

# ESTIMACIÓN DE HUMEDAD DE CAFÉ PERGAMINO UTILIZANDO UN SECADOR SOLAR AUTOMATIZADO, MEDIANTE MODELOS MATEMÁTICOS EN JAÉN-PERÚ

## ESTIMATION OF PERGAMINE COFFEE MOISTURE USING AN AUTOMATED SOLAR DRYER, BY MATHEMATICAL MODELS IN JAÉN-PERÚ

Abner Barzola-Cárdenas<sup>1</sup>, Lenin Quiñones-Huatangari<sup>1\*</sup>

Blanca Vásquez-Ochoa<sup>2</sup>, Iván Pérez-Guevara<sup>2</sup>, Martín Díaz-Torres<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Jaén, Jaén, Perú

<sup>2</sup>Cooperativa Cenfrocafe, Jaén, Perú

Recibido (Received): 06 / 01 / 2020 Aceptado (Accepted): 09 / 05 / 2020

---

### RESUMEN

El café es un producto muy consumido a nivel mundial, debido a que posee un poder estimulante y energizante. Además, el proceso de secado es un factor esencial que influye en la calidad final del producto, en este sentido, el objetivo del presente artículo fue estimar la humedad del café pergamino al emplear un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos. Los modelos empleados fueron del tipo regresión lineal múltiple y regresión no lineal, los mismos que fueron determinados con los softwares R y Curve Expert Professional respectivamente. Los datos necesarios para estimar dichos modelos, fueron recolectados en campo durante cinco días, la cual consistió en aplicar el secador solar automatizado en la parcela de un agricultor del centro poblado de las Naranjas, Jaén, Cajamarca, Perú cuya variedad fue Catimor. Se determinaron cinco modelos: Un modelo de regresión lineal múltiple y cuatro modelos no lineales con un coeficiente de correlación  $R^2$  mayor que 0,91. Sin embargo, el modelo empleado para describir la radiación solar en Grecia, es el que mejor describe el comportamiento de la humedad del grado de café pergamino en términos del tiempo de secado en el secador solar automatizado empleando los estadístico de bondad de ajuste.

*Palabras Clave:* Secador solar, café, modelo matemático.

### ABSTRACT

Coffee is a product widely consumed worldwide, because it has a stimulating and energizing power. In addition, the drying process is an essential factor that influences the final quality of the product, in this sense, the objective of this article was to estimate the humidity of parchment coffee by using an automated solar dryer, using mathematical models. The models used were multiple linear regression and nonlinear regression, the same as those determined with the R and Curve Expert Professional software respectively. The data needed to estimate these models, were collected in the field for five days, which consisted of applying the automated solar dryer on the plot of a farmer from the town center of Las Naranjas, Jaén, Cajamarca, Peru whose variety was Catimor. Five models were determined: A multiple linear regression model and four non-linear models with a correlation coefficient  $R^2$  greater than 0.91. However, the model used to describe solar radiation in Greece is the one that best describes the moisture behavior of parchment coffee grade in terms of the drying time in the automated solar dryer using goodness of fit statistics.

*Keywords:* Solar Dryer, Coffee, Mathematical Model

---

---

\* Corresponding author.:

E-mail: [lenin.quinones@unj.edu.pe](mailto:lenin.quinones@unj.edu.pe)

## 1 INTRODUCCIÓN

El café arábico es originario de las tierras de más de 1000 m.s.n.m. de Etiopía y Sudán, África. En los años 575 y 890, los persas lo llevaron a Arabia y Yemen, en tanto que los nativos africanos lo extendieron a Mozambique y Madagascar. Los holandeses y portugueses, entre los años 1600 y 1700, lo trasladaron a otras regiones de Asia y África [1]. Se registra la llegada de plantaciones de café a Lima en 1760 desde la ciudad de Guayaquil, cuando ésta formaba parte del virreinato del Perú, pero dan cuenta de que ya existían algunas plantas en Huánuco, aunque sin fecha exacta ni lugar de procedencia. Recientes descubrimientos apuntan al distrito de Chinchao, como la zona donde comenzó a cultivarse el café entre 1740 y 1760, el mismo que se fue ampliando su cobertura hacia localidades aledañas, hasta diseminarse por los valles de toda selva central y de ahí a otras zonas del país [2].

El café es un producto muy consumido a nivel mundial no solo por tradición, sino porque posee un poder estimulante y energizante de manera natural; y además su comercio es permanente en todo el año ya que los países productores los elaboran cuidadosamente para mantener su calidad [3].

El secador solar automatizado, es una tecnología de innovación implementada en marco del proyecto: “Diseño e implementación de secadores solares tecnificados para mejorar la calidad de Café en las provincias de Jaén y San Ignacio, región Cajamarca, Perú”; como parte del programa: “fondo de acceso sostenible a energía renovable térmica, FASERT”, implementado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA); en convenio con la cooperativa de servicios múltiples Cenfrocafe, que es una cooperativa fundada el 26 de octubre del año 1999, con más de 3 000 socios ubicados en las regiones Cajamarca y Amazonas, dedicados a la producción, acopio, industrialización, comercialización y exportación del café. Además, permitirá contar con un registro de parámetros que afectan de manera directa a la calidad del grano de café y en base a dichos resultados el socio podrá monitorear el comportamiento de dichos valores y tomar acciones correctivas pertinentes, con el objetivo de garantizar la calidad del café; la cual se verá reflejada en el precio de venta del producto.

En este contexto, el objetivo del trabajo fue la de estimar la humedad del café pergamino al emplear un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos.

## 2 ANTECEDENTES

El secado es la etapa del beneficio del café, en donde luego del lavado se deja secar con el fin de

reducir el contenido de humedad del café pergamino garantizando condiciones óptimas para el posterior proceso de trillado y almacenamiento según condiciones técnicas satisfactorias [4]. Este proceso comprende dos etapas fundamentales: una primera etapa que se desarrolla en la parte externa del grano, donde ocurre una evaporación prácticamente constante y se logra la mayor difusión de agua en menor tiempo; en esta etapa la humedad disminuye de 55 - 60% a 20-25%. La segunda etapa se lleva a cabo en la parte interna del grano donde se reduce lentamente el contenido de humedad de 20-25% a 10-12% [2].

Se han desarrollado diferentes tecnologías para el secado del café buscando mantener un equilibrio entre eficiencia y economía. Los procesos más económicos se basan en la utilización de energía solar y movimiento de aire por diferencia de densidad, sin embargo, estos métodos están sujetos a las condiciones climáticas de cada región, requieren de grandes áreas para el secado y mayor mano de obra empleada. Para dar solución a este problema se han desarrollado secadores mecánicos con los cuales se logra un mayor control en las condiciones de secado [5].

Los modelos matemáticos constituyen una herramienta fundamental para entender la complejidad que caracteriza los diversos sistemas. Estos permiten realizar análisis de impactos tecnológicos, económicos, ambientales, evaluación de estrategias productivas y pronósticos del rendimiento de los cultivos. Su empleo se enfoca generalmente a comprender mejor los problemas y anticipar la realidad que se investiga (Hernández, 2009). Uno de los modelos para estimar la productividad potencial de los cultivos de acuerdo a las condiciones climáticas es el desarrollado por C.T. de Wit en Holanda y el cual se ha utilizado en diferentes estudios agroclimáticos por la FAO en Africa, Asia, América Central y Suramérica [6]. La técnica de modelación no ha sido utilizada ampliamente en los países suramericanos, por lo cual, es de gran interés su implantación tanto a nivel universitario como de las instituciones encargadas de la investigación en cultivos, con el objetivo de mejorar la investigación y el proceso de toma de decisiones en todos los niveles del sector agropecuario [2]. Algunos de los trabajos realizados de modelamiento para estimar la humedad en café son: En Cenicafe, Chinchina, Colombia se realizaron una serie de experimentos de secado de café pergamino para adecuar un modelo empírico de capa delgada [7], también se evaluó un método para determinar el contenido de humedad del café durante el secado en silo tipo Cenicafe [8], se realizó el diseño y construcción de una planta piloto para secado de café por lecho fluidizado a escala laboratorio [9], en este trabajo se resolvió numéricamente el secado de Café

Pergamino (género *coffea*, especie arábica, variedad Castillo) a través de la resolución de los balances microscópicos de energía y materia [10] y se ha estimado la humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde [11].

### 3 METODOLOGÍA

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

El beneficio de las muestras de café como cosecha, fermentado, despulpado lavado, secado y toma de datos en campo se realizó en el Sector agua dulce que está a 1300 m.s.n.m., Centro Poblado San Miguel de las Naranjas, a 25 minutos de la ciudad de Jaén, en la parcela del señor Mauro Pérez Bustamante socio de la “Asociación de Productores Agropecuarios Solidarios Hermosos Laureles” de la Cooperativa Cenfrocafe.

#### 3.2 SECADOR SOLAR AUTOMATIZADO

La tecnología es un secador solar de 9 m de largo por 5 m de ancho por 1,70 m de alto en sus lados y 2,5 m de alto en la parte central, comprende una estructura construida en base de materiales de la zona, principalmente la madera (listones) y caña de bambú, además de estructuras metálicas como tubo galvanizado de 3” de diámetro. El material de cobertura o aislamiento es de policarbonato de 6 mm de espesor en las paredes y calamina translúcida de 0,22 mm de espesor para el techo. Las Bandejas para el secado de los granos de café, están fabricadas con madera y malla tipo Red, cada bandeja mide 0,9 m de ancho por 1,7 m de largo y de 0,1 m de alto, haciendo un área de secado de 1,53 m<sup>2</sup>/bandeja, en total el secador cuenta con 72 bandejas, en 4 niveles de bandejas con un área total de 110.16 m<sup>2</sup> para el secado de café. El sistema de regulación de temperatura y humedad consta de un controlador automático el cual registra y actúa ante los cambios de temperatura y humedad del ambiente interno del secador a través de 2 sensores de temperatura y humedad (Modelo DTH11), activando y desactivando la extracción de aire húmedo en caso se encuentre por sobre el rango deseado de temperatura; se cuenta con un sistema de calefacción de aire a través de un colector solar de 1,5 m de largo x 1 m ancho x 0,1 m de profundidad, fabricado con estructura metálica y pintada de color negro, con una plancha de vidrio en la parte superior, generando el incremento de la temperatura del aire hasta tres veces más que la temperatura ambiente, está conectado a una red de tuberías que distribuyen el aire caliente desde los colectores, dispersándolo a nivel de todo el secador a través de las bandejas, al ser activado por los sensores en caso se encuentre por debajo del rango deseado. El secador solar es abastecido de energía solar

fotovoltaica de 12 V a través de un panel de 200 W, una batería de 150 A/h y un controlador de carga de 40 A; tomando en cuenta el consumo total de energía del sistema que es de 90 A/h por día, este prototipo también puede usar una fuente de energía eléctrica de convencional 220 V, ver Fig. 1.



Fig. 1. Diseño del módulo secador solar tecnificado en su vista posterior

#### 3.3 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS MODELOS MATEMÁTICOS

La metodología empleada constó de tres pasos, ver Fig. 2. Para ello se partió de los datos recolectados en campo y laboratorio, los mismos que fueron obtenidos de aplicar el secador solar automatizado a la materia prima empleada es Café cerezo Maduro, forma de cosecha selectiva en total 36 latas de 14 Kg en promedio cada una, para todo el estudio se usó un total de 504 Kg de café cerezo de la variedad Catimor. Los operadores matemáticos empleados fueron las regresiones no lineales y la regresión lineal múltiple.

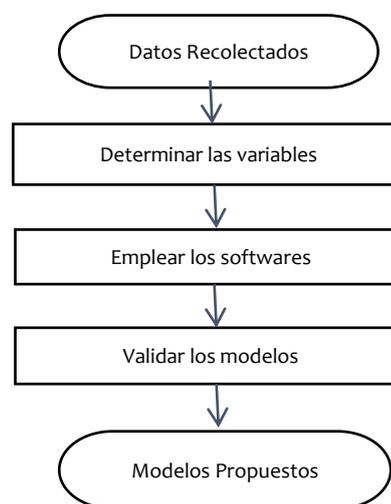


Fig. 2. Diagrama de flujo para desarrollar los modelos.

(Paso 1) Determinar las variables que influyen en la humedad del grano: De la fase experimental se obtuvo una matriz de datos con las variables tiempo de secado, temperatura externa, humedad externa, temperatura interna, humedad interna y humedad del grano.

(Paso 2) Emplear softwares especializados para determinar los modelos: Se utilizó el software R versión 3.5.1. para la regresión lineal múltiple y el software Curve Expert Professional versión 2.6 para la regresión no lineal.

(Paso 3) Validar los modelos: Se basó en la bondad de la estimación de la humedad del grano de café pergamino real obtenido del laboratorio frente a la humedad del grano estimada, para este fin se empleó los siguientes test de errores estadísticos: El coeficiente de determinación ( $R^2$ ), error medio sesgo ( $MBE$ ), y la raíz del error cuadrático medio ( $RMSE$ ). Valores pequeños de  $MBE$  y  $RMSE$  indican las mejores aproximaciones del modelo a los datos reales. Un valor de  $R^2 = 1$  indica la representación perfecta de la tendencia de los datos observados por los valores calculados por el modelo. Estos indicadores de desempeño fueron calculados usando las siguientes ecuaciones:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k (Hg_{ic} - Hg_{im})^2}{\sum_{i=1}^k (Hg_{ic} - Hg_m)^2} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Hg_{ic} - Hg_{im}) \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (Hg_{ic} - Hg_{im})^2}{k}} \quad (3)$$

Donde  $Hg_{im}$  es el  $i$  valor medido;  $Hg_{ic}$  es el  $i$  valor calculado,  $Hg_m$  es el valor medio de los valores calculados y  $k$  es el número total de observaciones.

Se realizó la prueba de t-Student, para determinar si existen diferencias significativas entre la humedad del grano y la estimada [8]. El estadístico t permitió determinar si las estimaciones del modelo son estadísticamente significativas a un nivel de confianza particular de  $\alpha=0,05$ .

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 MATRIZ DE DATOS

Se obtuvo la matriz de datos que han sido empleados para obtener los modelos matemáticos, que describen el comportamiento de la humedad del grano de café pergamino, luego de ser aplicada una nueva tecnología de secado automatizado, ver TABLA I.

TABLA I  
Variables para el secado de pergamino empleando la tecnología

Tiempo de secado $t_s$ (horas)	Temperatura externa $T_{ext}$ (°C)	Humedad Externa $H_{ext}$ (%)	Temperatura interna $T_{int}$ (°C)	Humedad interna $H_{int}$ (%)	Humedad del grano $Hg$ (%)
0	25	75	40	22	55
2	26	75	42	22	42
4	30	75	43	21	41,8
6	33	75	44	23	41,5
8	31	75	48	23	40
10	28	75	48	23,5	39,6
12	23	80	50	24,5	37,7
24	25	75	40	22	37,3
26	28	75	42	22	37,1
28	30	75	43	21	36,9
30	32	75	44	23	36,7
32	31	75	48	23	36,5
34	28	75	48	23,5	36,3
36	23	80	50	24,5	36,1
48	26	75	40	22	20,6
50	26	75	42	22	20
52	28	75	43	21	20,3
54	31	75	44	23	20
56	31	75	48	23	20
58	28	75	48	23,5	20,1
60	23	80	50	24,5	20
72	25	75	40	22	18,6

74	26	75	42	22	18,4
76	32	75	43	21	18,2
78	33	75	44	23	18
80	33	75	48	23	17,8
82	28	75	48	23,5	17,6
84	23	80	50	24,5	17,4
96	25	75	40	22	16,5
98	26	75	42	22	15
TABLA I. (Continuación)					
100	30	75	43	21	15,3
102	34	75	44	23	14,8
104	33	75	48	23	12
106	33	75	48	23,5	12
108	28	80	50	24,5	12

En la TABLA I, se cuenta con cinco (5) variables y una variable dependiente, por eso fue necesario emplear un análisis estadístico de selección de variables lineal empleando el software Weka, obteniéndose que las variables que influyen en la humedad del grano son el tiempo de secado y la temperatura interna del secador solar automatizado.

Posteriormente, con las dos variables dependientes encontradas, se procedió a emplear el software R para determinar un modelo de regresión lineal múltiple, el modelo obtenido es la ecuación (4).

$$Hg = -0,31593 t_s - 0,03247 T_{int} + 44,78139 \quad (4)$$

Empleando el software curve expert profesional, se han obtenido cuatro modelos que se adaptan al comportamiento de la humedad del grano de café pergamino con respecto al tiempo de secado. Un modelo es del tipo no lineal con comportamiento de la función coseno, ver ecuación (5), también un modelo del tipo exponencial decreciente, ver ecuación (6), la regresión no lineal del tipo logística describe el comportamiento de la variable dependiente, ver ecuación (7) y la función tipo de potencia modificada como se puede apreciar en la ecuación (8).

$$Hg = 39,932 + 26,088 \cos\left(\frac{2\pi}{364} t_s + 76,008\right) \quad (5)$$

$$Hg = 47,2905 e^{-\frac{t_s}{79,4984}} \quad (6)$$

$$Hg = 303,93124 - \frac{302,93124}{1 + e^{-1,7184 - 0,0144246 t_s}} \quad (7)$$

$$Hg = 47,2905 (0,9875)^{t_s} \quad (8)$$

#### 4.2 VALIDACIÓN DE LOS CINCO MODELOS DETERMINADOS

Para validar los modelos, se emplearon las métricas que describen el comportamiento de la humedad del grano de café pergamino, luego de ser aplicado una tecnología de secado como es el secador solar automatizado, ver TABLA II.

TABLA II  
Métricas del comportamiento de cinco modelos que describen el comportamiento de la humedad del grano de café pergamino

Modelo	$R^2$	MBE	RMSE	t-student
Lineal múltiple	0.883	0.000	3.940	1.000
Coseno	0.924	0.000	3.173	1.000
Exponencial	0.918	0.009	3.286	0.988
Logístico	0.919	0.020	3.279	0.972
Potencia	0.918	0.009	3.286	0.988

Los cinco modelos propuestos con fines de estimar la humedad del grano de café pergamino, el mismo que fue encontrado en laboratorio, luego de aplicarse una nueva tecnología de emplear un secador solar automatizado. Estos fueron determinados con los softwares especializados R versión 3.5.1. para el primer modelo de regresión

lineal múltiple, ver ecuación (4) y el software Curve Expert Professional versión 2.6 para los cuatro modelos no lineales, ver ecuación (5) a la ecuación (7). En la Fig. 3, se muestra las tendencias de cuatro

modelos matemáticos no lineales propuestos en el presente estudio.

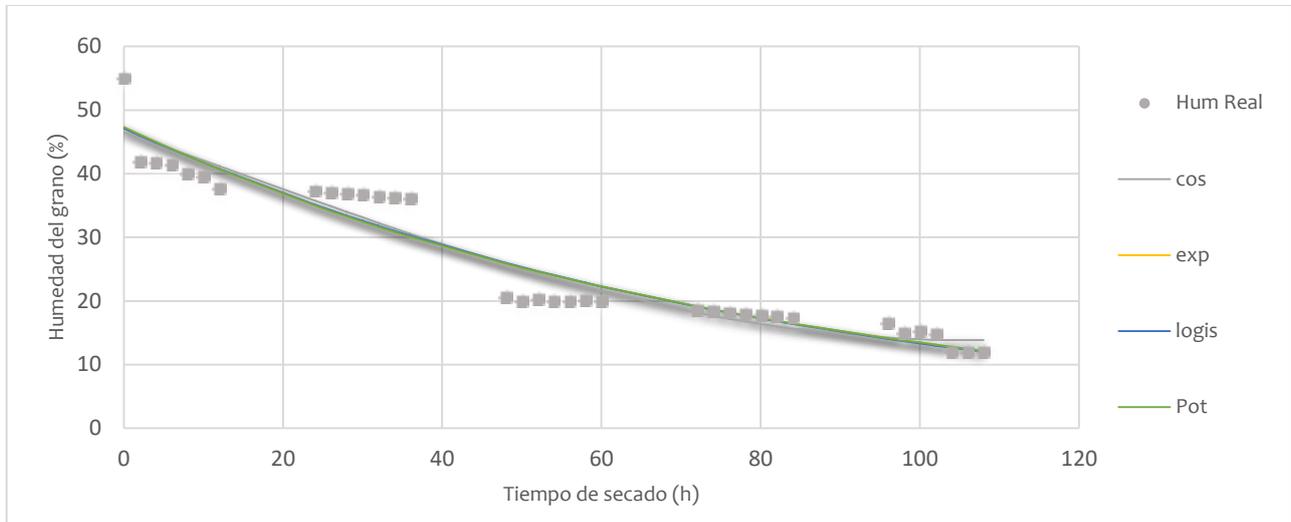


Fig. 3. Comportamiento de la humedad del grano de café con respecto al tiempo de secado, mediante cuatro modelos no lineales.

La validación de los modelos fue realizada con las métricas de comportamiento, entre los datos reales y los datos calculados por los modelos, ver TABLA II. Se ha empleado la prueba t, debido a que es una prueba paramétrica de comparación de dos muestras relacionadas [12], su función ha sido comparar dos mediciones de puntuaciones y determinar que las diferencias no se deba al azar (que la diferencia sea estadísticamente significativa). Los cinco modelos resultaron con probabilidades superiores a 0,05, que indica la no diferencia entre los valores reales y los estimados, lo cual se traduce en que los modelos representan un buen ajuste y evidencian que sirven con fines de pronóstico, es decir, el 100% de los datos fueron estimados correctamente por los modelos con una confiabilidad del 95%. Los errores estadísticos fueron calculados ( $R^2$ , MBE, RMSE) en cuanto a los resultados del modelo se concluye que estos resultan significativamente iguales a los datos observados, esto debido a que se han obtenido valores bajos de MBE y RMSE, siendo estos cercanos o iguales a cero, esto conlleva a deducir que los modelos están ajustados, además son fiables. Por otro lado, los valores de  $R^2$  son mayores que 0,918 para los modelos no lineales y para el modelo tipo lineal múltiple es 0,883, considerando que estos valores son cercanos a uno, indica la representación perfecta de la tendencia de los datos observados por los valores calculados por el modelo. Sin embargo, de los cinco modelos, el que obtiene mejores valores es el modelo propuesto por [13] para estimar la radiación solar global diaria sobre seis zonas climáticas de Grecia, ver modelo coseno de la TABLA II.

El modelo propuesto en base a lecho fluidizado [14] coinciden con el modelo exponencial de la ecuación (6), el cual también fue empleado para el secado de cáscara de café [15]. En cenicafé, Chinchiná, Caldas se realizaron una serie de experimentos de secado de café pergamino para adecuar modelos no lineales, siendo estos del tipo exponencial [7].

## CONCLUSIONES

- Los cinco modelos matemáticos propuestos describen eficientemente el comportamiento de la humedad del grano de café pergamino, al ser empleado un secado solar automatizado.
- Las variables que influyen en la humedad del grano, son el tiempo de secado y la temperatura interna de la tecnología implementada. Sin embargo, el modelo que posee los mejores valores de los estadísticos de validación es el que describe la humedad en términos de una función coseno,  $Hg = 39,932 + 26,088 \cos\left(\frac{2\pi}{364} t_s + 76,008\right)$ .
- El empleo del secador solar automatizado puede ser una alternativa atractiva y realista que hasta el momento no se ha explorado para el proceso de secado del Café Pergamino, una de las razones es que después de ciento cuatro horas, es decir en cinco días, la humedad del grano se estima en un doce (12) %.
- Este trabajo es un primer paso hacia el desarrollo de modelo más completos y que sean empleados y de interés industrial. Particularmente, se debe optimizar el proceso de secado, diferentes variedades de café,

estimación de la radiación solar de los sectores donde se aplicará la tecnología, etc. Además, se debe comprender mejor las relaciones entre los parámetros con la calidad del producto, implicando las relaciones no lineales de las variables que influyen en el proceso de secado, por ejemplo, se podría emplear técnicas de inteligencia artificial.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Jaén por el empleo del laboratorio correspondiente, además a la cooperativa Cenfrocafé y a su socio por dar las facilidades para que se lleve a cabo con éxito la parte experimental de la investigación, siendo ellos los expertos sobre el proceso de secado del café. Por otro lado, a la IICA por implementar este tipo de tecnologías para los pobladores de esta zona del país.

## REFERENCIAS

- [1] N. Mora, "Agrocadena de Café". Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2008, [En línea]. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00080.PDF>.
- [2] "Historia de la JNC – Junta Nacional del Café". <https://juntadelcafe.org.pe/historia-de-la-jnc/> (accedido ene. 16, 2020).
- [3] Á. L. Ortiz Hurtaris, "Café", *Univ. Val. Colomb.*, 2007.
- [4] J. P. Cárdenas Díaz y J. D. Pardo Pinzón, "Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera", Tesis de pre grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Colombia, 2014.
- [5] J. Henao Arismendy, "Evaluación del proceso de secado del café y su relación con las propiedades físicas, composición química y calidad en taza", Trabajo fin de master, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Colombia, 2015.
- [6] R. Silva et al., "Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global", *Terra Latinoam.*, vol. 31, n.º 4, pp. 305–313, 2013.
- [7] G. Jaramillo, "Ecuación de capa delgada para café pergamino", *Cenicafé*, vol. 41, n.º 4, pp. 95-102, 1990.
- [8] C. E. Oliveros, L. López, C. M. Buitrago, y E. L. Moreno, "Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos", *Cenicafé*, vol. 61, n.º 2, pp. 108-118, 2014.
- [9] L. C. González Susatama, "Construcción de una planta piloto para secado de café por lecho fluidizado", PhD Thesis, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2014.
- [10] J. R. Chaparro, R. D. Baron, J. Gamboa-Santos, R. Arballo, y L. Campañone, "Modelado matemático del secado con aire y microondas de Café Pergamino", *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, vol. 6, n.º 1, pp. 7-15, may 2019.
- [11] R. TREJOS, G. Roa, y C. E. Oliveros, "Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde", 1989.
- [12] R. J. Stone, "Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models", *Sol. Energy*, vol. 51, n.º 4, pp. 289–291, 1993.
- [13] S. Kaplanis y E. Kaplani, "A model to predict expected mean and stochastic hourly global solar radiation I(h;ηj) values", *Renew. Energy*, vol. 32, n.º 8, pp. 1414-1425, jul. 2007.
- [14] E. M. L. Fontal, "Secado de café en lecho fluidizado", *Ing. E Investig.*, vol. 26, n.º 1, pp. 25–29, 2006.
- [15] L. S. Torres-Valenzuela et al., "Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Fisicoquímicas", *Inf. Tecnológica*, vol. 30, n.º 2, pp. 189-200, mar. 2019.



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY-4.0 Perú. Permisos lejos de este alcance pueden ser consultados a través del correo [revistas@uni.edu.pe](mailto:revistas@uni.edu.pe)