

EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA CACAO EN LA REGIÓN NORTE DE GUATEMALA

Josué Bocel
jibocel@uvg.edu.gt,

Donovan Gómez
degomez@uvg.edu.gt,

Ana Silvia Colmenares
asruiz@uvg.edu.gt,

Isabel Alonzo
ialonzo@uvg.edu.gt,

Edwin De León Rangel
edeleon@uvg.edu.gt,

Edwinth Rodríguez
eerodriguez@uvg.edu.gt,

Rolando Cifuentes
rcifuen@uvg.edu.gt

**Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios,
CEAA**

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar un secador solar para complementar el proceso de secado en las distintas asociaciones productoras de cacao. La evaluación se llevó a cabo en Lachuá (asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR), Cahabón (asociación ADEMAYACH) y en Polochic (asociación APODIP), Alta Verapaz. El prototipo utilizado es un secador que utiliza como fuente de energía el calor de la radiación del sol de forma indirecta. La estructura cuenta con un colector de aire, cámara de secado utilizando bandejas y la salida de aire caliente húmedo. En cada una de las asociaciones se colocaron 2 secadores cuyo desempeño se comparó con el secado tradicional. Se realizaron 3 ensayos. En el primer ensayo el material fermentado se colocó directamente en la cámara de secado sin pasar por un proceso de aireación previo. En el segundo ensayo el material fermentado pasó por un proceso de aireación de 8 h simulando la condición del secado convencional. En uno de los secadores se colocó una carga de cacao fermentado similar a la carga del secado convencional para un área similar al de las bandejas de secado. En el otro secador se colocaron 2/3 de la carga convencional. En el tercer ensayo se utilizó una carga uniforme en los dos secadores y la diferencia consistió en que el cacao fermentado de un secador se trató igual al proceso del ensayo 1 y en el segundo secador se trató similar al ensayo 2. Ambos comparados con el tratamiento convencional. En todos los ensayos se colocaron muestras de 100g de cacao fermentado para monitorear la pérdida de peso del material como resultado de la pérdida de humedad. El tiempo de secado varió de 5 a 31 días (secado convencional en KATBALPOM, Lachuá), siendo 6 a 14 días el rango más común. El microclima de la región incidió en el tiempo de secado. Días con lluvia y alta humedad relativa prolongaron el tiempo de secado en el método convencional, especialmente en la asociación KATBALPOM. La pérdida de peso de la muestra control fue mayor cuando el cacao fermentado se sometió a un proceso de aireación de 8 horas simulando el tratamiento convencional. Sin embargo, la variación en el tiempo de secado para alcanzar 7.5% de humedad fue similar entre los diferentes secadores. En los tres ensayos no se encontró diferencia estadísticamente significativa en el valor medio de la temperatura registrada entre las bandejas de secado. Tampoco se encontró diferencia entre la carga de cacao utilizado entre secadores y el secado convencional. La máxima temperatura alcanzada en los secadores y el sistema convencional varió de 50 a 60 °C y la temperatura media varió de 29 a 33 °C. El tiempo de secado dependió principalmente del microclima de la región y de la estructura de secado. De acuerdo a los centros de acopio, los secadores evaluados complementan las actividades de secado y permiten obtener un cacao más limpio. Estas unidades podrían funcionar mejor en época de verano.

PALABRAS CLAVE: Cacao, secado de cacao, dinámica de secado, secador solar.

ABSTRACT

EVALUATION OF A SOLAR DRYER PROTOTYPE FOR COCOA IN THE NORTHERN REGION OF GUATEMALA

The objective of this study was to design and evaluate a solar dryer to complement the drying process in the different cocoa producing associations. The evaluation was carried out in Lachuá (KATBALPOM, ASODIRP and ABOSELNOR associations), Cahabón (ADEMAYACH association) and in Polochic (APODIP association), Alta Verapaz. The prototype used is a dryer that indirectly uses the heat of the solar radiation as an energy source. The structure consists of an air collector, a drying chamber using trays and an outlet for hot humid air. Two dryers were installed in each association and their performance was compared to traditional drying in 3 different trials. In the first trial, the fermented material was placed directly in the drying chamber without going through a previous aeration process. In the second trial, the fermented material passed through an 8-hour aeration process simulating the condition of conventional drying. A load of fermented cocoa similar to the load of conventional drying was placed in one of the dryers for an area similar to that of the drying trays. Two third parts of the conventional load was placed in the other dryer. In the last evaluation, a uniform load was used in the two dryers and the difference consisted in that the fermented cocoa of one dryer was treated the same as the process of test 1, and in the second dryer it was treated similar to that of trial 2. In the three trials, 100g of fermented cocoa were placed in a bag to monitor the weight loss of the material resulting from the loss of moisture. Drying time ranged from 5 to 31 days (conventional drying in KATBALPOM, Lachuá), with 6 to 14 days being the most common range. The microclimate of the region affected the drying time. Days with rain and high relative humidity prolonged the drying time in the conventional method, especially in the KATBALPOM association. The weight loss of the control sample was greater when the fermented cocoa was subjected to an 8-hour aeration process simulating the conventional treatment. However, the variation in drying time to reach 7.5% humidity was similar between the different dryers. In the three trials, no statistical difference was found in the mean value of the temperature recorded between the drying trays. Nor was there a difference between the load of cocoa used between dryers and conventional drying. The maximum temperature reached in the dryers and the conventional system ranged from 50 to 60 °C and the average temperature varied from 29 to 33 °C. The drying time depended mainly on the microclimate of the region and the drying structure. According to the collection centers, the dryers evaluated complement the drying activities and allow to obtain a cleaner cocoa. These units might work better during summer time.

KEY WORDS: Cocoa, coca drying, drying dynamics, solar dryer.

INTRODUCCIÓN

El cacao, *Theobroma cacao*, es un cultivo ancestral de importancia económica y cultural para el país (Rikolto, 2016).

Después de la cosecha es importante realizar la fermentación, en la cual los granos de cacao terminan con un porcentaje de humedad de entre 55 a 60%. Esta humedad debe reducirse mediante el secado a un valor entre 6 a 7% (Orna Chávez et al., 2018).

Durante el proceso de secado la temperatura debe alcanzar un rango de 40 - 60 °C. Para llevar a cabo el secado, este se realiza de forma natural aprovechando la radiación solar en un tiempo de 6 a 7 días. En algunos casos el secado se logra realizar de manera artificial con la ayuda de secadores tratando de optimizar el tiempo de secado (Orna Chávez et al., 2018).

El proceso de secado se basa en el movimiento de aire entre los granos para ayudar a disminuir la humedad. Los tiempos de secado varían dependiendo de las condiciones climáticas. El secado inicial debe ser lento por lo menos durante las primeras 48 horas y mover constantemente los granos. Si el secado queda incompleto, los granos quedarán húmedos y se puede desarrollar moho. Si el grano se seca a valores menores a 6%, la cáscara y el grano quedarán muy quebradizos (Cacao Móvil, n.d.).

El secado artificial utiliza métodos mecánicos para reducir el contenido de humedad de los granos de cacao. Este método es más costoso; sin embargo, resulta muy efectivo cuando las condiciones climáticas no son adecuadas para llevar a cabo el secado al sol (GrainPro, 2020).

Para que un secador funcione correctamente se deben tomar en cuenta el método por el cual se extrae el agua del grano y la eficiencia térmica para que se mantenga una temperatura interna adecuada que propicie la deshidratación. Otro factor para tomar en cuenta es el flujo de aire, el cual consiste en verificar que el agua en forma de vapor tenga un espacio en el secador por el cual salir, evitando que el ambiente se torne con altas temperaturas y alta humedad que generen moho en el cacao (Guachamín, 2008).

Entre los secadores más viables se encuentran secadores solares que tengan una estructura que aproveche el espacio en el cual se encuentra ubicado, que mantenga buena temperatura interna y que sea de fácil acceso y uso para los productores. Al ser secadores solares se disminuyen los costos (López et al., 2018).

En el país existen diversos centros de acopio y beneficiado de cacao con distintos niveles de desarrollo, capacidades y experiencias para el proceso de fermentado, secado y

empacado del grano. Las mejores experiencias en este proceso se encuentran en Alta Verapaz donde los beneficios presentan diferencias en el manejo del secado de cacao (Rikolto, 2016).

Con excepción de organizaciones como la Fundación Laguna Lachuá (FUNDALACHUA), Federación de Cooperativas de las Verapaces (FEDECOVERA, R.L.) y la empresa Cacao Verapaz, las cuales fermentan y secan cacao para la exportación con estándares de calidad definidos y que disponen de controles internos para manejar sus procesos, el resto de las cooperativas y asociaciones han ido instalando infraestructura de acopio y secado, pero aún presentan limitaciones en el proceso de beneficiado. La falta de infraestructura de procesamiento post cosecha no permite optimizar el proceso de secado que permita alcanzar la reducción del tiempo del proceso (Rikolto, 2016).

El objetivo de este estudio fue diseñar y evaluar un secador solar que pueda complementar el proceso de secado en las distintas asociaciones productoras de cacao.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio

El estudio se llevó a cabo en el año 2020 en las subregiones de Lachuá, Cahabón y Polochic ubicadas en el departamento de Alta Verapaz. En la subregión de Lachuá (Cobán) participaron las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR, ubicadas en las aldeas Salacuim, Rocja Pomtilá y Faisán I, respectivamente. En Cahabón participó la asociación ADEMAYACH, ubicada en la aldea San Juan Chivité del municipio de Santa María Cahabón. En Polochic participó la asociación APODIP ubicada en Aldea Campur, Santa Catalina La Tinta (Figura 1). En cada uno de los centros de acopio se instalaron 2 secadores.

Prototipo de secador

El prototipo utilizado para el secado de granos de cacao consistió en un secador que utiliza como fuente de calor la radiación del sol de forma indirecta. Se eligió basado en cuatro criterios principales que fueron: costo, tiempo de instalación, tiempo de secado y fuente de energía.

El prototipo utilizado es una modificación de modelos ya existentes (Arunraja et al. 2018; De Dios, 1996). Se trata de un secador solar con gabinetes y bandejas por la facilidad

que presenta en la introducción del producto y de su ensamble en campo (González y González, 2019).

Cada secador solar ocupa un área de 5 m² (1.83m x 2.76m) y tiene una capacidad teórica de secado de 140 lb de cacao fermentado. Las partes del secador incluyen: el colector solar, cámara de secado con 4 bandejas y una salida para el aire caliente húmedo. Estudios sugieren que este es el modelo de diseño más efectivo térmicamente y que suele tener mejores resultados en áreas tropicales húmedas (Forson, 2006).

El colector solar absorbe la radiación solar y la transfiere por medio de convección al aire. La captación de radiación solar se da por medio de una lámina metálica con un recubrimiento de pintura negro mate anticorrosivo. Para transferir la radiación solar se utilizó una lámina de policarbonato transparente. Tanto las paredes laterales como las inferiores cuentan con una capa de poliestireno de 4 cm, para reducir la transferencia de calor hacia el ambiente y una capa de lámina galvanizada para proteger y sellar la estructura.

El aire del ambiente ingresa al colector solar incrementando su temperatura hasta un valor de aproximadamente 45°C. Luego el aire se mueve a la cámara de secado en donde sucede el proceso de humidificación del aire por el contacto

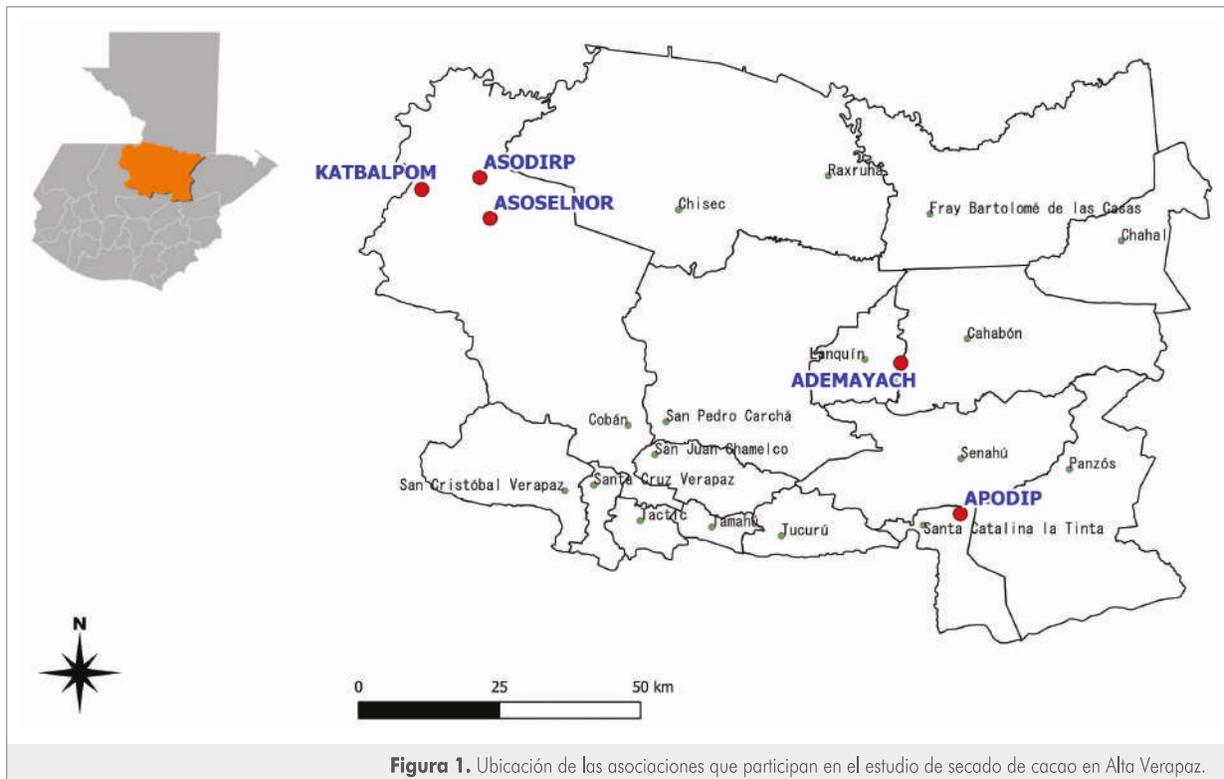


Figura 1. Ubicación de las asociaciones que participan en el estudio de secado de cacao en Alta Verapaz.



Figura 2. Prototipo de secador solar para cacao fermentado y sus componentes.

con los granos, y por medio de una salida este se libera nuevamente al ambiente (Figura 2).

Evaluación del secador

Se realizaron 3 ensayos de secado que se llevaron a cabo en los centros de acopio de asociaciones de Lachuá (KATBALPOM, ASODIRP y ASOSELNOR), Cahabón (ADEMAYACH) y Polochic (APODIP). Para cada una de las evaluaciones realizadas se tuvo como comparador el manejo convencional del centro de acopio de cada asociación.

• Ensayo 1. Evaluación de la carga de cacao sin aireación inicial

El cacao fermentado se tomó de las cajas de fermentación y se trasladó directamente a las unidades de secado. En un secador (S₁) se colocó el 100% de la carga de cacao utilizada en el manejo convencional para un área similar al de las bandejas de secado. En el segundo secador (S₂) se colocaron 2/3 de la carga del secado convencional. En cada una de las asociaciones se mantuvo el criterio utilizado por cada centro de acopio para el manejo de la carga de cacao. Esto significa que la carga de cacao del secado

convencional y de los 2 secadores varió según el centro de acopio de las diferentes asociaciones.

Una vez colocadas las bandejas en cada uno de los secadores, al material trasladado se le aplicaron remociones en horario diurno, que consistieron en una aireación manual para evitar el crecimiento de hongos y adhesión del grano a la superficie de secado. En los primeros tres días se realizaron remociones en intervalos de una hora y a partir del cuarto día se realizaron en intervalos de dos horas hasta finalizar el proceso. Para la remoción del cacao en las bandejas únicamente se procedió a abrir las puertas del secador solar y deslizar cada bandeja hacia la parte exterior sin retirarla completamente. El procedimiento se repitió en los intervalos de tiempo según el día hasta alcanzar 7.5% de humedad.

• Ensayo 2. Se evaluó la carga de cacao con aireación inicial

El ensayo 2 se realizó inmediatamente después de concluido el primer ensayo. Se utilizó la misma carga de cacao fermentado en cada bandeja de acuerdo con lo descrito en el ensayo 1. La diferencia es que en el ensayo 2, al material colocado en las bandejas se le aplicó una aireación inicial que consistió en aplicar durante 8 horas el tratamiento convencional y luego se colocaron las bandejas en la cámara de secado de cada secador. Una vez cargadas las bandejas con cacao fermentado se siguió el mismo procedimiento descrito en el ensayo 1 para las remociones. El proceso finalizó al tener una lectura de humedad de grano de aproximadamente 7.5%.

• Ensayo 3. Efecto de la aireación inicial a una misma carga

El ensayo 3 consistió en cargar las bandejas de los secadores con 25 libras de cacao fermentado equivalentes a 4 centímetros de grosor de la capa de cacao por cada bandeja. A las bandejas de uno de los secadores (S_1) se procedió a trasladarlas inmediatamente a la cámara de secado, mientras que a las bandejas del segundo secador (S_2) se procedió a aplicar una aireación inicial que consistió en someter a las bandejas al tratamiento convencional durante 8 horas. Al cumplir la aireación inicial se trasladaron las bandejas a la cámara de secado correspondiente. Para las remociones del cacao en el tratamiento convencional y en las bandejas de los 2 secadores se siguió el procedimiento descrito anteriormente. Se finalizó el proceso de secado al obtener una humedad de grano igual al 7.5%.

Descripción del secado convencional en los centros de acopio

La unidad convencional de secado de KATBALPOM consistió en una estructura de madera con techo de policarbonato y cortinas plásticas laterales. En su interior se encuentran las mesas que tienen malla plástica gruesa con orificios grandes y sin madera corrida por debajo de la misma. El cacao se coloca directamente sobre la malla plástica en un inicio con

un grosor de 5.6 centímetros, y normalmente se finaliza este proceso sacando el cacao al sol directo, colocando sobre la superficie del suelo un plástico negro grueso en conjunto con una malla tipo sarán con orificios finos, y sobre este se pone a secar el cacao hasta alcanzar el 7.5% de humedad. El suelo donde se ubica el secador está impermeabilizado con cemento.

En ASOSELNOR la unidad de secado convencional consistió en una estructura metálica tipo invernadero con techo y laterales de lámina traslúcida de policarbonato. En su interior tiene mesas de madera que tienen únicamente una malla plástica con orificios grandes sobre su superficie. Las mesas no tienen madera corrida por debajo, lo cual permite que haya bastante ventilación. Todo el tratamiento de secado se cumple bajo estas condiciones hasta alcanzar 7.5% de humedad en el grano. La capa de cacao utilizada sobre las mesas de secado es de 4 centímetros. El suelo donde se ubica el secador está impermeabilizado con cemento.

En ASODIRP la unidad convencional de secado consistió en una estructura de madera con techo y laterales fijos de policarbonato, bajo este techo se encuentran las mesas de secado que estas están hechas de madera. En la superficie hay madera corrida junto con lienzos de sarán fino sobre el cual se expone el cacao fermentado con un grosor de 2.5 cm. Todo el proceso se inicia y finaliza bajo estas condiciones hasta alcanzar 7.5% de humedad de grano. El suelo donde se ubica el secador no se encuentra impermeabilizado.

La asociación APODIP cuenta con varias modalidades para el secado convencional del cacao fermentado. El común denominador de las diferentes metodologías es la capa de cacao utilizada que fue de 4 centímetros y la humedad de grano a alcanzar es de 7.5%.

En el ensayo 1 el secado se realizó en una estructura de madera tipo galera con techo y laterales de plástico de invernadero, y en su interior se tuvieron mesas de secado, conformadas por una malla tipo sarán sin ningún tipo de madera por debajo. El suelo no estuvo impermeabilizado.

En el ensayo 2 el cacao fermentado se expuso directamente al sol durante el primer día por un aproximado de 8 horas colocando un plástico negro grueso en el suelo y sobre este los granos de cacao. En el segundo día se pasó el cacao a una estructura metálica con techo y laterales de policarbonato translúcida. El cacao se colocó sobre mesas con madera corrida sin ningún tipo de malla entre la madera y el grano de cacao. El suelo del secador estaba impermeabilizado con cemento.

En el ensayo 3 el cacao fermentado se colocó en una estructura metálica con techo y laterales de láminas de policarbonato. Las mesas de secado fueron de madera corrida. El suelo del secador estaba impermeabilizado con cemento.

En la asociación ADEMAYACH no se contó con mesas, ya que el secado se realizó sobre una torta de cemento bajo techo y al sol directo. El grosor de la capa de cacao utilizado de forma convencional fue de 4 centímetros. En la fase inicial el cacao se expuso bajo un techo de policarbonato y laterales de plástico extendiendo el cacao sobre un plástico negro grueso. El proceso finalizó exponiendo los granos de cacao al sol directo con la ayuda de un plástico negro sobre el suelo hasta alcanzar una humedad de grano de 7.5%. Al cacao fermentado se le aplicó el secado únicamente durante el día y se guardó en costales durante la noche para su resguardo debido a que el centro de acopio se ubica en una zona muy concurrida.

Funcionalidad del prototipo de secador

Luego de los 3 ensayos de evaluación se realizó una consulta a los encargados de los centros de acopio a fin de evaluar la funcionalidad del secador. Se les realizó una consulta por escrito la cuál contestaron libremente.

Monitoreo de temperatura, humedad relativa y pérdida de peso de muestra control

Para el registro de la temperatura en el ensayo 1 se utilizaron dispositivos LogTag modelo Trix-8. En los ensayos 2 y 3 se registró la temperatura y la humedad relativa de forma simultánea mediante los dispositivos LogTag modelo Haxo-8. Los dos modelos de dispositivos tienen un rango de medición de 40°C a 85°C y una precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$. La humedad relativa cuenta con un rango de medición de 0 a 100% (Figura 3). Los dispositivos almacenaron datos de forma automática de las mediciones realizadas a cada 15 minutos. Una vez concluido el proceso los datos registrados fueron transferidos del dispositivo al ordenador por medio del software LogTag Analyzer.

Para el control de pérdida de peso del material de cacao, en las distintas bandejas de los secadores y del secado convencional se colocaron pequeñas bolsas de malla fina con aberturas de aproximadamente 2 milímetros (Figura 3). En cada una de las bolsas se colocaron 100 gramos de



Figura 3. Medidor de temperatura y humedad relativa y bolsa control para el monitoreo de la pérdida de peso.

cacao fermentado. La pérdida de peso de cada bolsa representó la pérdida de humedad durante el proceso de secado. El peso de las bolsas se registró diariamente a las 8 y 16 horas durante todo el proceso de secado. Las bolsas se colocaron sobre la capa de cacao asociados a cada medidor de temperatura.

Para dar por concluido el proceso se midió la humedad del grano con un dispositivo digital portátil una vez por día hasta alcanzar un valor de humedad de aproximadamente 7.5%. Una vez concluido el secado, se colectaron varias muestras para análisis químico y sensorial.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat, versión 2016e, (www.infostat.com.ar). Se realizó análisis de varianza para 1 o más factores. La discriminación entre tratamientos se hizo de acuerdo con la prueba de Tukey con una probabilidad de error de 0.05.

Los factores evaluados en los análisis de temperatura incluyeron la asociación (5 asociaciones), posición de bandeja (arriba y abajo), secador (secadores 1, 2 y convencional) y estructura del secador (colector de la cámara de secado, secador y convencional).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones iniciales, días de secado y humedad final

En el Cuadro 1 se presentan las condiciones iniciales para cada evaluación, así como el tiempo de secado y humedad final del grano. Los tiempos de secado van desde los 5 (ASODIRP) hasta los 31 días (KATBALPOM) en la modalidad de secado convencional. El retardo en el secado en

KATBALPOM durante el ensayo 3 fue debido a la alta precipitación durante esos días, por lo cual se guardó el cacao en sacos y se continuó con el proceso hasta que las condiciones climáticas lo permitieron. Bajo esas condiciones, los secadores funcionaron muy bien, ya que completaron el secado del cacao en 9 días en comparación con los 31 días

del secado convencional. Para el resto de los centros de acopio y ensayos, básicamente el tiempo de secado alcanzado con el secador fue similar al tiempo alcanzado con el método convencional.

Con relación a la humedad final del grano secado con el prototipo solar, se observa un menor valor de humedad en los ensayos 2 (APODIP y ADEMAYACH) y 3 (ADEMAYACH) en relación al secado convencional. El resto de los centros de acopio y ensayos presentan valores de humedad similares al convencional.

Los tiempos de secado dependieron no solo de las condiciones climáticas, sino de otros factores como los tipos de estructura de secado convencional y en cierta medida también del grosor de la capa de cacao utilizada en cada lugar la cual va desde los 2.5 cm (ASODIRP) a 5.6 cm (KATBALPOM).

Pérdida de peso de la muestra control y humedad de grano

Para propósitos de visualización de la dinámica de pérdida de peso de la muestra control, en las Figuras 4 a 7 se presenta la información obtenida en los ensayos 2 y 3.

En el ensayo 1 la pérdida de peso durante el proceso de secado se fue dando en forma gradual. En las 5 asociaciones se observó consistentemente que la pérdida de peso durante las primeras 72 horas fue mayor en el secado convencional. Al final del proceso la pérdida de peso en los dos secadores y en el tratamiento convencional fue similar.

En el ensayo 2 la pérdida de peso de las bolsas control de los secadores solares tuvieron algunas diferencias con relación al tratamiento convencional. En algunos momentos del proceso de secado la pérdida de humedad en las bandejas

Cuadro 1. Detalle del secado de cacao llevado a cabo en la evaluación del prototipo de secador solar en Alta Verapaz.

Subregión	Asociación	Ensayo	Cacao fermentado (lb)/bandeja			Grosor de la capa de cacao (cm)			Días de secado			Humedad final (%)		
			S_1 ¹	S_2 ²	Conv ³	S_1	S_2	Conv	S_1	S_2	Conv	S_1	S_2	Conv
Lachuá	KATBALPOM	1	35	25	35	5.6	4	5.6	19	19	19	7.8	7.9	7.8
		2	35	25	35	5.6	4	5.6	13	13	12	7.4	7.5	7.4
		3	25	25	35	5.6	5	5.6	9	9	31 ⁴	7.5	7.6	7.5
	ASOSELNOR	1	25	17	25	4	3	4	10	10	9	7.5	7.3	7.4
		2	25	17	25	4	3	4	8	8	8	7.4	7.3	7.6
		3	25	25	25	4	4	4	8	8	8	7.5	7.4	7.5
	ASODIRP	1	15	10	15	2.5	1.5	2.5	5	5	5	7.3	7.4	7.3
		2	15	10	15	2.5	1.5	2.5	7	7	7	7.4	7.6	7.4
		3	25	25	25	4	4	4	7	7	7	7.7	7.6	7.6
Polochic	APODIP	1	25	17	25	4	3	4	9	9	9	7.5	7.6	7.6
		2	25	17	25	4	3	4	6	6	6	6.6	6.4	7.2
		3	25	25	25	4	4	4	7	7	7	7.4	7.1	7.2
Cahabón	ADEMAYACH	1	24	16	24	4	3	4	14	14	14	5.5	5.3	5.4
		2	24	16	24	4	3	4	10	10	10	5.6	5.4	6.9
		3	24	24	24	4	4	4	11	11	11	5.5	5.3	7.6

¹ Secador 1. Carga completa en los ensayos 1 y 2.

² Secador 2. 2/3 de carga completa en los ensayos 1 y 2.

³ Secador Convencional.

⁴ El secado convencional se extendió ya que hubo precipitación constante.

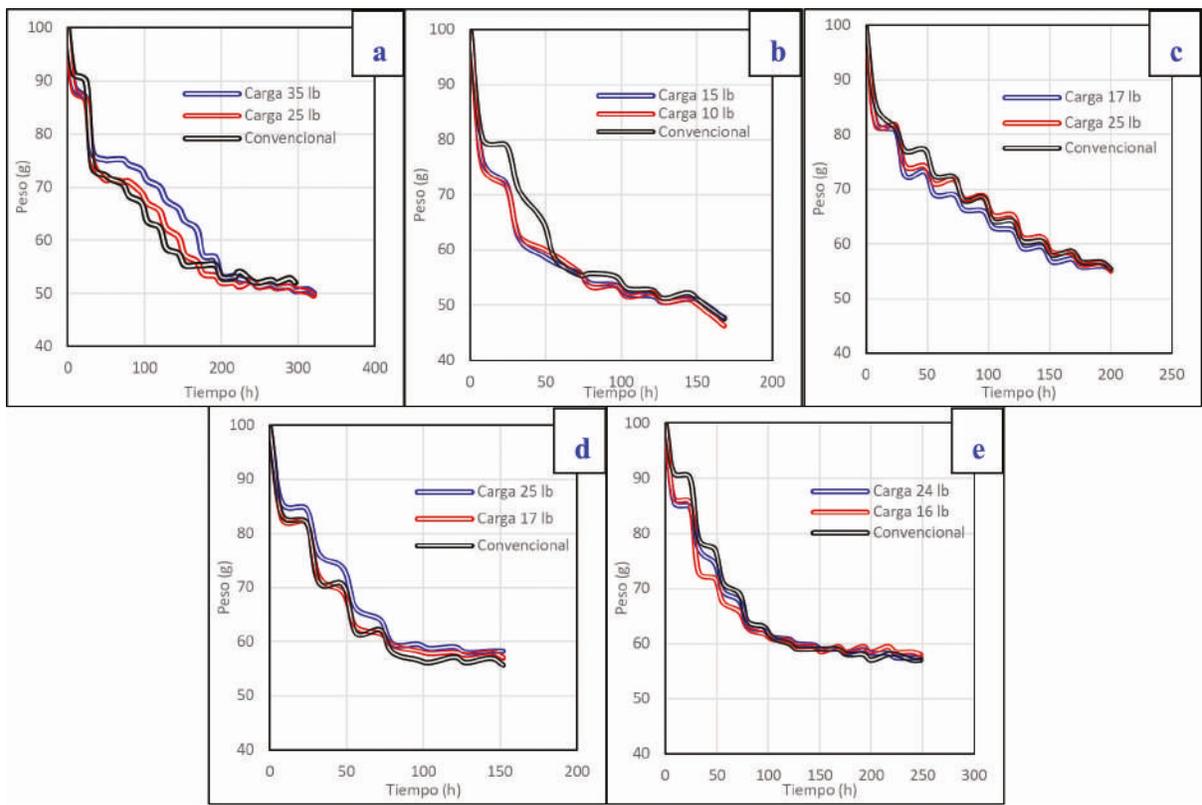


Figura 4. Pérdida de peso del cacao fermentado en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

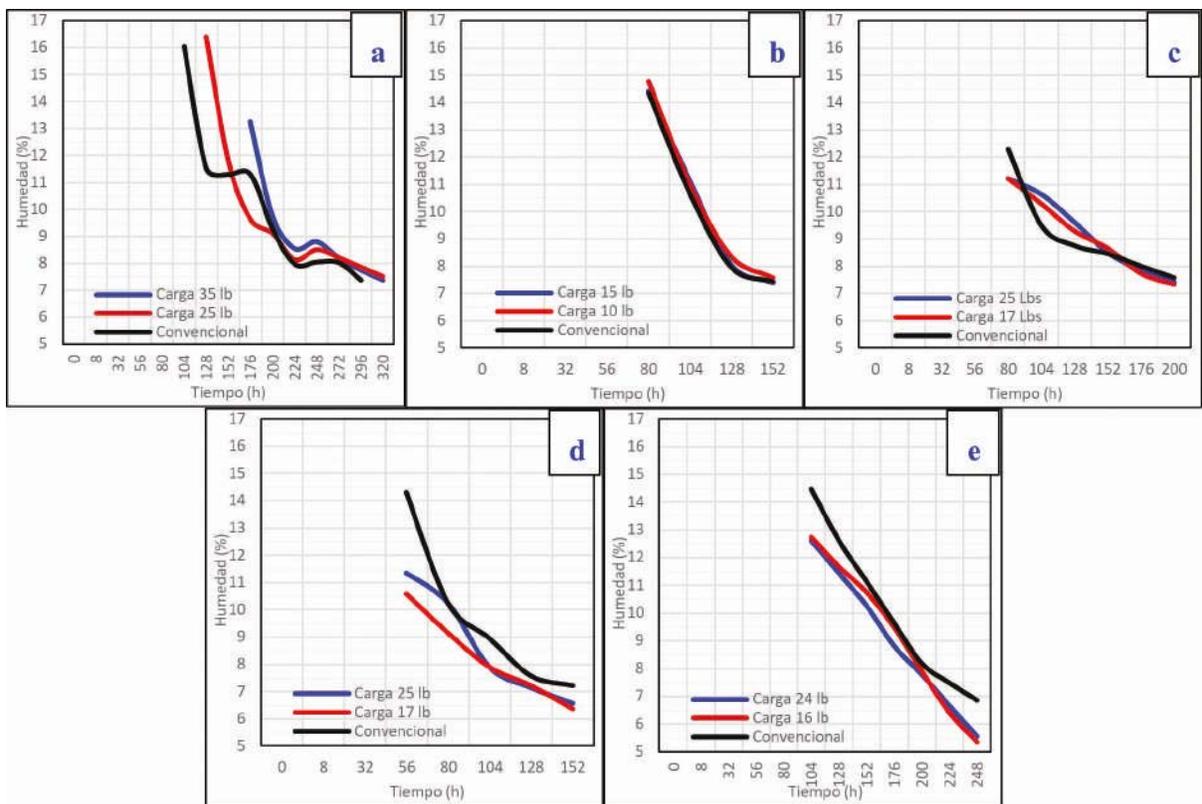


Figura 5. Humedad de grano de cacao fermentado en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

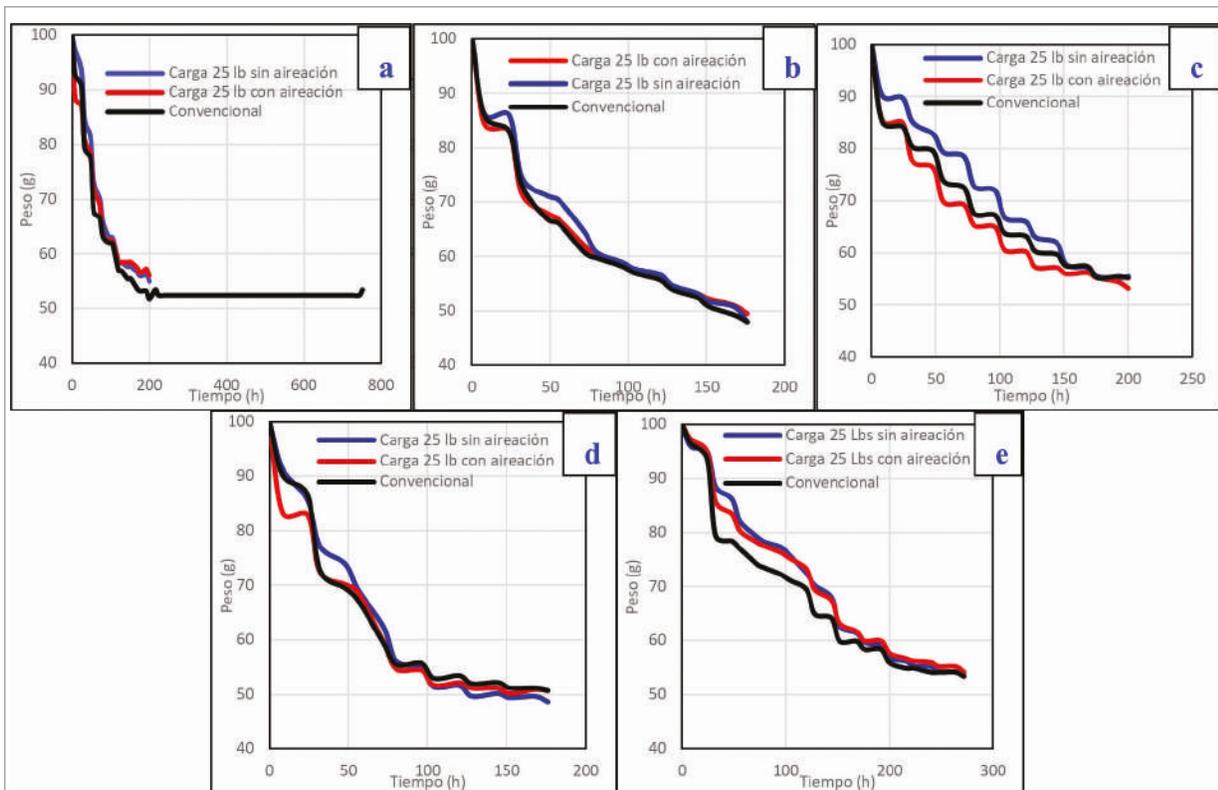


Figura 6. Pérdida de peso de la muestra control en el ensayo 3 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMARYACH.

de los secadores fue superior a la pérdida de la humedad en el secado convencional. Sin embargo, al final del proceso el tiempo de secado fue el mismo.

En la humedad del grano es posible observar que el comportamiento es similar al registrado con las bolsas de control de pérdida de peso. Se alcanzó la humedad esperada en un tiempo similar en todos los tratamientos evaluados (Figura 5), por lo que la carga de cacao no influyó en el tiempo de secado.

Como se indicó en la sección metodológica, en el ensayo 3 se procedió a cargar las bandejas de los secadores solares con 25 libras y se aplicó una aireación inicial de 8 horas a las bandejas de un secador. A las bandejas del secador restante no se le aplicó aireación, sino se introdujeron directamente a la cámara de secado. Se observó que el tiempo final de secado fue similar al tratamiento convencional para ambos tratamientos aplicados a las bandejas de los secadores.

La dinámica de pérdida de peso en las bandejas del secador con aireación fue ligeramente mayor comparado con el

convencional. La pérdida de peso en las bandejas sin aireación fue inferior al convencional.

La dinámica de pérdida de peso de las muestras control para los secadores comparado con el convencional se comportó de forma muy similar en las distintas asociaciones a excepción de la asociación Katbalpom. El tratamiento convencional finalizó a 31 días de iniciado el proceso de secado mientras que en los secadores finalizó 9 días. Esa diferencia se atribuye a las constantes lluvias de la época que afectaron el secado del grano de cacao (Figuras 6 y 7).

Monitoreo de temperatura y humedad relativa

Durante el primer ensayo experimental únicamente se midió la dinámica de la temperatura. En los ensayos 2 y 3 se midió la dinámica de la temperatura y humedad relativa.

La dinámica de la temperatura y humedad relativa fue similar en las diferentes regiones, es decir alta temperatura en horario diurno y baja temperatura en horario nocturno. En el caso de la humedad relativa se registró baja humedad relativa en el día y alta humedad relativa durante la noche. La temperatura

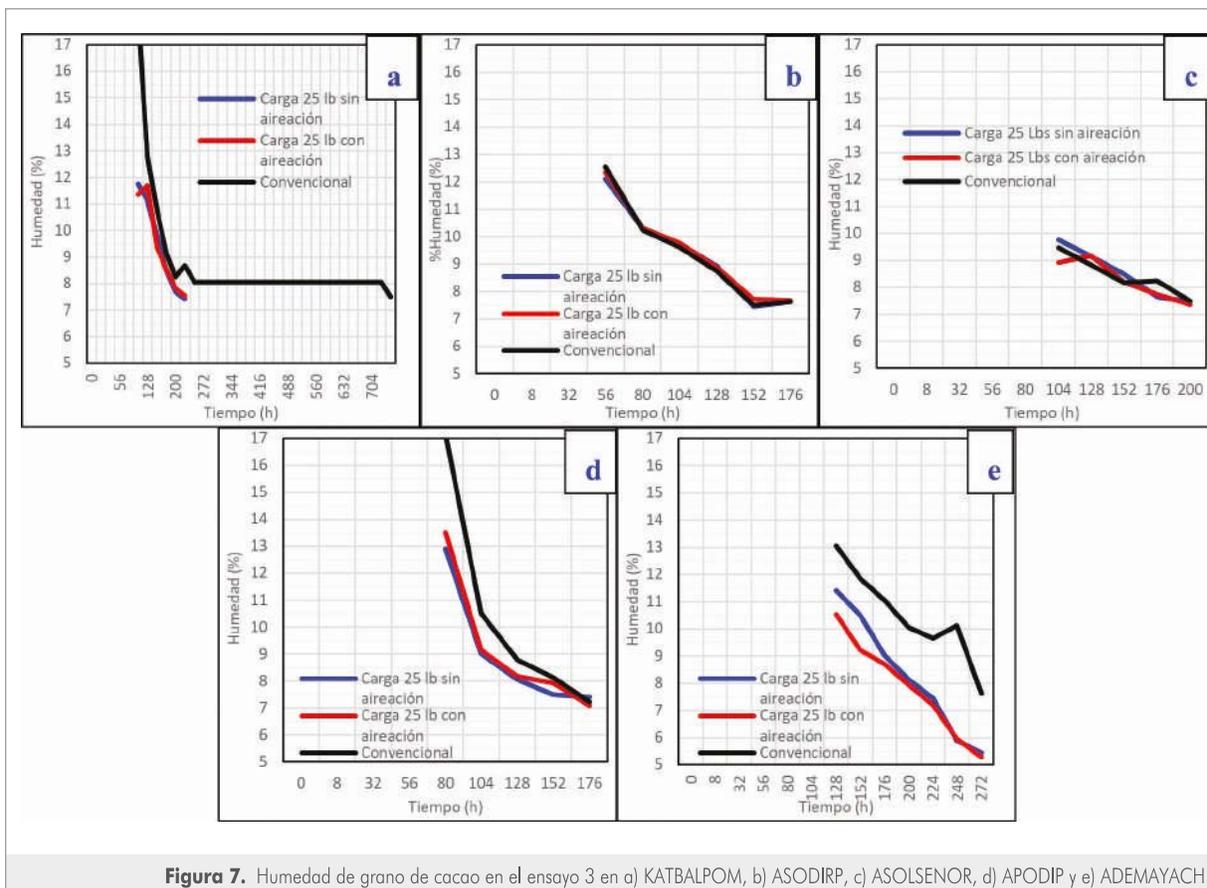


Figura 7. Humedad de grano de cacao en el ensayo 3 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOSENOR, d) APODIP y e) ADEMARYACH.

y humedad relativa son dos parámetros considerados inversamente proporcionales.

A lo largo de los 3 ensayos experimentales fue posible observar que hay variación en la dinámica de temperatura y humedad relativa entre regiones y una variación muy pequeña entre los secadores y la unidad de secado convencional.

En este artículo se presentan únicamente Figuras del ensayo 2.

Temperatura entre bandejas superior e inferior de los secadores solares

De acuerdo con el Cuadro 2 se encontraron diferencias altamente significativas entre valor medio de temperatura registrado en las 5 asociaciones ($p < 0.05$). Esto fue consistente en los 3 ensayos experimentales realizados.

La temperatura en el ensayo 1 fue mayor en la asociación ASOSELNOR. En el segundo y tercer ensayo la temperatura mayor se registró en APODIP y ASODIRP. La menor temperatura registrada en los ensayos 1 al 3 fue en ADEMARYACH.

En cuanto a la posición de las bandejas dentro de la cámara de secado, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las evaluaciones. Esto indica que la temperatura dentro de la cámara de secado fue similar en cada una de las bandejas. La temperatura media varió en 0.5 grados en el ensayo 1, en el ensayo 2 no hubo variación entre las posiciones de bandejas y en el ensayo 3 hubo una variación por 0.2 grados Celsius.

En las Figuras 8 y 9 se presenta la dinámica de temperatura y humedad relativa registrada para las bandejas superiores e inferiores en la cámara de secado de los secadores para el ensayo 2.

Cuadro 2. Medias¹ de temperatura para los factores asociación y bandeja.

Factor	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Asociación			
1. KATBALPOM	28.2 ± 8.6 c	ND	32.3 ± 8.1 b
2. ASODIRP	31.0 ± 9.5 b	33.4 ± 9.7 a	33.3 ± 8.0 a
3. ASOSELNOR	33.0 ± 10.9 a	31.9 ± 9.2 b	31.0 ± 5.8 c
4. APODIP	30.4 ± 8.1 b	33.4 ± 8.7 a	33.1 ± 7.3 a
5. ADEMAYACH	27.1 ± 8.3 d	30.7 ± 9.7 c	29.4 ± 6.1 d
Bandeja			
1. Superior	29.2 ± 9.4 a	32.2 ± 9.6 a	31.5 ± 7.2 a
2. Inferior	29.7 ± 9.2 a	32.2 ± 9.3 a	31.7 ± 7.2 a

¹ Valores con la misma letra dentro de cada factor (asociación y bandeja) no son estadísticamente diferentes ($p > 0.05$); ND: no determinado.

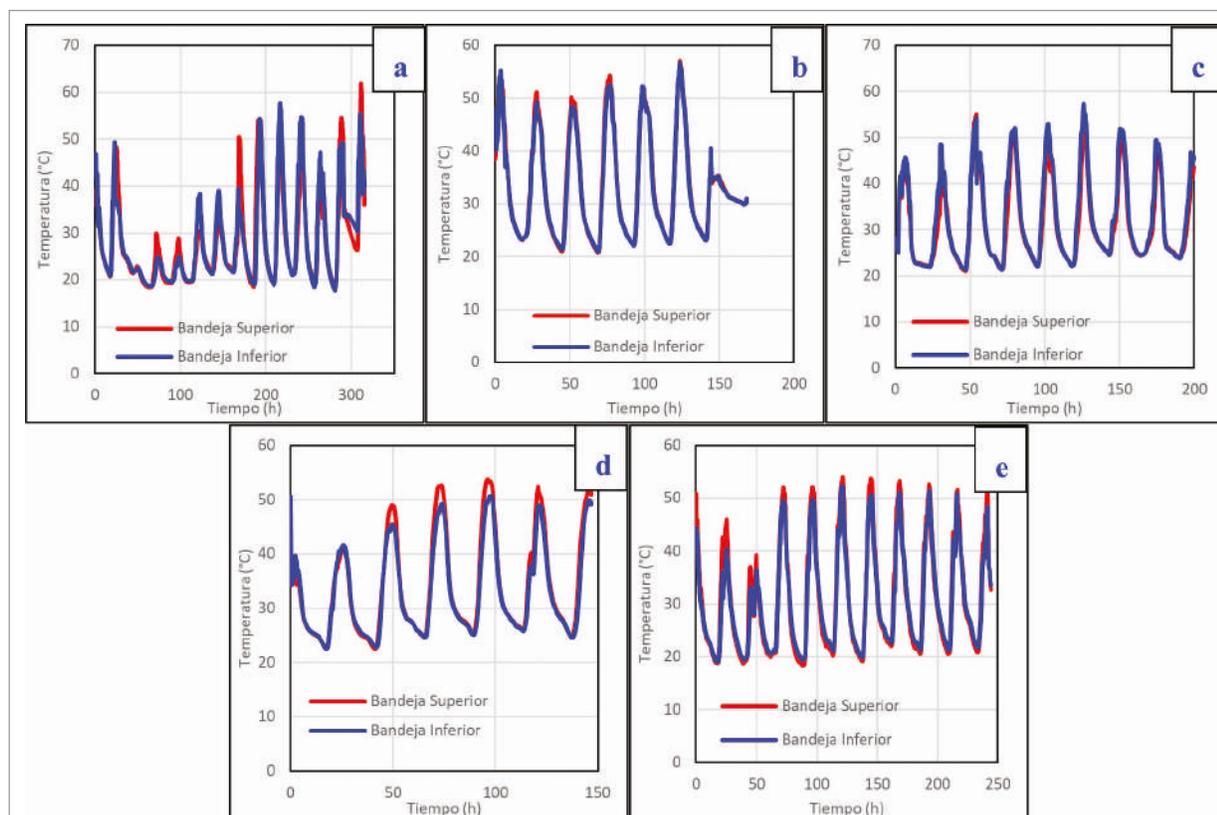
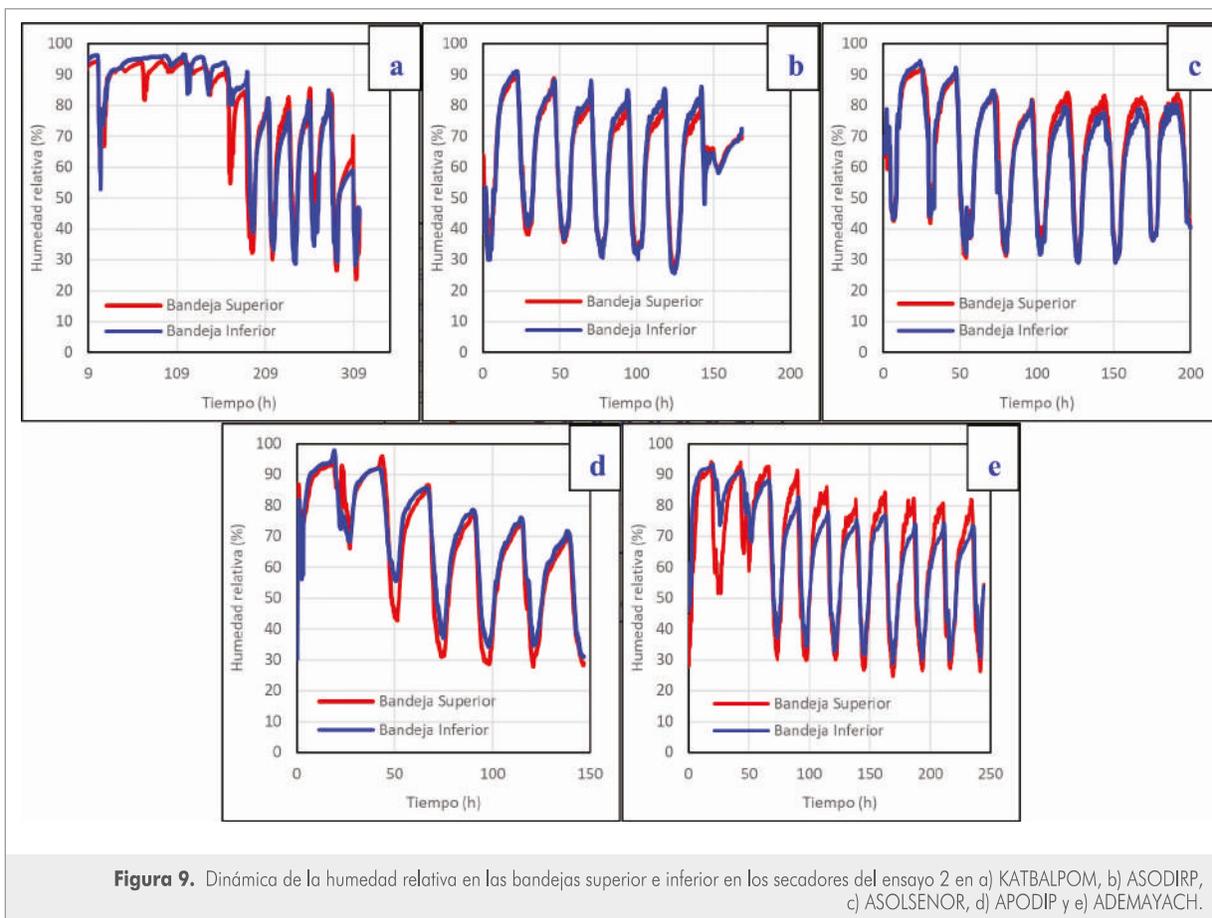


Figura 8. Dinámica de la temperatura de las bandejas superiores e inferiores en los secadores del ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOSELNOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.



Dinámica de temperatura entre secadores

Es evidente que la aireación inicial del material en las bandejas de secado es importante ya que la temperatura en este tipo de secado fue similar a la del tratamiento convencional en el segundo ensayo y fue superior al convencional en el tercero (Cuadro 3).

Con respecto a la interacción entre asociaciones y los secadores, se encontraron diferencias altamente significativas en los ensayos 1 y 3 (no se presentan los datos). Esto indica que en estos ensayos hubo tratamientos que tuvieron dinámicas de temperatura distintas entre una asociación y otra. Esto se debe probablemente a las condiciones climáticas de las regiones.

En las Figuras 10 y 11 se presenta la dinámica de la temperatura y humedad relativa según la asociación en el secador 1, 2 y el tratamiento convencional para el ensayo 2.

Temperatura en el colector y cámara de secado en los 3 ensayos

La temperatura en el secado convencional fue similar a la del colector y de la cámara de secado del secador solar (Cuadro 4). En los tres ensayos, la diferencia en la temperatura promedio en los dos componentes de los secadores vs el secado convencional fue < 0.5 °C.

En las Figuras 12 y 13 se presenta la dinámica promedio de la temperatura y humedad relativa registrada en el colector, cámara de secado y el secado convencional para el ensayo 2.

Cuadro 3. Temperatura media¹ (°C) según secador en los 3 ensayos.

Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3	
Secador	Temp (°C)	Secador	Temp (°C)	Secador	Temp (°C)
1. Carga completa_ sin aireación	29.5 ± 9.1 b	1. Carga completa_ sin aireación	32.8 ± 9.1 a	1. 25 lbs_ sin aireación	30.9 ± 6.9 b
2. 2/3 carga_ sin aireación	29.5 ± 9.4 b	2. 2/3 carga_ sin aireación	32.9 ± 9.4 a	2. 25 lbs_ con aireación	31.5 ± 6.9 a
3. Convencional	30.4 ± 10.8 a	3. Convencional	32.9 ± 8.9 a	3. Convencional	31.1 ± 6.5 b

¹ Medias con la misma letra dentro de cada ensayo no son estadísticamente diferentes (p>0.05).

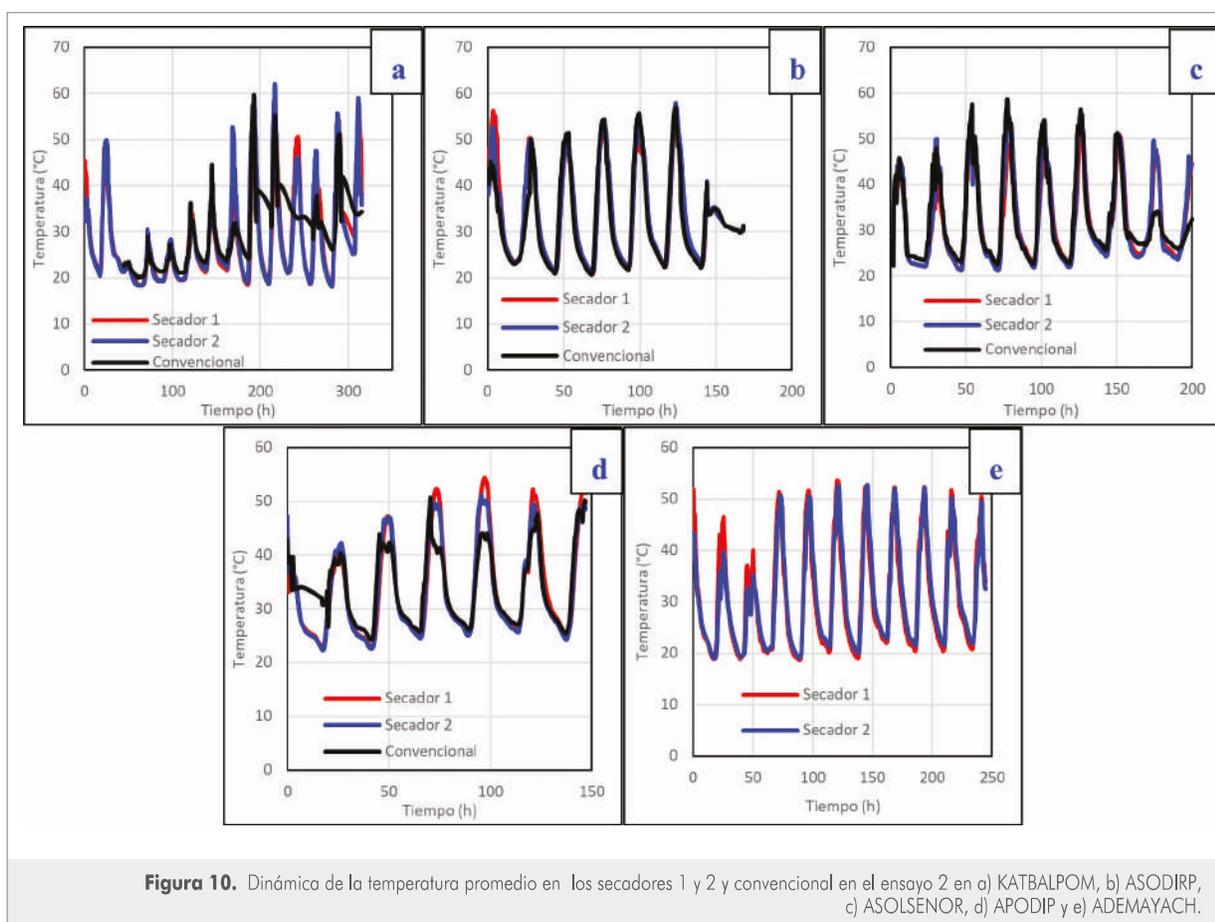


Figura 10. Dinámica de la temperatura promedio en los secadores 1 y 2 y convencional en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

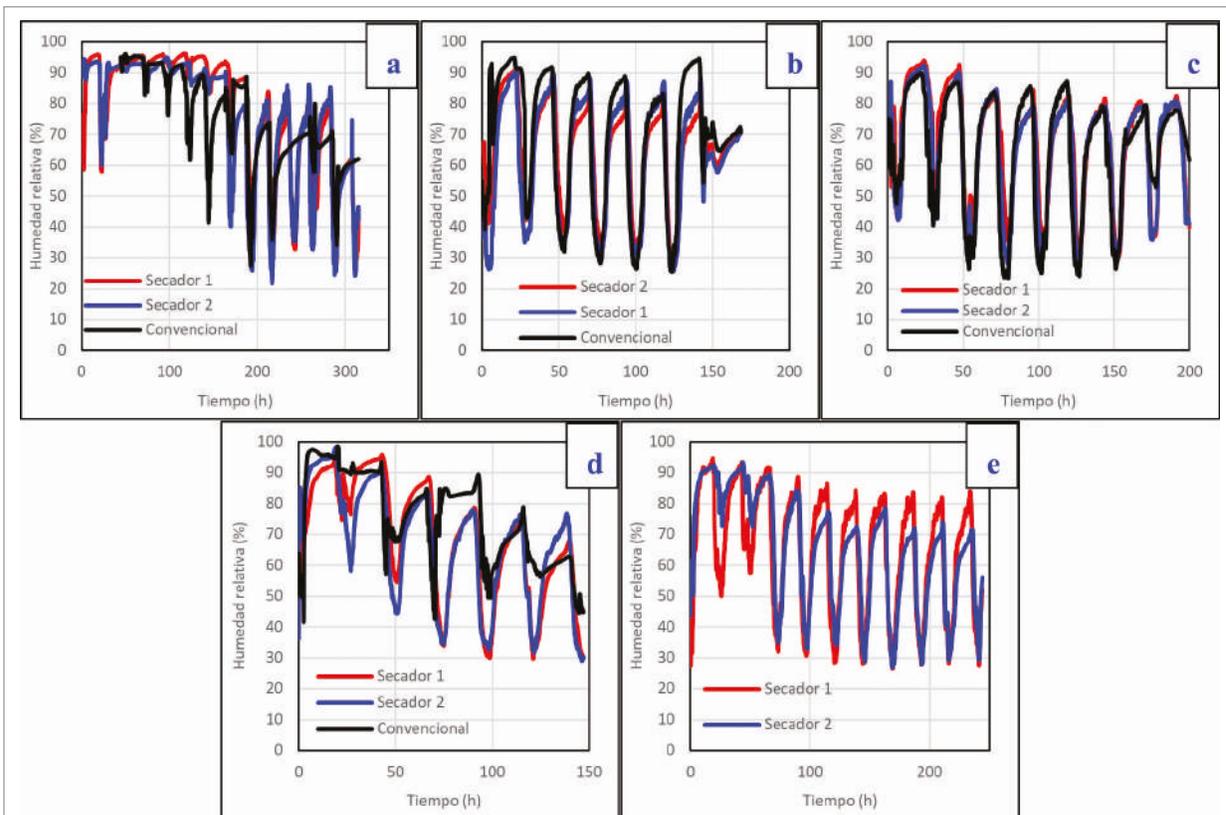


Figura 11. Dinámica de la humedad relativa promedio en los secadores 1 y 2 y convencional en el ensayo 2 en a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

Cuadro 4. Temperatura media (°C)¹ en los dos componentes del secador y del secador convencional en los diferentes ensayos.

Parte del secador	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
1. Colector	30.7 ± 11.3 a	32.9 ± 10.1 a	30.7 ± 7.2 a
2. Cámara de secado	30.0 ± 9.4 b	32.8 ± 9.1 a	30.9 ± 6.9 a
3. Convencional	30.4 ± 10.8 a	32.9 ± 8.8 a	31.1 ± 6.5 a

¹ Medias con la misma letra no son estadísticamente diferentes (p > 0.05).

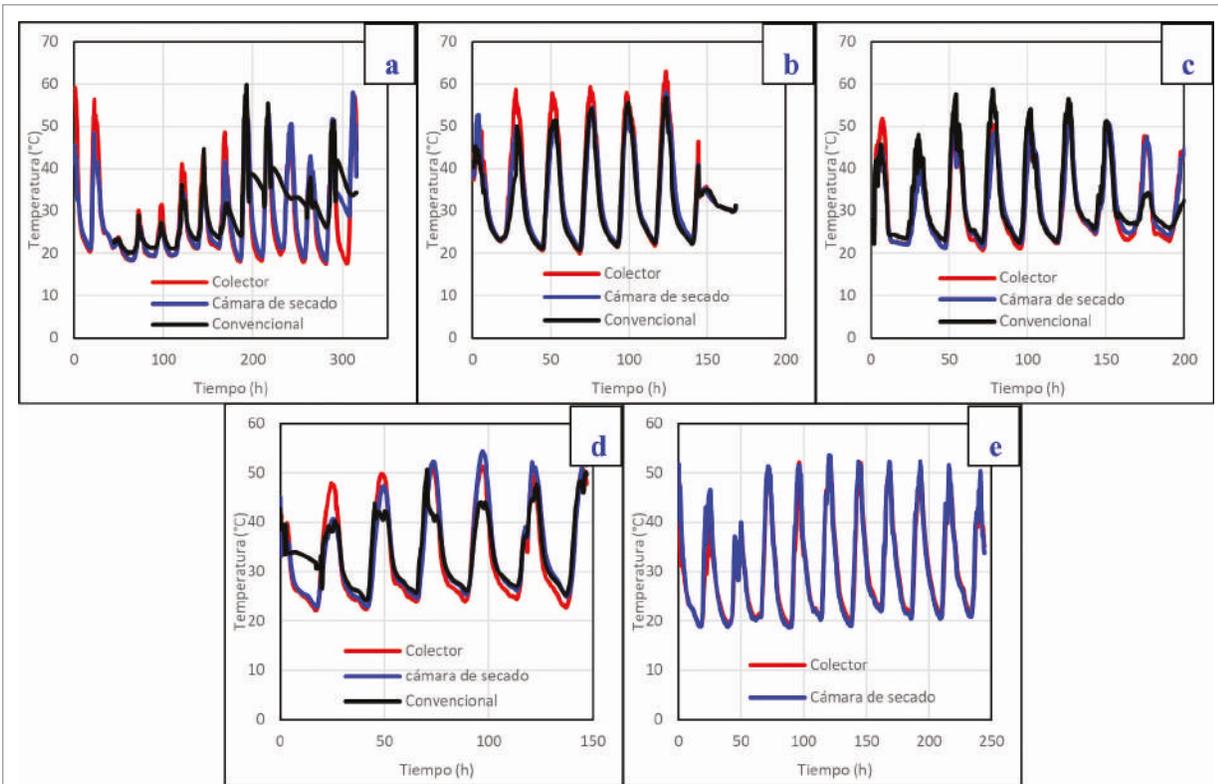


Figura 12. Dinámica de la temperatura promedio del colector, la cámara de secado y secado convencional, ensayo 2. a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

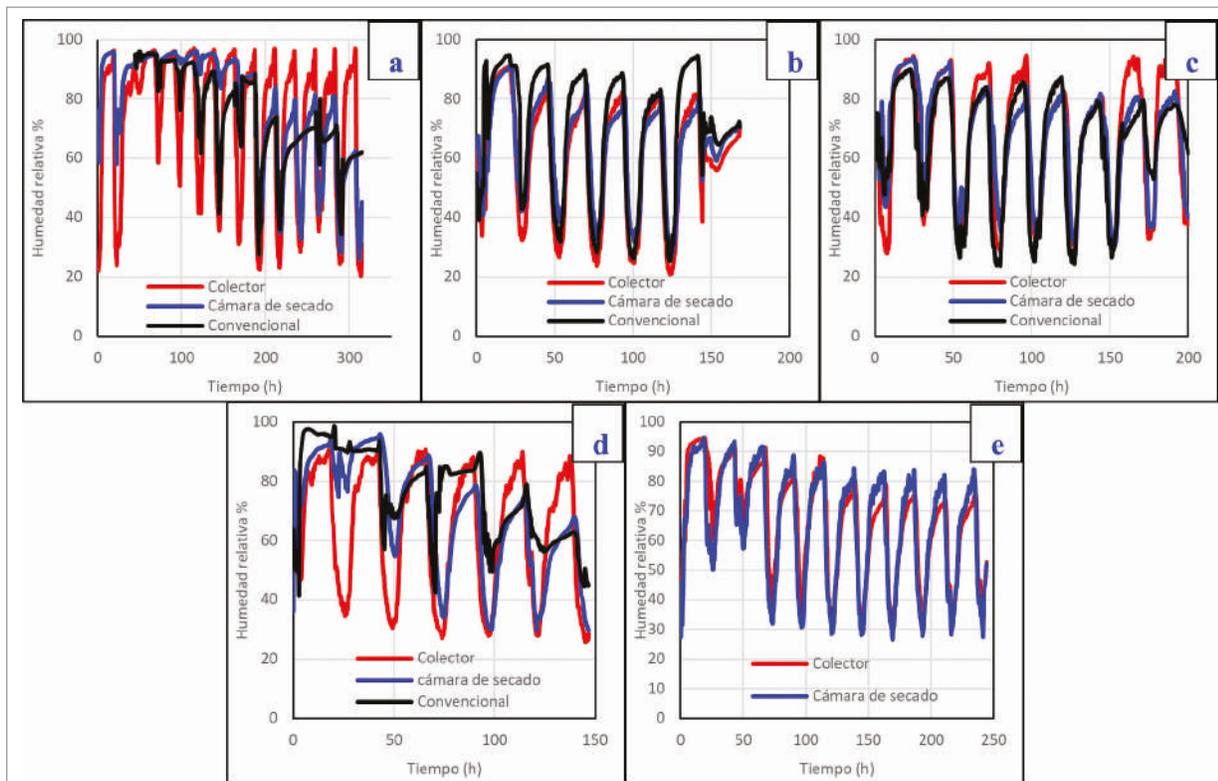


Figura 13. Dinámica de la humedad relativa promedio del colector, la cámara de secado y el secado convencional, ensayo 2. a) KATBALPOM, b) ASODIRP, c) ASOLSEÑOR, d) APODIP y e) ADEMAYACH.

Opinión sobre los secadores

Con base en la opinión de los centros de acopio de las diferentes asociaciones, los secadores complementan las operaciones ya existentes en los centros de acopio en un 80%, ya que ayudan a realizar con facilidad las labores de secado. El uso de los secadores es 60% práctico, ya que se debe de abrir el gabinete y realizar las labores en las bandejas. Un 20% de los entrevistados indicó que es fácil realizar el proceso de apertura del secador y trabajar con las bandejas en sus diferentes posiciones.

Con relación a las características físicas y la calidad visual del grano seco, un 40% indicó que se obtiene mejores resultados en forma moderada, y un 20% manifestó que está

de acuerdo con que la calidad visual del grano seco y su calidad aparente es mejor en los secadores.

El 80% de los entrevistados manifestó que con el uso de secadores se obtiene un cacao más limpio en relación con el secado convencional, y el 20% restante estuvo de acuerdo en forma moderada.

El 60% de los encargados de centros de acopio indicaron que al utilizar el secador es posible reducir el tiempo de secado comparado con el secado convencional, asimismo los secadores solares podrían funcionar de mejor manera en época de verano por las altas temperaturas que se pueden alcanzar.

CONCLUSIONES

Algunas conclusiones emanadas del estudio incluyen:

- Los ensayos del secado solar realizados en las diferentes asociaciones consistentemente mostraron resultados muy similares a pesar de los microclimas variados de cada región.
- La aireación inicial de 8 horas aplicado a las bandejas de los secadores solares fue importante para permitir mayor pérdida de peso al inicio del proceso.
- El efecto de la carga de cacao fermentado (igual o a 2/3 de la carga convencional) fue similar en las diferentes regiones.
- Al utilizar los secadores solares se observó que no existe variación de importancia en los días de secado comparado con el secado convencional.
- Cada asociación tuvo registros de temperatura estadísticamente diferentes.
- No hubo diferencia significativa en las temperaturas en las bandejas situadas en la parte superior e inferior de los

secadores solares, es decir, la temperatura en la cámara de secado fue similar en todos los casos, lo cual es muy positivo.

- La temperatura promedio registrada en los secadores solares y el convencional oscilaron en el rango de 29.5 - 32.9 °C.
- Las unidades de secado complementan las actividades que convencionalmente se realizan, ayudan a obtener un cacao más limpio, mejoran la calidad del grano ya que las bandejas tienen una malla plástica que ayudan a eliminar granos pequeños y bofos durante el proceso de secado.
- De acuerdo con los centros de acopio, las unidades de secado solar podrían funcionar mejor en época de verano ya que en el presente estudio tuvo un comportamiento similar a los secadores convencionales.

AGRADECIMIENTOS

A los centros de acopio y a las asociaciones KATBALPOM, ASODIRP, ASOSELNOR, ADEMAYACH y APODIP que apoyaron el estudio realizado en sus instalaciones.

A los técnicos de campo (Carlos Caal, Denis Medina, Luis Morales, Leyda Méndez, Yolanda Cabnal y Alejandro Tec) y encargados de los centros de acopio (Tomás Sacrab, Inocente Caal, Evaristo Chub, Denis Choc y Luis Arturo Tún) que apoyaron con el montaje de las pruebas y con el monitoreo de los procesos de fermentación y secado.

Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) por el financiamiento de este estudio

a través del programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA) (Contrato IICA-CRIA-044-2018), ejecutado a través del Convenio de Cooperación Técnica y Administrativa 11-2015 suscrito entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA- y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -IICA-.

Al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, por todo el apoyo, acompañamiento y seguimiento brindado durante la ejecución de este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Arunraja, K., Gopalakrishnan, T., Hariharan, M., y Kishore, P. (2018). Design and fabrication of solar air dryer. *Int J Eng Res Technol*, 6(4), 1-5.
- Cacao Móvil. (n.d.). *El Secado del Cacao*. Retrieved August 19, 2021, from <https://www.cacaomovil.com/site/guide/cosecha-fermentacion-y-secado-del-cacao/42/el-secado-del-cacao>
- GrainPro. (2020). *Cómo secar el grano de cacao apropiadamente*. <https://news.grainpro.com/es/cómo-secar-el-grano-de-cacao-apropiadamente>
- De Dios, C. A. (1996) *Secado de granos y secadoras*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile 1996
- Forson, F. K.; Nazhab, A.; Akuffoa, F. y Rajakarunab, H. (2007). Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb. *J. Renewable Energy*. 32:2306-2319.
- Gonzalez y Gonzalez, D. (2019) *Diseño y evaluación de un modelo de secador de Cacao replicable en departamento de Alta Verapaz, Guatemala*, Trabajo de graduación Universidad de Valle de Guatemala.
- Guachamín Velásquez, C. D. (2008). *Diseño de Un Secador de Grano de Cacao Fino*. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- López Cerino, I., Chávez García, E., López Cerino, I., y Chávez García, E. (2018). Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao L.*) en Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(SPE21), 4395-4405. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0I21.1528>
- Orna Chávez, J. E., Chuquín, N., Saquina, L., y Cueva, O. (2018). Diseño y construcción de una secadora automática para cacao a base de aire caliente tipo rotatorio para una capacidad de 500 kg. *Enfoque UTE*, 9(2), 159-174. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.185>
- Rikolto. (2016). *Gestión del conocimiento de la cadena de valor del cacao en Centroamérica "Situación actual de la cadena de valor del cacao en Guatemala"*. Retrieved August 03, 2021, from <http://cadena.cacaocainfo/wp-content/uploads/2017/06/guatemala.pdf>.