



Comparación de prototipos innovadores para el secado de cacao nativo fino de aroma (*Theobroma cacao* L.) y su posibilidad de adopción

Comparison of innovative prototypes for drying of fine native aroma cocoa (*Theobroma cacao* L.) and its possibility of adoption

Joseph Bardales^{1*}, Miguel Angel Barrena Gurbillón², Manuel Oliva-Cruz²

RESUMEN

El cacao nativo fino de aroma tiene mayor demanda por sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas que aseguran su calidad. El presente estudio realizó la comparación de prototipos innovadores para el secado de *Theobroma cacao* L., mediante secadores solares por convección forzada, convección natural y tipo túnel en la Cooperativa APROCAM, ubicada en la provincia de Bagua, Amazonas, Perú. Se determinó la cinética de secado, características fisicoquímicas y organolépticas del cacao beneficiado en los tres tipos de secadores, utilizando 8 kg de producto fermentado con una humedad del 55% en cada secador con tres repeticiones. El análisis de datos se realizó en software SPSS 20.0 para obtener la cinética de secado. Para los análisis fisicoquímicos y organolépticos se utilizó un DCA y DBCA, respectivamente, y el software Statistix 8. Los resultados experimentales indican que el secador por convección natural necesitó un tiempo de 19 horas para alcanzar la humedad de equilibrio y/o comercial entre 7 y 8 %, es decir tres y cinco horas menos comparado con el secador por convección forzada y tipo túnel, respectivamente. La cinética de secado, en los secadores, está representada por ecuaciones lineales y logarítmicas. El análisis fisicoquímico se encontró dentro de los rangos establecidos en otros estudios; el porcentaje de grasa con valores entre 36 y 42% y proteína de 10 a 15% mostrando diferencias significativas por tratamiento; sin embargo, el secador forzado mostró mejores resultados. El análisis organoléptico de aroma y sabor arrojó niveles de aceptable a bueno, en los tres tratamientos.

Palabras clave: cacao nativo fino de aroma, secador solar, sostenibilidad, energía solar.

ABSTRACT

The fine native aroma cocoa has a greater demand for its organoleptic and physicochemical properties that ensure its quality. The present study carried out the comparison of innovative prototypes for drying *Theobroma cacao* L., by means of solar dryers by forced convection, natural convection and tunnel type in the APROCAM Cooperative, located in the province of Bagua, Amazonas, Peru. The drying kinetics, physicochemical and organoleptic characteristics of the cocoa benefited in the three types of dryers were determined, using 8 kg of fermented product with a humidity of 55% in each dryer with three repetitions. The data analysis was performed in SPSS 20.0 software to obtain the drying kinetics. For the physicochemical and organoleptic analyzes, a DCA and DBCA were used, respectively, and Statistix 8 software. The experimental results indicate that the natural convection dryer needed a time of 19 hours to reach equilibrium and / or commercial humidity between 7 and 8%, ie three and five hours less compared to the forced convection and tunnel type dryer, respectively. Drying kinetics, in dryers, are represented by linear and logarithmic equations. The physicochemical analysis was within the ranges established in other studies, the percentage of fat and protein showed significant differences by treatment; however, the forced dryer showed better results. The organoleptic analysis showed acceptable to good levels in all three treatments.

Keywords: fine native aroma cocoa, solar dryer, sustainability, solar energy.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación en Ganadería y Biotecnología, Chachapoyas, Perú

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: joseph.bardales@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

El cacao nativo fino y de aroma es valorado como cacao de calidad superior, de sabores y aromas especiales y distintivos, cuyos atributos organolépticos, químicos y físicos se pueden percibir e identificar claramente. Estas características pertenecen a grupos genéticos definidos y pueden ser comprobadas por sistemas de trazabilidad en toda la cadena de valor del cacao fino y de aroma. En términos de las propiedades organolépticas de un cacao fino y de aroma, se busca establecer específicamente la presencia de aromas frutales y florales en el grano de cacao, característicos de este tipo de cacao (Armijos, 2002)

La región Amazonas cuenta con condiciones edafoclimáticas para ser una de las principales regiones productoras de cacao en el Perú, alberga gran biodiversidad de variedades nativas que se caracteriza por tener una gran diversidad de clones promisorios. El cultivo de cacao representa el segundo lugar de importancia dentro de la categoría de cultivos permanentes con 13 416,83 ha representando el 5,3% de la superficie agraria. Bagua, Utcubamba y Condorcanqui, poseen la mayor proporción de bosques remanentes que han sido conservados y sobreviven en su estado natural, sin ninguna intervención del hombre lo que está relacionado directamente con mayores volúmenes de cacao nativo en donde muchas de sus variedades están caracterizadas como fino y de aroma (INEI, 2012).

Según Sánchez-Álamo (2017), el cultivo de cacao y las prácticas de postcosecha influyen en gran medida en la calidad del grano, lo cual resulta de especial importancia para el cacao fino que busca resaltar las cualidades organolépticas. Una vez cosechados los granos de cacao y separados de las mazorcas que las contienen, éstas se someten al proceso de fermentación donde los taninos astringentes se oxidan, los granos se oscurecen y el típico aroma del cacao se percibe. El secado reduce el peso de los granos al 50%, esta operación debe realizarse en forma rápida y uniforme hasta que logren un valor máximo de humedad del 7%, que evita la formación de moho durante el transporte y almacenamiento posterior; finalmente los

granos de cacao están listos para su comercialización.

El secado de alimentos utilizando energía solar es una operación rentable que facilita el aprovechamiento de fuentes renovables de energía, diferenciada por el potencial económico, ecológico, energético y social, por su contribución a la conservación del ambiente al evitar emisiones de óxidos de nitrógeno, CO₂ y azufre, pues reemplaza al consumo de electricidad y de combustibles fósiles (Bergues-Ricardo *et al.*, 2013).

Siguencia-Avila (2013), realizó un estudio sobre el secado del cacao, mencionando que esta operación, es una parte importante en la comercialización, sin embargo, por el difícil acceso que tienen los pequeños productores a las tecnologías de secado, han tenido que someterse al precio del grano establecido por los intermediarios, por la dificultad de tener sistemas controlados para el secado que muchas veces es costoso. Mediante energía renovable propone el secado de cacao a través de secadores solares inclinados con absorbedor de humedad, utilizando zeolita por convección natural, para granos de cacao Colección Castro Naranjal (CCN51). Estableció escenarios comparativos con el secado tradicional en tendal, inclinación del secador solar (5 % y 15%); además, se realizó una evaluación de la zeolita con presencia y ausencia de ésta en un experimento adicional para observar su incidencia en la operación. Los datos recogidos fueron tiempos de secado (críticos y totales) en todos los casos; afectados por variables como temperatura, humedad relativa, radiación solar, etc. La tecnología de secador con inclinación del 5% y con absorbedor de zeolita resultó ser más eficiente que los demás, por la reducción de los tiempos de secado como en el análisis estadístico, además de ser viable económicamente.

López y Chávez (2018), realizaron un estudio sobre el secado de cacao en Chontalpa, Tabasco, México; encontrando que el secado lo realizan principalmente al aire libre en patio de cemento o en secadores contruidos con madera. Con este tipo de secado puede haber contaminación con polvo, hongos y animales, afectando la inocuidad del grano seco. Las beneficiadoras de la región emplean gas como insumo para el

secado artificial, lo cual incrementa el costo y la huella ecológica del producto obtenido. Durante la temporada seca, el secado requiere hasta 3,5 días y en temporada de lluvias pocos productores la llevan a cabo. El objetivo fue conocer la eficacia del tiempo de secado de grano de cacao en un secador solar tipo túnel de policarbonato y la satisfacción por parte del productor. Se realizó una prueba en agosto de 2017, con medición de las variables atmosféricas: temperatura y humedad relativa, en una finca ubicada entre las coordenadas 18° 0'36" latitud norte y 93° 18' 18" longitud oeste. En 24 h lograron cumplir con el porcentaje de humedad en el grano requerido por la norma NMX-F-352-S-1980 y con las características de color interno y externo, olor, sonido, peso final, separación de la cascarilla y presencia de hongos en el grano seco de cacao.

Los secadores para alimentos actualmente son muy variados, cada uno diferenciados y utilizados según condiciones que favorezcan la operación de secado, la elección del secador se relaciona con la economía y eficiencia de la operación (Maureira, 2006). En el transcurso del año 2015, se comercializaron más de cuatro millones de toneladas de cacao en el mundo: 12 mil toneladas (0,3%) de cacaos finos exclusivos, 230 mil toneladas (5,7%) de cacaos finos, 600 mil toneladas de cacao básico certificado (15,0%) y 3,2 millones de toneladas de cacao básico o convencional (79,0%). Con importantes diferenciales de precios estimados, durante los últimos 5 años se han exportado en promedio más de 240 mil toneladas de cacao fino por año y más del 80,0% de ellas provienen de países productores de América Latina y el Caribe (Pipitone, 2014). Ecuador es el principal exportador mundial de cacao fino y de aroma, con el 55%; le siguen Papúa Nueva Guinea con el 14 %, República Dominicana con 11% y Perú con el 9% (Arvelo *et al.*, 2016).

Valera (2013), afirma que la adopción de tecnología por los productores, además de las peculiaridades propias de la innovación, tienen mucha importancia factores sociales, económicos, culturales e inclusive políticos y religiosos. Estos factores prevalecen en las decisiones de los agricultores para aceptar o rechazar

cualquier tecnología. Menciona también que tanto para los organismos de ciencia y tecnología agropecuaria como para las empresas privadas proveedoras de insumos y servicios para el agro, es muy importante conocer el grado de adopción de las distintas prácticas que se proponen o de las nuevas tecnologías y servicios que los agricultores aplican en sus campos.

El objetivo de la presente investigación fue comparar prototipos innovadores de secadores solares para el secado de cacao nativo fino de aroma (*Theobroma cacao* L.), para ello se desarrollaron dos prototipos: convección forzada y convección natural que utilizó zeolita como material absorbente de humedad y un secador de túnel utilizado por la Cooperativa APROCAM, lugar dónde se realizó el estudio. Se determinó la eficiencia, se realizó el modelamiento de la cinética de secado y se evaluó las características fisicoquímicas y organolépticas del cacao en cada tipo de secador, además de evaluar la sostenibilidad de los secadores empleados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La región Amazonas, Perú, se localiza entre los paralelos 2° 59' 12" y 6° 59' 35" de latitud sur y los meridianos 77° 09' 27" y 78° 42' 06" de longitud oeste, comprende un área de 39 249,13 Km², constituida por un territorio interandino de pequeña extensión (27%) y un territorio de selva de mayor extensión (73%), en un rango altitudinal de 230 a 3450 m.s.n.m. (IIAP y GRA, 2010).

El estudio se realizó en la Cooperativa de Servicios Múltiples-Asociación de Productores Cacaoteros y Cafetaleros del Amazonas (APROCAM), que es una organización sin fines de lucro, agrupa a pequeños productores de café y cacao en el ámbito de los distritos de La Peca, Copallín e Imaza en la provincia de Bagua, de la región Amazonas, Perú.

APROCAM, cultiva cacao en las provincias de Bagua y Utcubamba en la región Amazonas desde los 1200 hasta los 1500 m.s.n.m., en sus instalaciones cuenta con áreas específicas para la fermentación y secado. El secado lo realizan en secadores tipo túnel, donde

según los directivos y socios tienen problemas al momento de comercializar por presentar deficiencias en calidad del cacao, generadas muchas veces en el proceso de poscosecha.

El estudio se desarrolló entre octubre del 2018 hasta mayo del 2019, presentando las siguientes condiciones meteorológicas, tomadas con las estaciones meteorológicas del Instituto de Investigaciones para el Desarrollo de Ceja de Selva.

- Temperatura máxima: 34,00 °C
- Temperatura mínima: 21,94 °C
- Humedad relativa promedio: 76,7 %
- Velocidad promedio del viento: 0,7 m/s
- Radiación solar promedio: 3,8 kWh/m²
- Presión barométrica: 0,999 atm

Desarrollo de prototipos de secador solar

Prototipo de secador solar por convección forzada

Tiene un colector constituido por una caja térmica que capta y almacena la radiación solar y la transforma en energía térmica para calentar el aire que circula en su interior, forzado por un ventilador centrífugo que succiona el aire del medioambiente y lo hace circular por el interior del colector para calentarlo y luego lo envía a la cámara de secado tipo invernadero, en la que se encuentra el cacao nativo fino de aroma, en una bandeja rectangular. La cámara de secado es una estructura de listones de madera con recubrimiento de manta de polietileno de baja densidad (PEBD) con aditivo anti UV (Figura 1S). La bandeja de secado tuvo un área aproximada de 2 m², con capacidad para secar 30 kg de cacao nativo fino de aroma.

El prototipo de secador solar construido es de flujo de aire forzado, alcanzó temperaturas entre 36 y 57 °C en la cámara de secado en los meses en que se realizó el experimento, no genera altos gastos por consumo de energía, ya que solo requiere un gasto mínimo de energía eléctrica para el funcionamiento del ventilador, en comparación a secadores convencionales que utilizan gas, kerosene, petróleo, etc., que tienen un alto costo de operación. Al mismo tiempo, los costos de su construcción, operación y mantenimiento son relativamente bajos.

Prototipo de secador solar por convección natural con absorbedor de zeolita

El diseño, construcción e instalación de este prototipo se realizó, siguiendo las instrucciones de Siguencia-Avila (2013), donde la altura total de la pared del prototipo es de 0,26 m, de los cuales 0,05 m ocupa la zeolita como doble fondo y 0,21 m constituye la zona de apilamiento del producto (Figura 2S). Para crear un efecto invernadero se colocó en la cubierta una placa de vidrio de 2 m² que también protegerá al producto de posibles precipitaciones. La cubierta de 125 micras de espesor, se fijó mediante una rejilla móvil a la superficie del secador. La estructura del secador solar está a 1,40 m del suelo en la parte posterior y 1,30 m en la parte anterior con una inclinación del 5%. La (Figura 3S) ilustra en detalle los componentes del secador solar. Las paredes y la zona de apilamiento del secador están construidas en madera debido a razones de costos como durabilidad del secador, además de facilitar el manejo del producto.

Secador solar tipo túnel

Este tipo de secador es el utilizado por la Cooperativa APROCAM, se basa en el aprovechamiento de la radiación solar que suministra una temperatura satisfactoria para la continuación de algunos cambios que no han terminado en los granos de cacao durante la fermentación. El secador solar tipo túnel de policarbonato está basado en un diseño tailandés (Figura 4S) propuesto por Janjai (2012), desarrollado para el secado de alimentos en industrias a pequeña escala. Este secador consiste en un techo parabólico cubierto con planchas de policarbonato, estructura de acero galvanizado y piso de concreto. Las dimensiones de dicho secador son 8 m de ancho, 20 m de largo y 3,5 m de alto, con una capacidad de carga de 1000 kg de producto.

Material biológico

Se empleó cacao nativo fino de aroma sin considerar híbridos, después del proceso de fermentación con una humedad aproximada del 55% al 60 %. Se utilizaron por cada ensayo 8 kg de cacao. Las muestras secas, se sometieron al análisis fisicoquímico y organoléptico, con el fin de determinar la calidad del producto, para lo

cual se tomaron granos de cacao de manera aleatoria de cada sistema de secado de 2 kg, con tres repeticiones. Se consideró a cada secador como un tratamiento:

- T1 = Secador solar por convección forzada
- T2 = Secador solar por convección natural con absorbedor de zeolita
- T3 = Secador solar tipo túnel

Modelamiento de la cinética de secado de cacao nativo fino de aroma

Para realizar el modelamiento de la cinética de secado se tuvo como referencia a Barrena (2011). Para determinar la cinética de secado se utilizó los datos recolectados desde las 8:00 am hasta las 5:00 pm, los cuales fueron procesados con el software estadístico SPSS version 20.0, para obtener las ecuaciones correspondientes a la parte lineal y a la parte no lineal de cada una de las curvas de secado (humedad residual vs tiempo), obtenidas en la presente investigación.

Contenido de humedad en %

La humedad comercial del cacao tiene que estar entre 7 a 8 % (Sánchez-Álamo, 2017). Para la determinación de la humedad del cacao nativo fino de aroma se utilizó un Medidor de Humedad Análogo para Granos de Cacao (Aquaboy).

Análisis organoléptico

El análisis organoléptico fue realizado en Laboratorio, por un panel entrenado de catadores de cacao del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES), quienes mediante una ficha de catación brindaron los resultados.

Análisis fisicoquímico.

Se realizaron los siguientes análisis químicos según los métodos de la AOAC (2000): pH (N° 970.21), acidez total titulable (N° 942.15.), proteína (976.05) y grasa (920.39). Para el análisis de capacidad antioxidante se utilizó el método 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH), tomado de Castañeda *et al.* (2008). Para la determinación de polifenoles se utilizó el método Folin-Ciocalteu, tomado de García *et al.* (2015).

Análisis de datos

Para el análisis de las variables fisicoquímicas se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con

tres tratamientos (secador por convección forzada, secador por convección natural y secador tipo túnel). Para el análisis de las variables organolépticas se utilizó un Diseño en Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres tratamientos (secador por convección forzada, secador por convección natural y secador tipo túnel). Para el análisis de estas variables se utilizó el software estadístico Statistix 8 para Windows. Por último, se usó una matriz de evaluación de la sostenibilidad, la cual se procesó usando el software EXCEL® (Tabla 1S).

III. RESULTADOS

Modelamiento de la cinética de secado de cacao nativo fino de aroma

Al inicio del secado, los granos de cacao nativo fino de aroma en los tres tipos de secadores se colocaron en la cámara de secado a una temperatura menor a la de esta cámara; por lo que, los datos iniciales se ajustan a una curva por lo que se desprecian, los siguientes datos recién se ajustan a una recta y son los que interesan (Figura 5S). Esta primera etapa del secado se denomina período de inducción donde se produce un calentamiento del producto, adecuándose el material a las condiciones del secado y dado que su duración es muy corta con respecto al tiempo total de secado, no se toma en cuenta para el diseño de secadores industriales (Ibarz *et al.*, 2000). La característica que muestran las curvas de secado, cuando se grafica la humedad residual vs tiempo, es una sección recta que corresponde a la etapa de secado a velocidad constante y una sección curva que corresponde a la etapa de secado a velocidad decreciente. Cuando termina la sección recta y se inicia la curva, se lee en la gráfica el tiempo crítico (t_c) y la humedad crítica (Y_c). Al final, la curva tiene un comportamiento asintótico con el eje de las abscisas (tiempo) y permite leer en la gráfica la humedad de equilibrio (Y_{eq}).

Cinética de secado en secador solar por convección forzada

Partiendo de 8 kg de cacao fermentado con 55% de humedad, en el primer día de secado se alcanzó a las

cuatro horas una humedad crítica de 0,67 g H₂O/g cacao seco y a las ocho horas una humedad de equilibrio de 0,43 g H₂O/g cacao seco. En el segundo día, a las nueve horas de secado (contadas desde el día uno) se observó una disminución de la humedad residual a 0,32 g H₂O/g cacao seco y una humedad de equilibrio de 0,15 g H₂O/ g cacao seco alcanzadas a las 17 horas. En el tercer día a las 18 horas totales de secado se observó una disminución de la humedad residual a 0,14 g H₂O/ g cacao seco y una humedad de equilibrio de 0,07 g H₂O/ g cacao seco, instante en que el cacao llegó a una humedad comercial de 7 % (Figura 5Sa). El tiempo total de secado fue de 22 horas, con un rango de temperatura de la cámara de secado entre 37,0 y 56,0 °C, con un promedio de 42,7 °C. El cacao en las horas sin radiación solar (noche y madrugada) continuó perdiendo humedad debido probablemente a que la cámara de secado aún mantenía temperaturas aproximadas a las del día entre 36,0 y 39,0 °C, generados por el efecto invernadero en la cámara de secado debido a que se registró temperaturas ambientales entre 22,0 y 30,0 °C en horas no diurnas.

Cinética de secado en secador solar por convección natural con absorbedor de zeolita

En el presente estudio, partiendo de 8 kg de cacao fermentado con 55% de humedad, en el primer día de secado se alcanzó a las cinco horas una humedad crítica de 0,62 g H₂O/g cacao seco, dos horas más que en el secador por convección forzada y a las ocho horas una humedad de equilibrio de 0,39 g H₂O/g cacao seco. En el segundo día, a las nueve horas de secado (contadas desde el día uno) se observó una disminución de la humedad residual a 0,31 g H₂O/g cacao seco y una humedad de equilibrio de 0,12 g H₂O/g cacao seco alcanzadas a las 16 horas. En el tercer día a las 17 horas totales de secado se observó una disminución de la humedad residual a 0,11 g H₂O/g cacao seco y una humedad de equilibrio de 0,07 g H₂O/g cacao seco, instante en que el cacao llegó a una humedad final de 7% (Figura 5Sb). El tiempo total de secado fue de 19 horas, con un rango de temperatura de la cámara de secado entre 38,0 y 59,0 °C, con un promedio de 46,2

°C, observando una diferencia de tres horas menos en el tiempo de secado y tres grados más de temperatura en la cámara de secado con respecto al secador de convección forzada. El cacao en las horas sin radiación solar (noche y madrugada) continuó perdiendo humedad debido probablemente a que la cámara de secado aún mantenía temperaturas promedio a las del día entre 36,0 y 39,0 °C, generados por el efecto invernadero de la cámara de secado donde se realizó el experimento debido a que en el ambiente se registró temperaturas ambientales entre 22,0 y 30,0 °C en horas no diurnas, aspecto similar a lo ocurrido con el secador por convección forzada.

Cinética de secado en secador solar tipo túnel

Con la finalidad de uniformizar el área de secado entre secadores, se utilizó un área de 2 m² en el secador tipo túnel para realizar los experimentos, partiendo de 8 kg de cacao fermentado con 55 % de humedad, en el primer día de secado se alcanzó a las cinco horas una humedad crítica de 0,55 g H₂O/g cacao seco, (similar al de convección natural, pero dos horas más que en el secador por convección forzada) y a las ocho horas una humedad de equilibrio de 0,43 g H₂O/g cacao seco. En el segundo día, a las nueve horas de secado (contadas desde el día uno) se observó una disminución de la humedad residual a 0,36 g H₂O/g cacao seco y una humedad de equilibrio de 0,23 g H₂O/ g cacao seco, alcanzadas a las 17 horas. En el tercer día a las 18 horas totales de secado se observó una disminución de la humedad residual a 0,20 g H₂O/g cacao seco y una humedad de equilibrio de 0,08 g H₂O/g cacao seco, instante en que el cacao llegó a una humedad final de 8% (Figura 5Sc). El tiempo total de secado fue de 24 horas, con un rango de temperatura de la cámara de secado entre 32,0 y 54,0 °C, con un promedio de 38,8 °C, observando una diferencia de dos y cinco horas más en el tiempo de secado que en los secadores forzado y natural, respectivamente; además, que la temperatura promedio en la cámara de secado fue inferior a los dos primeros tipos de secadores. El cacao en las horas sin radiación solar (noche y madrugada) continuó perdiendo humedad debido probablemente a que la cámara de secado aún

mantenía temperaturas promedio a las del día entre 33,0 y 36,0 °C, generados por el efecto invernadero en el secador por la temperatura del ambiente en la zona donde se realizó el experimento que registró temperaturas ambientales entre 22,0 y 30,0 °C en horas no diurnas, aspecto similar a lo ocurrido con los secadores por convección forzada y natural.

Análisis de variables fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas del cacao nativo fino de aroma referente a acidez, pH, capacidad antioxidante y polifenoles no se encontró diferencia significativa con los tres tipos de secadores solares, observando diferencias significativas en las variables grasa y proteína. Sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los

Análisis de variables organolépticas

Se observa diferencia significativa en acidez y amargor del cacao en los tres tipos de secadores solares, mostrando menor valor de acidez en el secado por convección natural, aspecto importante en el cacao y en amargor destaca el de túnel y de convección forzada. En las variables aroma, astringencia y sabor no se encontró diferencia significativa; sin embargo, en los tres tipos de secadores solares se obtuvo niveles entre aceptables a bueno del cacao nativo fino de aroma (Tabla 3S).

En la Figura 6S, se muestran los perfiles sensoriales de las muestras de cacao evaluadas, en una escala de 0 a 8 puntos, observando que los secadores por convección forzada y natural presentan mejores valores relacionados al sabor y aroma.

Evaluación de sostenibilidad de los secadores solares empleados

Según los factores de evaluación considerados en el presente estudio dado por construcción, operación, tecnología empleada y calidad del producto obtenido, en función al aspecto social, ambiental y económico; se considera que el secador por convección forzada es el que presenta mejores resultados desde el punto de vista de sostenibilidad de la tecnología de secador solar de cacao nativo fino de aroma.

IV. DISCUSIÓN

Cinética de secado del cacao nativo fino de aroma

El rendimiento promedio del secado de cacao nativo fino de aroma fue de 53,8%, en el secador solar por convección forzada, es decir de 8,0 kg de cacao fermentado con una humedad promedio de 55,0% base húmeda, se obtuvo 4,1 kg de cacao con un 7,0% de humedad base seca. Con el secador solar de convección natural, el rendimiento promedio del secado de cacao fue de 52,5%, y con el secador solar tipo túnel fue de 55,0%. Los rendimientos obtenidos en la presente investigación fueron superiores al 48,0% reportado por López y Chávez (2018), en secado de cacao en México empleando secador solar tipo túnel.

Al respecto, Sánchez-Álamo (2017), afirma que el secado reduce el peso de los granos aproximadamente al 50,0%; además, Tinoco y Ospina (2013), mencionan que al final de la fermentación el contenido de humedad de los granos de cacao está alrededor del 55,0%, para ser almacenados con seguridad debe reducirse a límites de 7,0% a 8,0%, el secado no constituye una simple reducción de humedad, sino que los cambios químicos continúan mientras el contenido de humedad desciende con lentitud hasta que se detienen por la falta de humedad o la inactivación de las enzimas por otros medios. Por este motivo, el secado no debe ser muy rápido durante los dos primeros días, las altas temperatura pueden inactivar las enzimas.

El tiempo de secado de 22 horas obtenido en la presente investigación con el secador solar de convección forzada, es similar al reportado por Maureira (2006), al secar cacao en Ecuador y por Gonzáles (2008) al secar café en Omía, Mendoza, Amazonas a 25,0 °C y 24,8 °C de temperatura ambiente, respectivamente. Sin embargo, es superior al tiempo utilizado por Silva y Malpica (2016), quienes emplearon 15 horas en secado de cacao, en Venezuela a 28,0 °C de temperatura ambiente.

El tiempo de secado con el secador solar de convección natural fue de 19 horas, siendo menor al reportado por Siguencia-Avila (2013), en Ecuador quien utilizó el mismo tipo de secador con 23,6 horas de secado y

por Maureira (2006), al secar cacao en Ecuador y por Gonzáles (2008), al secar café en Omía, Mendoza, Amazonas. Sin embargo, es superior al tiempo utilizado por Silva y Malpica (2016), quienes emplearon 15 horas en secado de cacao, en Venezuela.

El tiempo de secado de 24 horas obtenido en la presente investigación con el secador solar tipo túnel es menor al reportado por López y Chávez (2018), en México quien utilizó el mismo tipo de secador con 35 horas de secado. Sin embargo, es superior a lo reportado por Maureira (2006), al secar cacao en Ecuador y por Gonzáles (2008), al secar café en Omía, Mendoza, Amazonas.

En la Figura 5, para el secador solar de convección forzada, el tramo recto de la curva de secado corresponde al período de velocidad constante de secado, entre las 1,5 y 4 horas (primer día) y está asociado a la eliminación del agua no ligada a las semillas de cacao, en el que el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente. Para los secadores solares de convección natural y tipo túnel, el tramo recto se dio entre las 2,5 y 5 horas (primer día).

Al inicio, la superficie del cacao se encuentra muy húmeda, el agua eliminada de la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior de la semilla. El periodo de velocidad constante continúa mientras el agua evaporada en la superficie pueda ser compensada por la que se encuentra en el interior, al respecto Vega y Lemus (2006), manifiestan que las curvas de secado tienen función lineal en el periodo de velocidad constante. El periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir, en la presente investigación fue desde las cuatro horas de secado hasta el final del primer día; en esta etapa, la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor, se representa por la línea curva que baja hasta tener un comportamiento asintótico con el eje de las abscisas, al respecto Ocón y Tojo (1980), afirman que el periodo de velocidad decreciente se extiende desde la humedad crítica Y_c hasta la humedad final del sólido Y_f , cuyo valor límite es la humedad de equilibrio Y^* .

El período de velocidad decreciente de secado se puede dividir en dos partes: la primera se da cuando los puntos húmedos en la superficie del cacao disminuyen continuamente hasta que la superficie está completamente seca, luego ocurre una inflexión que representa la segunda parte de este periodo donde el plano de evaporación se traslada al interior del producto; el calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través del cacao hasta la superficie de evaporación, y el vapor de agua producido se mueve a través de las semillas en la corriente de aire que va hacia la superficie (Barrena, 2011). A veces no hay diferencias marcables entre estas dos partes del periodo de velocidad decreciente (Ibarz *et al.*, 2005).

Con respecto al uso de la zeolita en el secador solar por convección natural, en la presente investigación no mostró los resultados esperados, es decir la contribución para absorber la humedad desprendida del producto fue nula; contrario a lo reportado por Siguencia-Avila (2013), en secado de cacao en Ecuador, encontrando que el secador solar inclinado con absorbedor de zeolita resulta eficiente debido a que la zeolita redujo el tiempo total de secado en 5 horas y además la zeolita aumentó su humedad relativa a lo largo de la noche como también lo hizo la humedad exterior y la del cacao; sin embargo, existió una mayor hidratación de la zeolita respecto a la humedad del cacao a partir de las 22:30 horas. En la presente investigación como la zeolita no atrapaba la humedad del producto, generando el cocinado del mismo y en consecuencia su deterioro, en los siguientes experimentos se generó una abertura en el vidrio del secador para permitir la salida de la humedad, permitiendo un secado adecuado del cacao y por lo tanto se pudo lograr la humedad comercial de 7%.

Con respecto al modelo matemático de la cinética de secado del cacao nativo fino de aroma, se encontró en la presente investigación que, para los tres tipos de secadores solares empleados, en el periodo de velocidad constante, al inicio del secado, en los tres días, la ecuación fue lineal y para la velocidad decreciente la ecuación fue logarítmica (Figura 5). Esto concuerda

con lo obtenido por Gonzáles (2008) y Barrena (2011).

Análisis de variables fisicoquímicas

Los niveles de acidez titulable encontrados en la presente investigación son similares a los reportados por Albia *et al.* (2016) en secado de cacao nativo fino de aroma en Colombia, y por Nazaruddin *et al.* (2006), quienes evaluaron cacao originario de Malasia. Al respecto Albia *et al.* (2016), mencionan que, en la etapa de fermentación, los ácidos láctico y acético producto de la degradación microbiana de la pulpa son difundidos hacia el interior del cotiledón incrementado de esta manera los niveles de acidez los cuales disminuyen durante la etapa del secado. Sin embargo, una alta producción de estos ácidos conlleva a la producción de granos con sabor ácido, lo cual interfiere en la buena calidad del cacao (Schwan y Fleet, 2015).

Los valores de pH encontrados en este estudio son inferiores a los reportados por Albia *et al.* (2016), en cacao nativo fino de aroma con 6,03 y 6,34 para el menor y mayor valor respectivamente. Al respecto, Armijos (2002), menciona que el pH óptimo para un cacao de calidad debe encontrarse en un rango de 5,1 a 5,4 cualquier cacao con un pH menor a 5,0 indica presencia de ácidos no volátiles indeseables que dan al producto aromas desagradables, que perjudican a la producción del chocolate. Jinap *et al.* (1995), demostraron que un pH bajo (rango 4,8-5,2) indica que los granos de cacao fermentados y secos son de inferior calidad aromática; en tanto que Portillo *et al.* (2007), encontraron que el pH inferior a 4,5 es asociado con la disminución del potencial aromático del grano. La variación en el nivel del pH es un parámetro determinante y relacionado con las condiciones del secado (López y Ramírez, 2001).

La capacidad antioxidante obtenida en esta investigación osciló entre 89,7% en secador tipo túnel y 90,8% en secador por convección forzada, estos resultados son superiores a los encontrados por Gonzáles *et al.* (2013), en México al evaluar la actividad antioxidante de 34 extractos metanólicos de cacao, la cual osciló entre 57,0 % y 71,1 % de inhibición y además son superiores a los encontrados por Granato *et al.* (2011),

quienes realizaron un trabajo en 73 vinos tintos producidos en Brasil, Chile y Argentina reconocidos como importante fuente de antioxidantes, cuya actividad antioxidante osciló entre 47,9 y 66,7% de inhibición del DPPH. Al respecto Rivera *et al.*, (2012), manifiestan que, desde la perspectiva de salud humana, la actividad antioxidante produce efectos benéficos, en aquellos alimentos y bebidas ricas en polifenoles, porque protegen al organismo de los radicales libres, moléculas altamente reactivas causantes de daños en el organismo a nivel celular que tienden a incrementar el riesgo al desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y algunas degenerativas.

El contenido de polifenoles expresados en equivalente de ácido gálico (EAG) obtenidos en la presente investigación con valores entre 4,9 y 7,12 g EAG/ 100 g, son similares a lo reportado por Gonzáles *et al.* (2013), en México al evaluar clones de cacao finos y aromáticos, en promedio de 6,4 g EAG/100 g. Sin embargo, fueron superiores a los encontrados por Nazario *et al.*, (2018), quienes cuantificaron polifenoles totales en granos de cacao criollo y siete clones, con rangos entre 3,338 y 5,721 g EAG/100g. Nogales (2006), indica que durante la etapa de secado se reduce el contenido de polifenoles, esto se atribuye al pardeamiento enzimático causado por la enzima polifenoloxidasas; así mismo, cuanto mayor sea la humedad, aumenta la oxidación de los polifenoles presentes en el cacao; Ortiz *et al.*, (2009), dicen que el contenido de polifenoles totales de los granos de cacao disminuyen aún más después del secado. Las catequinas y procianidinas aisladas del cacao tienen fuertes propiedades antioxidantes in vitro. El contenido de grasa encontrado en la presente investigación fue superior en el secador por convección forzada con 42%, similar al secador tipo túnel con 39,59%; sin embargo, el secador por convección natural presentó diferencia significativa con menor valor de 36,51 %, según la prueba de Tukey. Estos resultados son similares a los encontrados por Gonzáles *et al.*, (2013), en México con promedio general en las 34 muestras de cacao de $35,1 \pm 7,1$ % de grasas. Sin embargo, son inferiores a los encontrados por Llambo

(2014), en Ecuador con rangos entre 47,0% a 50,0% en cacao nativo fino de aroma y por Albia *et al.* (2016), con rangos entre 43,4% al 47,0 % en cacao criollo. La manteca de cacao es una materia prima importante para la industria chocolatera, farmacéutica y cosmética. El contenido y calidad de la manteca en el grano de cacao son características controladas genéticamente y afectan su valor comercial e industrial (Araújo *et al.*, 2009).

La prueba Tukey indica que el secador por convección natural, presentó mayor porcentaje de proteína con 14,3% sin mostrar diferencia significativa con el secador por convección forzada, pero si mostró diferencia significativa con el secador tipo túnel que presentó menor nivel de proteína. Estos resultados son similares a los encontrados por Bedoya (2016), al evaluar las características bromatológicas de cacao fermentado y seco en promedio 12,5% de proteína y por Álvarez, (2007), quien encontró para los diferentes genotipos de cacao, un rango de proteína entre 12,3% a 14,0%. Al respecto Bertazo *et al.*, (2011), afirman que los granos de cacao contienen entre 10,0% a 15,0% de proteína, que se compone de 52,0% y 43,0% de albúmina y globulina respectivamente. La degradación de las proteínas de los cotiledones en péptidos, produce los precursores específicos del aroma y sabor del cacao (González *et al.*, 2012). Durante el secado y el tostado, péptidos y aminoácidos libres, junto a azúcares reductores también presentes en granos fermentados de cacao, producen la reacción de Maillard, responsable del típico aroma a cacao. Así la fermentación y el tostado junto con el tipo de suelo, clima, condiciones de cosecha y secado, afectan en gran medida las características del cacao.

Análisis de variables organolépticas

En el análisis sensorial de acidez construido por gráficas radiales (Figura 6), se observa que para el secador tipo túnel se encuentra en un valor de 6 en su mayoría, para el forzado entre 5 y 6 y para convección natural con valor de 5; estos datos son similares a lo reportado por la prueba Tukey donde se encontró diferencia significativa para el secador por convección natural quien

presentó el menor valor. Estos resultados son superiores a los encontrados por Albia *et al.* (2016), quienes evaluaron cacao nativo fino de aroma con valores de acidez sensorial entre 2 y 5, y lo reportado por Solórzano *et al.* (2015), con valores entre 1,1 y 5,2. Al respecto Albia *et al.* (2016), mencionan que una de las posibilidades que se incrementara la acidez sensorial en varias muestras puede estar atribuido a una sobre fermentación y otra sería que varias de las muestras sufrieron un secado violento al inicio, ocasionando la retención de ácidos volátiles en las almendras elevando los niveles de acidez, este último aspecto pudo haber sucedido en el presente estudio. Sin embargo, de acuerdo a la escala de calificación utilizada en el presente estudio un valor entre 5 y 6 es de calidad aceptable.

El análisis sensorial de amargor construido por gráficas radiales (Figura 6), se observa que los valores en los tres secadores fluctúan entre 5 y 6, mostrando diferencia significativa según Tukey el tipo túnel con menor valor seguido por convección forzada, de acuerdo a la escala de calificación utilizada en el presente estudio un valor entre 5 y 6 es de calidad aceptable. Estos resultados son similares a los encontrados por Reynel *et al.* (2016), en Ecuador al evaluar el efecto del tipo de secado en la calidad organoléptica del cacao. El amargor, se define como un sabor fuerte, generalmente debido a la falta de fermentación, se percibe en la parte posterior del paladar o en la garganta, se lo relaciona con el café, cerveza caliente y la toronja (Albia *et al.*, 2016). Para Cedeño (2010), a mayor cantidad de amargor existente en la muestra, mayor es la cantidad de astringencia, por lo que se deduce que una buena fermentación es el punto clave para la formación de sabores específicos y reducción de sabores básicos.

El análisis sensorial de aroma construido por gráficas radiales (Figura 6), se observa que los valores en los tres secadores fluctúan alrededor de 7, de acuerdo a la escala de calificación utilizada en el presente estudio, es de buena calidad. Además, se encontró un aroma a chocolate característico del cacao nativo fino de aroma.

El análisis sensorial de sabor construido por graficas radiales (Figura 6), se observa que los valores en los tres secadores fluctúan alrededor de 6 y 8, de acuerdo a la escala de calificación utilizada en el presente estudio es de buena calidad, además la prueba Tukey muestra que no existe diferencia significativa entre tratamientos con una media general de 6,6. Sin embargo, en el gráfico radial se observa que los secadores por convección forzada y natural obtuvieron valores de 8 con mayor presencia en las muestras del forzado, el menor valor lo registró el secador tipo túnel con 5. Estos resultados son similares a los obtenidos por Albia *et al.* (2016). Al respecto González *et al.* (2012), mencionan que la degradación de las proteínas de los cotiledones en péptidos, produce los precursores específicos del aroma y sabor del cacao, durante el secado y el tostado, péptidos y aminoácidos libres, junto a la reducción de azúcares también presentes en granos fermentados de cacao, son sometidos a la reacción de Maillard, responsable del típico aroma y sabor a cacao.

Análisis de sostenibilidad de los secadores solares empleados

En base a los resultados favorables para mantener la calidad del cacao nativo fino de aroma obtenidos en la presente investigación, se recomienda a los productores cacaoteros adoptar la tecnología del secador solar de convección forzada, la cual es de bajo costo, fácil construcción y operación con una capacitación mínima y de uso amigable con el medio ambiente por no generar gases de efecto invernadero durante su operación.

La adopción tecnológica se considera un factor estratégico de la competitividad de los sistemas de producción agropecuaria, donde la implementación de diversos factores innovadores puede generar cambios importantes en la calidad del sistema asociados con el incremento de la producción (Romero, 2009). Con esta visión, la adopción tecnológica es propuesta como un mecanismo importante de promoción para el desarrollo productivo y económico de países en desarrollo, especialmente con el aprovechamiento de energías renovables que permitan el desarrollo sostenible en la producción y conservación de alimentos.

V. CONCLUSIONES

El tiempo total de secado del cacao nativo fino de aroma hasta alcanzar la humedad de equilibrio y/o comercial entre 7 y 8 %, con el secador solar tipo túnel que utiliza la Cooperativa APROCAM fue de 24 horas; mientras que en los prototipos de secador solar planteados en la presente investigación por convección forzada y convección natural fue de 22 y 19 horas respectivamente. Sin embargo, la calidad del cacao es conservada de mejor manera por el secador solar de convección forzada, según la evaluación realizada en la presente investigación.

El uso de zeolita, en el secador solar por convección natural no mostró los resultados esperados, es decir la contribución para absorber la humedad desprendida del producto fue nula. La zeolita no atrapaba la humedad del producto y generaba el cocinado del mismo y en consecuencia su deterioro, para los demás experimentos se abrió la cobertura de vidrio del secador para permitir la salida de la humedad, logrando realizar el secado de manera óptima hasta la humedad de 7%.

Las características fisicoquímicas del cacao nativo fino de aroma referente a acidez, pH, capacidad antioxidante y polifenoles no se encontró diferencia significativa con los tres tipos de secadores solares, sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros normales comparados con otros estudios y estándares establecidos. A pesar de ello, debido a la forma de operación es más recomendable el secador solar de convección forzada.

Referente al análisis organoléptico, se encontró diferencia significativa en acidez y amargor del cacao en los tres tipos de secadores solares, mostrando menor valor de acidez en el secado por convección natural, aspecto importante en el cacao y en amargor destaca el de túnel y de convección forzada. En las variables aroma, astringencia y sabor no se encontró diferencia significativa; sin embargo, en los tres tipos de secadores solares se obtuvo niveles entre aceptables a bueno del cacao nativo fino de aroma.

En relación a la energía solar aplicada al secado, este estudio tiene como finalidad dar una alternativa viable

al secado solar artesanal, y en base a los resultados se recomienda la adopción de la tecnología del secador solar por convección forzada que aporta a mejorar la rentabilidad y eficiencia de la operación de secado que puede ser realizada por los pequeños productores que no tienen mayores recursos económicos pero que empleando materiales para construir este tipo de secadores que se encuentran disponibles en la zona reducirán costos y conservarían la calidad del cacao nativo fino de aroma, para mejorar sus ingresos económicos.

VI. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albia, B., K. J. y C. A. Mendoza Alcívar. 2016. *Post-Cosecha y secado del grano del cacao nacional fino y de aroma para la determinación de perfiles físicos, bromatológicos y organolépticos*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta: (Ecuador).
- Álvarez, C., E. Pérez, y M. C. Lares. 2007. "Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas cultivadas en la región de Cuyagua, estado Aragua". *Agronomía Tropical* 57 (4): 249-256.
- Araújo, I. S., de Souza Filho G. A., Pereira M. G., Faleiro F. G., de Queiroz V. T., Guimarães C. T. y Schenell, R. 2009. "Mapping of quantitative trait loci for butter content and hardness in cocoa beans (*Theobroma cacao* L.)". *Plant molecular biology reporter* 27 (2):177-183.
- Arvelo, M. Á., T. Delgado López, S. Maroto Arce, J. Rivera, I. Higuera Ciapara, y A. Navarro. 2016. *Estado actual sobre la producción y el comercio del cacao en América*. Guadalajara (México): CIATEJ
- Armijos, A. 2002. *Caracterización de acidez como parámetro químico de calidad en muestras de cacao (*Theobroma cacao* L.) fino y ordinario de producción Nacional durante la fermentación*. Tesis de Grado. Universidad Católica del Ecuador. Quito (Ecuador).
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. Washington (USA): AOAC.
- Barrena, M. 2011. *Modelamiento de la cinética de secado de lúcumo (*Pouteria lucuma*)*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo (Perú).
- Bergues-Ricardo, C. C., L. Bérriez Pérez, y P. Griñán Villafañe. 2013. "Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba". *Tecnología Química* 33 (1): 31-40.
- Bedoya, C. 2016. *Metodologías para el análisis bromatológico, físico y químico del cacao fermentado y seco, dentro del marco normativo internacional*. Tesis de Grado. Universidad La Salle. Caldas (Colombia).
- Castañeda, B., E. Ramos Llica, y I. Ibañez Vasquez. 2008. *Evaluación de la capacidad antioxidante de siete plantas medicinales peruanas*. Tesis de Grado. Universidad San Martín de Porres. Lima (Perú).
- Cedeño, P. 2010. *Determinación de perfiles organolépticos de ocho grupos de cacao mediante la degustación de licor de cacao y chocolates oscuros artesanalmente*. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria De Manabí Manuel Félix López. Calceta (Ecuador).
- García, E., I. Fernández, y A. Fuentes. 2015. *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. Tesis de Grado. Universitat Politècnica de València. Valencia (España).

- González, W. 2008. *Construcción de un secador solar con flujo de aire forzado, para secar granos de café en el distrito de Omia, provincia de Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas – Perú*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú).
- González, Y., E. Pérez, y C. Palomino. 2012. “Factores que inciden en la calidad sensorial del chocolate”. *Actualización en nutrición* 13 (4): 314-331.
- Granato, D., F. C. U. Katayama, y I. A. de Castro. 2011. “Phenolic composition of South American red wines classified according to their antioxidant activity, retail price and sensory quality”. *Food Chemistry* 129 (2): 366-373.
- IIAP (Instituto de la Amazonia Peruana) y GRA (Gobierno Regional Amazonas). 2010. *Zonificación ecológica y económica del departamento de Amazonas*. Lima. (Perú): IIAPyGRA.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2012. *IV Censo Nacional Agropecuario*. Lima. (Perú): INEI.
- Ibarz, R., A., G.V. Barbosa Cánovas, S. Garza G. y V. Gimeno A. 2000. *Métodos Experimentales en la Ingeniería Alimentaria*. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIAS.A.
- Janjai, S. 2012. “A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: Development and dissemination”. *Inter. J. Energy Environ.* 3 (3): 383-398.
- Jinap, S., Dimick, P. S., y Hollender, R. 1995. “Flavour evaluation of chocolate formulated from cocoa beans from different countries”. *Food Control* 6 (2): 105-110.
- López, I., y E. Chávez. 2018. “Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en Tabasco”. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9 (21): 4395-4405.
- López, O., y S. Ramírez. 2011. *Caracterización agronómica de clones Theobroma cacao, en plantaciones de cacao*. Tuxtla Chico, Tapachula, Tuzantán y Pichucalco, Estado de Chiapas. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Chiapas. Chiapas (Mexico).
- Llambo, G. 2014. *Estudio de la variación de los contenidos de polifenoles totales, alcaloides y grasa en almendras de cacao fino de aroma en tres diferentes zonas de producción de la Amazonia ecuatoriana*. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato. Ambato (Ecuador).
- Maureira, J. P. 2006. *Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada para una capacidad de 500 kg*. Tesis de grado. Universidad de las Fuerzas Armadas. Quito (Ecuador).
- Nazario, O., E. Ordoñez, Y. Mandujano, y J. Arévalo. 2018. “Polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante de granos secos y análisis sensorial del licor de cacao (*Theobroma cacao* L.) criollo y siete clones”. *RevIA* 3 (1).
- Nazaruddin, R., L. K. Seng, O. Hassan, y M. Said. 2006. “Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation”. *Industrial Crops and Products* 24 (1): 87-94.
- Nogales, J., N. Graziani de fariañas, L. Ortiz de bertorelli. 2006. “Cambios físicos y químicos durante el secado al sol del grano de cacao fermentado en dos diseños de cajones de madera”. *Agronomía Trop.* 56 (1): 5-20
- Ocón G. J., y G. Tojo B. 1980. *Problemas de Ingeniería Química. Tomo II*. Madrid (España): Editorial Aguilar S.A.
- Ortiz, L., L. Graziani, y G. Rovedas. 2009. “Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol”. *Agronomía Trop.* 59 (2).
- Pipitone, L. 2014. *Nuevas tendencias en el mercado*

- internacional de cacao: oportunidades para el Perú como productor de cacao fino y de aroma*. Tesis de Grado. Universidad de Colombia. Bogotá (Colombia).
- Portillo, E., L. Graziani, y E. Betancourt. 2007. "Análisis químico del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el sur del lago de Maracaibo". *Revista de la Facultad de Agronomía* 24 (3): 522-546.
- Reynel, V., O. Loor, M. Bolaños, y W. Tezara. 2016. "Efectos del tipo de secado en la calidad organoléptica del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Esmeraldas". *Investigación y Saberes* (1): 22-38.
- Rivera, R., F. Mecías, Á. Guzmán, M. Peña, H. Medina, L. Casanova. 2012. "Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (*Theobroma cacao* L.) tipo nacional". *Ciencia y Tecnología*, 5(1): 7-12.
- Romero, J. 2009. *Características socioeconómicas y nivel de adopción tecnológica en sistemas de producción porcícola del municipio de Fusagasugá, Departamento de Cundinamarca*. Tesis de Grado. Universidad de Colombia. Bogotá (Colombia).
- Sánchez-Alamo, E. N. 2017. *Efecto de tipos de secado del cacao (*Theobroma cacao* L.) ccn-51 en la preservación de polifenoles totales y antocianinas*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto (Perú).
- Siguencia-Avila, J. M. 2013. *Evaluación de un secador solar inclinado con absorbedor de zeolita para granos de cacao CCN51*. Tesis de Doctorado. Universidad de Cuenca. Cuenca (Ecuador).
- Silva, T. D., y F. A. Malpica. 2016. "Desarrollo de un modelo matemático para dimensionar un deshidratador solar directo de cacao". *Ingeniería Mecánica* 19 (1): 30-39.
- Solórzano, E., F. Amores, J. Jiménez, C. Nicklin y S. Barzola. 2015. "Comparación sensorial del cacao (*Theobroma cacao* L.) Nacional fino de aroma cultivado en diferentes zonas del Ecuador". *Rev. Ciencia y Tecnología* 8 (1): 43.
- Schwan, R., y G. Fleet. 2015. *Cocoa and Coffee Fermentations*. Londres (Reino Unido): Graham H. Fleet
- Tinoco, H. A., y D. Y. Ospina. 2013. "Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución del tiempo de secado (Analysis of the cocoa dehydration process for reducing drying time)". *Revista EIA* 7 (13): 53-63.
- Valera, J. 2013. *Factores socioeconómicos que influyen en la adopción del cultivo de la vid en Magdalena Cajamarca*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima (Perú).
- Vega, A. A., y R. A. Lemus. 2006. "Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*)". *Información tecnológica* 17 (3): 23-31.