

## **Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú**

Álvaro Prada<sup>(1)</sup>, Cynthia P. Vela<sup>(1)\*</sup>, Gabriela Bardález<sup>(1)</sup> y Jorge Saavedra<sup>(2)</sup>

(1) Cooperativa Agraria Cafetalera ADISA. Carretera Fernando Belaúnde Terry Km 419, Naranjos, Rioja, San Martín, Perú. (e-mail: [alpragu@gmail.com](mailto:alpragu@gmail.com); [cynthiavela78@gmail.com](mailto:cynthiavela78@gmail.com); [gbardalez24@gmail.com](mailto:gbardalez24@gmail.com))

(2) Univ. Nacional De San Martín, Tarapoto. Jr. Amorarca 315, San Martín, Perú. (e-mail: [jesarez@hotmail.com](mailto:jesarez@hotmail.com))

\* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

*Recibido Feb. 25, 2019; Aceptado Abr. 11, 2019; Versión final Jun. 26, 2019, Publicado Dic. 2019*

---

### **Resumen**

El objetivo de esta investigación fue reducir el tiempo de secado de café hasta obtener un promedio de 12% de humedad, mediante el uso de módulos secadores solares implementados con un sistema de flujo de aire continuo impulsado por energía fotovoltaica. La investigación se llevó a cabo en la provincia de Rioja, región san Martín, Perú. La investigación fue de tipo experimental, usando un diseño completo al azar en esquema factorial con dos factores (uso de prototipos y tiempo de secado); con siete repeticiones. Se utilizó un secador solar tipo invernadero de 4 x 8 m. con nueve mediciones por cada día. Se evaluó la humedad del grano, la que se redujo a 12.3% en cinco días en promedio. Se recomienda utilizar el secador solar con prototipo para el secado de grano de café.

*Palabras clave: secado de café; tiempo de secado; secador solar; energía fotovoltaica; humedad del café*

## **Effectiveness of a Coffee Drying Process Using Solar Dryers with a Continuous Air Flow System Powered by Photovoltaic Energy, in the San Martín Region, Peru**

### **Abstract**

The objective of this research was to reduce the drying time of coffee to obtain an average of 12% humidity, through the use of solar dryers implemented with a continuous air flow system powered by photovoltaic energy. The research was carried out in the province of Rioja, San Martin region, Peru. The research was of the experimental type using a complete random design with a factorial scheme including two factors (use of prototypes and drying time); with 7 repetitions. A greenhouse solar dryer of 4 x 8 m was used. with nine measurements per day. The moisture of the grain was measured, which was reduced to 12.3% in five days in the average. It is recommended to use the solar dryer with prototype for drying coffee bean.

*Keywords: coffee drying; drying time; solar dryer; photovoltaic energy; coffee humidity*

## INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos agrícolas más importantes en el comercio internacional (Julca et al., 2013). En Perú y la amazonia se cultiva básicamente variedades como Typica, Bourbon, Pache, Caturra y Catimor. (Galindo, 2011; García y Barreto, 2007) es así que para el Perú este cultivo es uno de los principales productos que mueve la economía del país y muchos de los productores asentados en áreas rurales como en comunidades y localidades rurales vienen cultivando este producto asociado a especies agroforestales con aplicación de abonos orgánicos que les brinda mayor sostenibilidad a largo tiempo en combinación con microorganismos nativos eficientes como los micorrizas donde interactúan planta – microorganismo. A través de este método se puede establecer la compatibilidad funcional entre micorrizas, el suelo y plantas que lleve a un incremento en la producción; aunque puede generarse una competencia negativa con otros hongos nativos (Garzón, 2016).

La cosecha de café en Perú se realiza manualmente con obreros y productores, quienes colectan los frutos semimaduros y maduros de las plantas de diferentes variedades. Estos granos son despulpados con máquinas despulpadoras para ser almacenados por un día; después, lavados y secados en diferentes condiciones afectando la calidad física y sensorial del café. La calidad del grano seco está determinada por el conjunto de características físicas y organolépticas que motivan a un comprador a pagar un precio diferenciado por el producto, lo que representa mayor ingreso y rentabilidad al caficultor. Sin embargo, la temperatura media del ambiente afecta significativamente el perfil sensorial en la etapa de llenado del grano. Los principales atributos de calidad afectados por la temperatura son la acidez y el carácter afrutado, que son típicos de cafés cultivados en climas fríos con alta radiación solar (Bertrand et al., 2012). Existen muchas formas para el secado de los granos de café, los métodos son diversos pero el más utilizado es mediante la disposición de mantos directamente al suelo, otros en pisos de cemento a expensas del sol y el viento. El secado del café es una fase crítica para la obtención de granos de calidad, pues en la transición entre el café húmedo y el café seco, existen organismos hidrofílicos; además, la fisiología de la semilla obstaculiza la formación de mohos toxicogénicos. El mecanismo de secado del café es más complicado que el de cualquier otro grano (Cruz et al., 2010) y mucho más si se trata de las condiciones climáticas de la amazonia, donde existe bastante humedad en la épocas lluviosas entre enero a abril (Perú). La eficiencia térmica del secador solar se determina evaluando el porcentaje de humedad presente en los granos (Monrudee et al., 2011; Tiwaria et al., 2013; Zakaria, 2013). La eficiencia de un secador solar es una medida de la eficacia con que se utiliza la radiación solar por el sistema para secar el producto y evaluar su rendimiento (Keke et al., 2014 y Mustapha et al., 2014).

La temperatura del aire durante el secado del café es una de las variables críticas a controlar, ya que una disminución del potencial hídrico de las semillas de café durante el secado produce repuestas masivas de estrés que se asocian, en las etapas iniciales del secado, con procesos de germinación y conforme se va reduciendo el agua, en estrés de sequía en los tejidos del embrión y endospermo (Kramer et al., 2010). A mayor temperatura la energía cinética de las moléculas de agua localizadas en la superficie del grano aumenta, y será suficiente para vencer las fuerzas intermoleculares de la fase líquida, y en consecuencia, evaporarse. Debido a los problemas que presenta el secado de café en patio se considera necesario desarrollar una tecnología apropiada para secar el café haciendo uso de la radiación solar como energía limpia, para calentar el aire que al mismo tiempo se encarga de reducir la humedad del grano; además para obtener café con un contenido de humedad final uniforme y reducir el tiempo de secado. En este documento se describe el efecto del uso de prototipos para el secado de granos de manera comercial estos equipos son de producción sencilla y de bajo costo comparado con los secadores de distribución, ya que puede emplearse en una chimenea la cual incrementa la fuerza de la corriente de aire entrante, generando así una mayor velocidad de circulación de aire y, por tanto, una tasa de eliminación del vapor de agua más rápida (Rico et al., 2010).

La evaluación del desempeño térmico en aplicaciones de secado solar se considera un medio para evaluar cómo opera un secador solar bajo ciertas condiciones y se define como la relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la cantidad de agua evaporada durante el proceso; por lo tanto, la eficiencia térmica total es la relación de la ganancia de calor útil a la energía solar disponible en el interior del secador solar (Almuhanna, 2012). La evaluación energética del proceso se estableció evaluando el coeficiente de consumo de calor específico (SHC) (Yongsawatdigul y Gunasekaran, 1996; Strumillo et al., 2006). Con este estudio se pretende lograr una eficacia óptima para el secado de los granos de café y evitar el secado en forma natural poniendo los granos a pleno sol, al mismo tiempo que no cumplen con sus expectativas económicas debido a que un grano húmedo no tiene el mismo valor que un grano seco. Lo anterior se debe a que el café húmedo tiene alto riesgo de ser atacado por hongos y de ser contaminado con micotoxinas, causando que el grano pierda su calidad (Parra-Coronado et al, 2008).

## MÉTODOLÓGÍA

Se presenta la metodología basada en evaluaciones de los parámetros en estudio a nivel de invernadero con la finalidad de reducir el tiempo de secado de café hasta obtener un promedio de 12% de humedad durante cinco días mediante el uso de módulos secadores solares implementados con un sistema de flujo de aire continuo impulsado por energía fotovoltaica.

### *Localización*

La presente investigación se llevó a cabo en la unidad productiva del Sr. Virgilio Bernal, situado en el centro poblado Aguas Verdes, socio de ADISA, ubicado en el distrito de Pardo Miguel - Naranjos, provincia de Rioja y departamento de San Martín cuyas coordenadas son E: 0208328, N: 9371802 a una altitud de 1033 m.s.n.m. La investigación consistió en reducir el tiempo de secado de café hasta obtener un promedio de 12% de humedad en un tiempo máximo de 5 días mediante el uso del secador solar implementado con dos tipos de prototipos como secadores del grano de café.

### *Diseño estadístico del campo experimental*

La investigación fue de tipo experimental, para la cual se utilizó el diseño completo al azar (DCA) en esquema factorial con dos factores (Uso de prototipos y tiempo de secado); con 7 repeticiones. Se evaluaron parámetros como humedad del grano del café.

### *Análisis estadístico*

Todos los gráficos y análisis estadísticos fueron realizados en el programa R. Se realizaron análisis de varianza-ANOVA ( $p$  valor  $\leq 0.05$ ) tomando en consideración el tipo de factor (cuantitativo o cualitativo) y cuando no se cumplieron los supuestos de normalidad los datos fueron transformados utilizando el método de Box Cox. Debido al número de factores para la comparación de medias se tomó en consideración el resultado del ANOVA, cuando el factor cuantitativo (tiempo) fue significativo se realizó una regresión.

### *Uso del prototipo*

Se valoraron los efectos de los tratamientos de secado sobre los perfiles de humedad del producto y temperatura de aire en función del tiempo y espesor del lecho. El contenido de humedad del grano de café se determinó al final del proceso a un nivel inferior, medio y superior, correspondiente a espesores del lecho de 1,8 y 15 cm respectivamente, tomando en cada posición dos muestras del producto y utilizando la norma ISO 6673 (Mendonça et al., 2007) para su cuantificación.

### *Instalación e implementación de secadores solares*

La instalación e implementación de los secadores solares fueron instaladas en 08 sectores productivos priorizados. Los sectores son: Naranjos, Aguas Verdes, San Agustín, Nuevo Jaén, Alto Mayo, Nuevo Moyobamba, la Florida y Miraflores. Para el estudio se utilizó el secador solar tipo invernadero de 4 x 8 m. con una altura de 1.50 metros, en la cual se colocó un 01 módulo de secador solar por socio, el mismo que se conforma de 02 secadores solares. Haciendo un total de 08 módulos con 16 secadores. Cada módulo de investigación cuenta con 30 bandejas con medidas de 160 m de largo x 0.90 m ancho y 0.10 m de alto.

### *Diseño del prototipo*

El diseño del prototipo lo realizó la entidad colaboradora Cooperación Alemana al Desarrollo de la agencia de la GIZ en el Perú/ Proyecto ENDEV en coordinación con la cooperativa ADISA. De acuerdo a la primera propuesta de diseño de prototipo se estableció la instalación del mismo a una distancia determinada del secador que permita reducir las velocidades de los ventiladores; pero esta fue desestimada en las pruebas preliminares de campo, ya que la influencia de la dirección y velocidad del viento en el ambiente, fueron mayores al del prototipo, cambiando las condiciones de control del parámetro en el secador solar. Por ello el prototipo fue instalado en fincas cafetaleras de productores agrarios, quienes se dicen a la producción y comercialización de granos de café y para tal requieren que dichos granos sean secados bajo condiciones favorables evitando así que los granos sufran deterioro y por ende afectación a la calidad e taza.

El prototipo consta de un ventilador de 220 watts, 02 paneles solares policristalino de 150Wp cada uno, una batería seca 12V 26Ah, un inversor de onda pura 300W y un controlador de carga de 20Amp ubicado perfectamente que permita trabajar bajo diferentes condiciones generando efectos eficientes en el secado de los granos de café. (Ver Fig. 1).

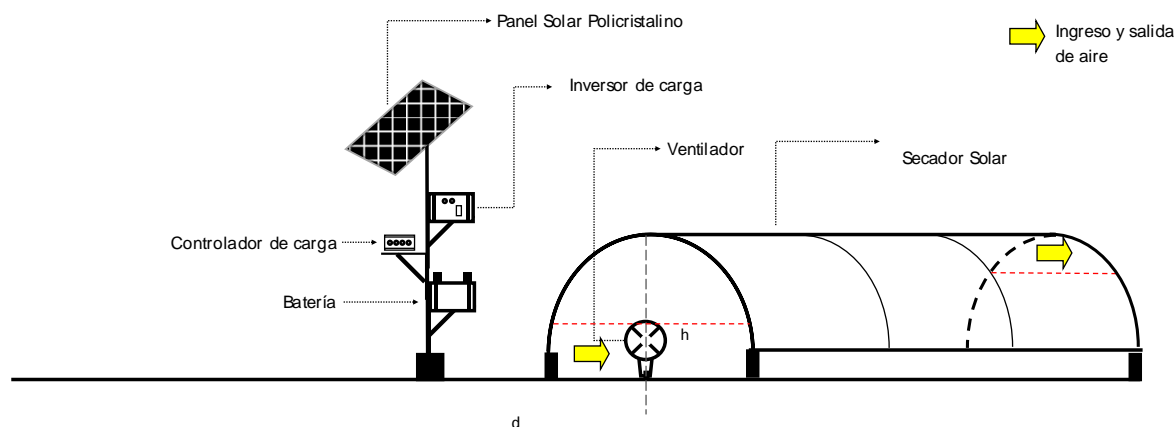


Fig. 1: Modelo de prototipo desarrollado

## RESULTADOS

En café es uno de los productos bandera para el Perú, y está siendo reconocido por aumentar su participación en los mercados de cafés especiales donde la calidad sensorial en taza exigida por el consumidor es elevada y recompensada con excelentes precios pactados fuera de bolsa, la proporción del café peruano que se vende a la gran industria como café común se caracterizan por su baja calidad e inconsistencia. La presencia de defectos físicos y organolépticos aumentan las mermas y en consecuencia se reduce el rendimiento de la oferta exportable. Entre las principales razones que explican directamente esta problemática se encuentran la limitada infraestructura de pos cosecha, principalmente la de secado (Plan Nacional de Acción del Café Peruano, 2018). El escaso desarrollo de capacidades técnicas y conocimientos científicos e innovadores, ha permitido que los granos secos de café tengan un adecuado secado en ambientes propicios y oportunos que mejores la calidad de taza y por ende un mejor precio nacional o internacional; para suplir este problema se propuso una iniciativa de usar un secador solar en diferentes zonas de la provincia de Rioja; este prototipo permite generar condiciones climáticas adecuadas y oportunos para el secado de café conservando la calidad del grano.

Los resultados de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y humedad de grano en relación al uso del prototipo y el tiempo es presentado en la tabla 1. En forma general, no fueron observadas diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el factor tiempo en todas variables evaluadas con excepción de la humedad de grano. De la misma forma, para el caso del factor prototipo solo fueron observadas diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la variable velocidad de viento y humedad de grano. Para el caso de la interacción entre tiempo y prototipo no fue evidenciado una diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) indicando que no existe interacción entre estos factores y que actúan independientemente.

Tabla 1. Resultados de  $p$  valor de análisis de variancia (ANOVA) de parámetros evaluados comparando el tiempo de secado (días) y la aplicación del prototipo (Prototipo).

\* $p$  valor de análisis de variancia considerando una significancia del 0.05

Factores	G.L.	Temperatura C°	Humedad Relativa %	Velocidad de viento m s <sup>-1</sup>	Humedad de grano %
Tiempo	1	0.81*	0.84	0.98	<0.01
Prototipo	1	0.42	0.22	<0.01	<0.01
Tiempo x Prototipo	1	0.99	0.80	0.46	0.13
Residuos	66				

En el tabla 2 son presentados los valores promedios de la velocidad de viento en relación al uso del prototipo. Es posible observar que se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) donde los tratamientos sin prototipo tuvieron una menor velocidad de viento en comparación al tratamiento donde fue instalado el prototipo, estos resultados indican que la velocidad de viento puede ser un factor importante en mejorar la calidad del grano pues una mayor velocidad de viento indica una mayor tasa de secado.

Tabla 2: Valores promedio y desviación estándar de velocidad de viento ( $\text{m s}^{-1}$ ) por el uso del prototipo en café.  
\* Letras diferentes indican diferencias significativas por el test F a un 0.01

Factor	Velocidad de viento $\text{m s}^{-1}$
Sin prototipo	$0.07 \pm 0.08^{\text{b}*}$
Con prototipo	$0.29 \pm 0.32^{\text{a}}$

Los valores promedio de humedad de grano por la aplicación de prototipo es presentado en el tabla 3. Los resultados de humedad de grano presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) donde el tratamiento sin instalación de prototipo presenta una mayor humedad de grano en relación al tratamiento con Prototipo de secado, lo que puede estar relacionada con la mayor velocidad de viento (tabla 2) que puede influir directamente en la tasa de secado.

Tabla 3: Valores promedio y desviación estándar de humedad del grano (%) por el uso del prototipo en café.  
\*Letras diferentes indican diferencias significativas por el test F a un 0.01

Factor	Humedad de grano %
Sin prototipo	$36.27 \pm 11.53^{\text{a}*}$
Con prototipo	$31.86 \pm 12.46^{\text{b}}$

En la Figura 2, se presenta la regresión de la humedad de grano de café (%) en relación al tiempo (días), donde se muestra que a medida que pasa el tiempo el grano se va secando, esta regresión fue significativa ( $p < 0.01$ ). Esta variable indica que se presentó una regresión lineal y una ecuación producto de todos los valores utilizados para el experimento. A pesar de que existe una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) de humedad de grano entre la instalación del prototipo de café y el tratamiento sin instalación de prototipo esto no se debe al efecto del tiempo sobre el prototipo si no a la velocidad de viento presentada en ambos sistemas de secado lo que indica que la velocidad de viento es la variable más importante a considerar para futuras instalaciones de prototipos de secadores de café. Sin embargo, los resultados presentados en la figura 2 pueden servir para la estimación del tiempo de secado necesario y de esta forma mejorar la logística de la producción de café.

El funcionamiento de los secadores solares está basado en el principio invernadero, donde la energía solar es atrapada mediante colectores que elevan la temperatura del fluido (aire), el cual realiza el proceso de secado a través de diferentes parámetros tales como: eficiencia del secador, eficiencia del captador solar, tasa de extracción de humedad específica, capacidad evaporativa, entre otros. Además, el uso de secadores solares para el secado de café pergamino responde a una tendencia en el desarrollo de tecnologías sustentables, que permitan proteger al grano de las condiciones climatológicas adversas y obtener un grano seco de calidad.

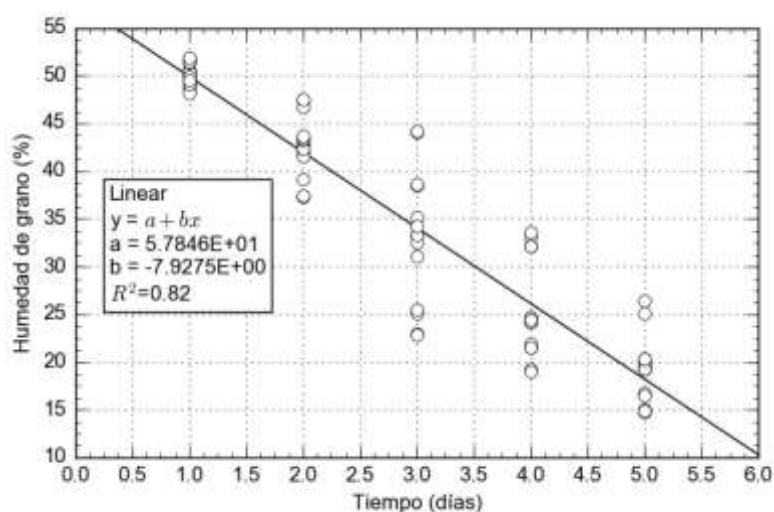


Fig. 2: Regresión de la humedad de grano de café (%) en relación al Tiempo (días)

## DISCUSION FINAL

En la amazonia peruana, en especial en la región San Martín se seca los granos de cafés cosechados mediante un proceso tradicional, es decir a la intemperie donde son afectados por diversas condiciones climáticas y en contacto directo con los rayos del sol, lluvias, el polvo, los vientos, pisoteo por animales, etc. Este estudio consistió en implementar un prototipo de secador solar que tiene una capacidad de 4.3 qq, en el cual se secó café bajo tres condiciones de temperatura del aire de secado: 42, 46 y 49°C y un tiempo que varió entre 6 a 8 horas, lográndose una buena uniformidad en el contenido de humedad final del grano, con diferencias menores a 0.86%. Secadores con estas características tienden a mantener la calidad de taza, conservándose así las características organolépticas de buena calidad (López, 2006), es así que la eficiencia de un secador solar es una medida de la eficacia con que se utiliza la radiación solar. Con este estudio se pretende mejorar la calidad de los granos secos de café y evitar el secado en forma natural poniendo los granos a pleno sol, al mismo tiempo que no cumplen con sus expectativas económicas debido a que un grano húmedo no tiene el mismo valor que un grano seco, ya que el café húmedo tiene alto riesgo de ser atacado por hongos y de ser contaminado con micotoxinas, causando que el grano pierda su calidad (Parra-Coronado et al, 2008).

Una de las alternativas de solución, es realizar el proceso de secado del grano de café mediante el uso del prototipo desarrollado en el presente estudio en la cual permite obtener un mayor secado en el menor tiempo posible lográndose mayor calidad del grano seco del café, menores defectos físicos, mayor inocuidad y una mejor calidad sensorial, acercándose al concepto de café orgánico, donde se cumplen requisitos específicos en la etapa de secado que permitirá incrementar los precios de venta y por ende mayores ganancias económicas para el productor cafetalero. Quintanar, J. y R. Roa (2017) evaluó la eficiencia térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. El estudio se realizó durante el año 2014, en un secador solar tipo invernadero con colector integrado formando parte de la estructura, con circulación de aire forzada. El grano fue puesto en charolas hechas con bastidor de madera y malla sombra 80% con dimensiones de 0.3\*0.85 m, que sirvieron como camas de secado. La proporción de grano fue de 19.5 kg m<sup>-2</sup>. En 44 h de sol (5 días), se obtuvo un porcentaje de humedad del café pergamino de 11%. La eficiencia térmica del secador solar fue de 12%. Los resultados del flujo de efectivo descontado es positivo y la recuperación de la inversión se logra durante un periodo de cosecha (aproximadamente tres meses), que representa una alta viabilidad de uso de esta tecnología a nivel de pequeños productores.

El secado consiste en bajar el contenido de humedad presente (55 % aproximadamente) en el pergamino húmedo de café hasta un 12 %, ya que para ser almacenado, el grano de café debe contener alrededor de 12% de humedad (Cruz et al 2010), esta tecnología es una alternativa viable, donde se elimina agua del producto mediante el empleo de aire atmosférico a bajas temperaturas (65 °C para el caso de arveja verde, y 50 °C en el caso de arroz y café), considerada esta una operación más delicada del proceso de beneficio ya que durante el secado se rebaja la humedad del café, del 52% al 12%, esto con el fin de poder almacenar el producto en condiciones que permitan conservar su calidad. Usar prototipos como los secadores solares en la amazonia peruana evitará el secado del grano del café sobre mantas de plástico, lonas u otros sobre la tierra, hace que el café adquiera un sabor y olor sucio (café terroso) y es desagradable al gusto (Castañeda, 2004). Después de lavar el café, hay que proceder a secarlo inmediatamente, sin amontonarlo húmedo (mojado). No secar el café sobre el suelo, se debe utilizar parihuelas o tarimas para ello.

El tiempo para secar café utilizando un secador solar tipo invernadero con la incorporación de un sistema de flujo de aire continuo impulsado por energía fotovoltaica en el área cafetalera del distrito de Pardo Miguel, provincia de Rioja, San Martín, es de 5 días en promedio. Lo que demuestra que el tiempo de secado de los granos de café bajo estas condiciones se reduce en un 12.29% de humedad con una temperatura promedio de 37.82 °C y una humedad relativa promedio en el quinto día de 47.03%. Los resultados logrados son alentadores, por lo que se recomienda utilizar el prototipo para el secado del grano de café. Hernández-Díaz, et al., (2013) determinó las condiciones de operación de un secador de café tipo Guardiola que minimicen el consumo de energía (Q) y maximicen la eficiencia térmica del proceso. Para simular el secado se utilizó un modelo mecanístico para secado de café, resolviéndolo de acuerdo a la suposición de mezclado completo. Los resultados de la simulación reprodujeron la conducta experimental obtenida de un secador tipo Guardiola de 7.60 m<sup>3</sup> cargado con 2675 kg de granos de café verde húmedo. Se calculó la eficiencia térmica de segunda Ley del secado con una expresión que toma en cuenta la exergía que el aire posee antes de entrar al secador. Para encontrar las condiciones óptimas de secado, para la misma carga de café y con restricciones de temperatura ( $T_{\beta} < 45^{\circ}\text{C}$ ), humedad final ( $X_{\beta} < 11\%$ ) y actividad de agua del grano ( $a_w < 0.80$ ), se simuló el secado para diferentes flujos y temperaturas de aire. Al comparar las condiciones óptimas encontradas ( $T_{\gamma} = 80^{\circ}\text{C}$  and  $G_{\gamma} = 6560 \text{ kg aire}\cdot\text{h}^{-1}$ ) con las normalmente utilizadas en el beneficio se logró una reducción del 15.80% en el consumo de energía.

A menor contenido de humedad en el aire, mayor será su capacidad de absorción de agua, por otro lado, la pérdida de humedad fue más rápida en las etapas iniciales del secado, dado que el grano tiene mayor contenido de humedad y el agua presente es más fácil de remover, volviéndose cada vez más difícil extraer humedad al final del proceso de secado. Estos resultados son congruentes con las evaluaciones realizadas por Rajeshwari y Ramalingam (2012), quienes reportan una eficiencia de 15% a 18%, en todas las condiciones de ensayo de un diseño de secador solar tipo caja, pero son valores bajos con respecto a la eficiencia de 52.55% de eficiencia media durante un día, reportado por Sreekumar (2013). Bergues-Ricardo y Díaz-López (2014) al evaluar una muestra de secadores solares existentes en Latinoamérica, determinaron que su eficiencia varía entre 2 y 50% en promedio. Al finalizar el proceso húmedo, los granos de café presentan contenido de humedad promedio del 53%, condición que los hace muy vulnerables al ataque de microorganismos que pueden causar daños en su calidad física, organoléptica y en la inocuidad. Por tanto, su humedad debe ser reducida hasta el rango establecido en Colombia para su comercialización: 10 - 12% (Oliveros-Tascón, 2011).

## CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo presentado y a los resultados obtenidos, se pueden plantear las siguientes conclusiones principales:

El tiempo para secar los granos de café es de 5 días en promedio, lo que demuestra que el tiempo de secado bajo estas condiciones se reduce en un 12.29% de humedad por lo que se recomienda utilizar el secador solar con prototipo para el secado de grano de café.

Para la amazonia peruana es necesario que los productores cafetaleros utilicen los secadores solares ya que permitirá al caficultor agregar valor a su producto, obtener café de buena calidad.

El prototipo establecido muestra eficiencia para un buen secado de los granos de café en cantidad y calidad deseada.

## AGRADECIMIENTOS

Al Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA por financiar el presente trabajo mediante el proyecto de investigación “Mejorar el nivel de eficiencia en el proceso de secado de café de los productores de la Cooperativa ADISA, haciendo uso de secadores solares con sistema de flujo de aire continuo en el ámbito del distrito de Pardo Miguel, Rioja, San Martín”. Contrato N° 023-2016-INIA-PINIA/UPMSI/IA.

## REFERENCIAS

- Almuhanna, E. A. Utilization of a solar greenhouse as a solar dryer for drying dates under the climatic conditions of the eastern province of Saudi Arabia. Part I: thermal performance analysis of a solar dryer. *J. Agric. Sci.* 4(3):237-246 (2012).
- Bergues-Ricardo C. C. y L. R. Díaz-López, Diagramas de tendencia para la generalización sostenible de secadores solares directos de productos agropecuarios. *Tecnología Química.* 34(2):143-151 (2014).
- Bertrand, B., R. Boulanger, y otros cinco autores, Climatic factors directly impact the volatile organic compound fingerprint in green Arabica coffee bean as well as coffee beverage quality. *Food chemistry,* 135(4), 2575–83. doi:10.1016/j.foodchem.2012.06.060, (2012).
- Castañeda, E. Bases potenciales “De la Chacra Cafetalera Diversificada y Amigable con el Medio Ambiente”. Editores TECNATROP SRL. Lima, Perú. (2004).
- Cruz, D., E. Lopez y otros dos autores, Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo. *Journal of Agriculture and Environment for International Development,* 104(3-4), 125–138 (2010).
- Galindo, V. R.X. Producción e Industrialización de Café Soluble Caso: Solubles instantáneos. Tesis Economista. Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas. Guayaquil, Ecuador. 96p. (2011).
- García, C. P. y O.D. Barreto. Propuesta para el Incremento de Consumo de Café Tostado de los asociados de la Junta Nacional del Café. Tesis Maestría. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Escuela de Postgrado. Lima, Perú. 158p. (2007).
- Garzón, L.P. Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia Colombiana. Universidad de Caldas. Luna Azul ISSN 1909-2474 No. 42 (2016).
- Hernández-Díaz, W.N., F.J. Hernández-Campos y otros tres autores. Optimización del secado de granos de café en un secador rotatorio. *Rev. Mex. Ing. Quím* vol.12 no.2 versión impresa ISSN 1665-2738 (2013).
- Julca, O. A., A. C. Echevarría y otros cinco autores, Una revisión sobre la roya del café (*Hemileia vastatrix*) algunas experiencias y recomendaciones para el Perú (2013).

- Keke, M. M., A. Femi y otros dos autores, Qualitative performance and economic analysis of low cost solar fish driers in Sub-Saharan Africa. *J. Fisheries* 2(1):64-69 (2014).
- Kramer, D., B. Breitenstein y otros dos autores, Stress metabolism in green coffee beans (*Coffea arabica* L.): expression of dehydrins and accumulation of GABA during drying. *Plant & cell physiology*, 51(4), 546-553. doi:10.1093/pcp/pcq019. (2010).
- López, E. M. Secado de café en lecho fluidizado, *Revista Ingeniería en investigación*, Colombia- Bogotá, 26 (1), 25-29 (2006).
- Mendonça, J.C.F., A. S. Franca y otro autor, A comparative evaluation of methodologies for water content determination in green coffee. *LWT - Food Science and Technology* 40(7): 1300-1303 (2007).
- Monrudee, B. M., C. Lertsatitthanakorn y otros dos autores, Performance analysis and economic evaluation of a greenhouse dryer for pork drying. *KKU Eng. J.* 38(4):433-442. (2011).
- Mustapha, M. K., A.F. Salako y otros dos autores, Qualitative performance and economic analysis of low cost solar fish driers in Sub-Saharan Africa. *J. Fisheries*. 2(1):64-69 (2014).
- Oliveros-Tascón, C.E. y J. R. Sanz-Urbe. *Ingeniería y café en Colombia*. rev.ing. no.33 Bogotá Jan./June 2011. Print version ISSN 0121-4993. (2011).
- Parra-Coronado, A., G. Roa-Mejía y otro autor. SECAFÉ Parte II: recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2008, vol.12, n.4, pp.428-434. ISSN 1415-4366. (2008).
- PLAN NACIONAL DE ACCIÓN DEL CAFÉ PERUANO. Una propuesta de política para un caficultura moderna, competitiva y sostenible. Ministerio de Agricultura y Riego, Perú. Documento Preliminar. Pag. 3 – 48. (2018).
- Quintanar, J y R. Refugio. Evaluación térmica y financiera del proceso de secado de grano de café en un secador solar activo tipo invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.8 Núm.2 15 de febrero - 31 de marzo, 2017 p. 321-331. (2017).
- Rajeshwari, N. y A. Ramalingam, Low cost material used to construct effective box type solar dryer. *Arch. Appl. Sci. Res.* 4 (3):1476-1482 (2012).
- Rico, J.E., N. A. Pérez y otros dos autores. Innovación en el diseño y construcción de un secador solar para frutas y hortalizas. Universidad de Guanajuato, México. Pp.1-17. (2010).
- Sreekumar, A. Evaluation of a roof-integrated solar air heating system for drying foodstuffs. *Int. J. Emer. Technol. Adv. Eng.* 3(3):209-213 (2013).
- Strumillo, C., P. L. Jones y otro autor, Energy aspects in drying. pp. 1241-1266. In: *Handbook of Industrial Drying*. Second edition. Marcel Dekker, New York. 730 p. (2006).
- Tiwaria, G., V. K. Katiyara y otros tres autores, Comparative study of commonly used solar dryers in India. *Int. J. Curr. Eng. Technol.* 3(3):994-999. (2013).
- Yongsawatdigul, J. y S. Gunasekaran. Microwave -vacuum drying of cranberries: part I: energy use and efficiency. *Journal of Food Processing and Preservation* 20(2): 121-143 (1996).
- Zakaria, H. M. Development of solar dryer for drying of chilli seeds. Thesis Master of science. Bangladesh Agricultural University. Mymensingh, Bangladesh. 57 p. (2013).