida de humedad se da con una velocidad decreciente y esto implica que las pérdidas de humedad van disminuyendo con el tiempo, por esta razón el tiempo de secado fue de ocho días. Según Tinoco y Yomali, (2010), para disminuir el tiempo de secado es importante que la velocidad permanezca constante en la etapa 1, ya que esto garantiza una pérdida de humedad constante en un intervalo de tiempo más corto, situación que no pudo controlarse en el secador debido a la alta variación de temperatura ambiental y elevada humedad relativa en Tena.

La eficiencia promedio calculada del sistema de secado fue del 15,38 %, valor comparable con la eficiencia promedio de un secador solar tendalero con torre central en convección natural para pimentón igual al 10 % (Iriarte y col., 2011), con el secador solar de granos con cubierta de polietileno transparente sobre plataforma con una eficiencia que varía de 5 % al 13 % estudiado por Bergues y col., (2008) o con los secadores solares pasivos estudiados por Mealla y Morales, (2013) con eficiencias que se encuentran en el intervalo del 13,9 % al 65 % (eficiencia de un secador solar directo

---



reducen las probabilidades de contaminación del producto a secar, además que aumentarían los ingresos económicos, al vender la libra de cacao a un costo mínimo de un dólar americano.

## REFERENCIAS

- Bergues, C., Griñan, P., y Martínez, A., Algunos aspectos de los cambios tecnológicos en secadores solares cubanos: Realidades y Tendencias., *Chemical Technology*, Vol. 28, No. 2, 2008, pp. 35-45. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543756005>
- Cañadas, I., y Sablón, N., Análisis de la cadena de suministro de cacao en el contexto de la Amazonia ecuatoriana., *ECA Sinergia*, Vol. 10, No. 2, 2019, pp. 17–28. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/ECASinergia/article/view/1483/1983>
- Cardona, D., Patiño, L., y Ormaza, A., Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersion., *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, Vol. 22, No. 1, 2021, pp. 1–21. <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1899/818>
- Carrión, K., Ortega, J., y Rivela, B., Recomendaciones para la aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas en un clima mega térmico lluvioso, Tena-Ecuador., *Ciencia Digital*, Vol. 7, No. 2, 2023, pp. 95–118. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/2554/6231>
- Chavan, A., Vitankar, V., Mujumdar A., & Thorat, B., Natural convection and direct type (NCDT) solar dryers: a review., *Drying Technology*, Vol. 39, No. 13, 2021, pp. 1969–1990. <https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1753065>
- Chávez, A., Efecto de las condiciones de fermentación y secado, en las características físico químicas del cacao (*Theobroma cacao* L.); cultivar CCN 51., Tesis presentada en opción al título de Master en Ciencias en Tecnología de Alimentos en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, 2020, pp. 23–44. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4334/chavez-salazar-angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Coyoy, J., Diseño y construcción de un deshidratador solar para secado de paraíso blanco (*moringa oleífera* Lam) en la zona oriente de Guatemala., Proyecto de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Químico en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2017. <https://core.ac.uk/reader/94669202>
- Dostert, N., Roque, J., Cano, A., La Torre, M., Weigend, M., y Luebert, F., Hoja botánica: Cacao – *Theobroma cacao* L., Vol. 1, D38/08-19, Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C, 2012, pp. 3-5. <https://repositoriodigital.minam.gob.pe/bitstream/handle/123456789/185/BIV01202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ekechukwu, O., & Norton, B., Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology., *Energy Conversion and Management*, Vol. 40, No. 6, 1999, pp. 615–655. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(98\)00093-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(98)00093-4)
-

- ESPAC., Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Estadísticas Agropecuarias., Visualizador de estadísticas – Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC., 2022. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2022/Tabulados%20ESPAC%202022.xlsx](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Tabulados%20ESPAC%202022.xlsx)
- FAO., Evaluación final de: Conservación y uso sostenible de la biodiversidad, los bosques, el suelo y el agua como medio para lograr el buen vivir/Sumac Kawsay en la provincia de Napo (FSP)., Serie de evaluaciones de proyectos, 2020, pp. 24–39. <http://www.fao.org/3/ca9458es/ca9458es.pdf>
- Geankoplis, C.J., Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias., Tercera edición, Compañía Editorial Continental S.A., 1998, pp. 597–609.
- González, C., Sanz, J., y Oliveros, C., Control de caudal y temperatura de aire en el secado mecánico de café., *Cenicafé*, Vol. 61, No. 4, 2014, pp. 281–296. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(04\)281-296.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(04)281-296.pdf)
- Guachamin, C., Diseño de un secador de granos de cacao fino., Tesis de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Mecánico en la Escuela Politécnica Nacional, 2007, pp. 36–38. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/790/1/CD-1238.pdf>
- Herrera, R., Vásquez, S.C., Granja, F., Molina, M., Capa, M., & Guamán, A., Interacción de N, P y K sobre características del suelo, crecimiento y calidad de fruto de cacao en la Amazonía Ecuatoriana., *Bioagro*, Vol. 34, No. 3, 2022, pp. 277–288. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8554071>
- Hii, C., Law, C., & Cloke, M., Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa., *Journal of Food Engineering*, Vol. 90, No. 2, 2009, pp. 191–198. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.022>
- Ibarz, A., y Barbosa. G., Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos., Ediciones Mundi-Prensa, 2005, pp. 588–590.
- Iriarte, A., Bistoni, S., Watkins, M., Luque, V., Sanchez, H., y Brizuela, L., Análisis de un secadero solar tendalero con torre central en convección natural., *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 15, No. 1, 2011, pp. 25–32. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/14623/CONICET\\_Digital\\_Nro.17910.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/14623/CONICET_Digital_Nro.17910.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jiménez, F., Ortégón, C., y Ortega, D., Análisis del proceso de deshidratación de cacao (*Theobroma cacao* L.) en túnel de secado continuo., *Agronomía Colombiana*, Vol. 34, No. 1, 2016, pp. 336–339. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/analisis-del-proceso-de-deshidratacion-de-cacao-theobroma-cacao-l-en-tunel-de-secado-continuo>
- León, M.A., Kumar, S., & Bhattacharya, S., A comprehensive procedure for performance evaluation of solar food dryers., *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 6, No. 4, 2002, pp. 367–393. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00005-9)
- López, I., y Chávez, E., Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Tabasco., *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 21, 2018, pp. 4395–4405. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1528/1849>
- Llerena, W., Cinética del secado en las almendras fermentadas de cacao (*Theobroma*
-

- Cacao L.*) variedad CCN51., Investigación y Desarrollo, Vol. 6, No 2, 2013, p. 65-70. <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/dide/article/view/60/53>
- Mealla, L., y Morales, J., Análisis del comportamiento térmico de un secador solar pasivo en tres distintas configuraciones., Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA, 2013, vol. 17, p. 03.25-03.32. [http://asades.org.ar/revistaaverma/Analisis%20del%20comportamiento%20termico%20de%20un%20secador%20solar%20pasivo%20en%20tres%20distintas%20Configuraciones.%20L.%20Mealla%20Sanchez,%20J.%20Morales%20Olaciregui%20\[2013%20-%20Tema%20%20203\].pdf](http://asades.org.ar/revistaaverma/Analisis%20del%20comportamiento%20termico%20de%20un%20secador%20solar%20pasivo%20en%20tres%20distintas%20Configuraciones.%20L.%20Mealla%20Sanchez,%20J.%20Morales%20Olaciregui%20[2013%20-%20Tema%20%20203].pdf)
- Menéndez, L., y Burgos, G., Efectos de la fermentación y secado en el contenido de polifenoles y alcaloides del cacao., Ciencias Técnicas y Aplicadas, Vol. 7, No. 5, 2021, pp. 1280–1304. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8383827.pdf>
- Paredes, N., Monteros, Á., Lima, L., Caicedo, C., Tinoco, L., Fernández, F., Vargas, Y., Pico, J., Subía, C., Burbano, A., Chanaluiza, A., Sotomayor, D., Díaz, A., Intriago, J., Chancosa, C., Andrade, A., y Enríquez, G., Manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía Ecuatoriana N°125., Ed. 1, 2022, pp. 15–42. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5833/1/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20CACAO%20SOSTENIBLE%20PARA%20LA%20AMAZONIA%20ECUATORIA%20N%C2%B0125.pdf>
- Pozo, C., Plan de cadena de valor para cacao en la provincia de Napo., Ministerio del Ambiente, 2016, pp. 10–16. <https://info.napo.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/planCadenaCacaoNapo.pdf>
- Puga, E., Encuentros de políticas de cambio climático en la Amazonía centro ecuatoriana: un acercamiento a través de los pequeños productores Kichwas de la Asociación Agroartesanal Wiñak., Tesis presentada en opción al título de Master en Estudios Socioambientales en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales – Flacso Ecuador, Quito, 2022, pp. 1–5. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/18180/2/TFLACSO-2022EAPA.pdf>
- Restrepo, Á., y Burbano, J., Disponibilidad térmica solar y su aplicación en el secado de granos., Scientia et Technica, Vol. 1, No. 27, 2005, pp. 127–132. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4838419.pdf>
- Saza, J., y Jiménez, J., Determinación de condiciones ambientales para la conservación de granos de cacao (*Theobroma cacao L*) deshidratado durante el almacenamiento., Revista Sistemas de Producción Agroecológicos, Vol. 11, No. 1, 2020, pp. 2-32. <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/461/821>
- Simo-Tagne, M., Tamkam, D., Tagne, A., Ndukwu, M., & El Marouani, M., Energy, environmental and economic analyses of an indirect cocoa bean solar dryer: A comparison between natural and forced convections., Renewable energy, Vol. 187, 2022, pp. 1154-1172. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.015>
- Tinoco, H.A., y Yomali, D., Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado., Revista EIA, No. 13, 2010, pp. 53–63. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n13/n13a05.pdf>
-

- Valdez, F., El cacao fino de aroma, el cacao ancestral emblemático del Ecuador., Patrimonios Alimentarios En América Latina: Recursos Locales, Actores y Globalización, 2021, pp. 135–159. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.43132>
- Vázquez, A., Ovando, I., Adriano, L., Betancur, D., y Salvador, M., Alcaloides y polifenoles del cacao, mecanismos que regulan su biosíntesis y sus implicaciones en el sabor y aroma., Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Vol. 66, No. 3, 2016, pp. 239–254. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222016000300010&lng=es&nrm=is0](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000300010&lng=es&nrm=is0)
- Vergara, S., Estudio del comportamiento térmico de un secadero solar tipo domo para productos agrícolas., Tesis presentada en opción al título de Máster en Sistemas de Energía Térmica en la Universidad de Sevilla, 2019, pp. 12-17. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/95057/TFM-1566-VERGARA%20DAVILA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Viteri, O., Ramos, J., & Lomas, P., Livelihood sustainability assessment of coffee and cocoa producers in the Amazon region of Ecuador using household types., Journal of Rural Studies, Vol. 62, 2018, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.06.004>
- Zarrillo, S., Gaikwad, N., Lanaud, C., Powis, T., Viot, C., Lesur, I., Fouet, O., Argout, X., Guichoux, E., Salin, F., Solorzano, R. L., Bouchez, O., Vignes, H., Severts, P., Hurtado, J., Yopez, A., Grivetti, L., Blake, M., & Valdez, F., The use and domestication of *Theobroma cacao* during the mid-Holocene in the upper Amazon., Nature Ecology and Evolution, Vol. 2, No. 12, 2018, pp. 1879–1888. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0697-x>

## **CONFLICTO DE INTERÉS**

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## **CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES**

- M.Sc. Rocío Guapulema Maygualema. Gestión de proyectos, investigación, supervisión, redacción - revisión y edición.
  - M.Sc. Galo Leonardo Cerda Mejía. Metodología, redacción - revisión y edición.
  - Dr.C. Jorge Manuel Ríos Obregón. Análisis formal, conservación de datos.
  - Dr.C. Víctor Rodrigo Cerda Mejía. Metodología, conservación de datos.
-