

MODELADO DE LA CINÉTICA DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.)

MODELING OF THE KINETICS OF COCOA (THEOBROMA CACAO L.)

Autor 1 – Nery Marcela Caicedo

Perfil e Institución: Estudiante Investigadora, Universidad nacional abierta y a distancia UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9694-2841>

Email. nmcaicedo@unad.edu.co

Autor 2 – Karen Sofia Muñoz Pabon

Perfil e Institución: Docente investigadora, Universidad nacional abierta y a distancia UNAD

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6496-7083>

Email. Karen.munoz@unad.edu.co

Autor 3 – Jader Rodríguez Cortina

Perfil e Institución: Investigador PhD Senior, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5489-9945>

Email. jrodriguezc@agrosavia.co

Autor 4 – Jhon Edinson Nieto Calvache

Perfil e Institución, Docente e investigador, Universidad de los Llanos.

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1966-8636>

Email. jhonnieto@unillanos.edu.co

RESUMEN.

El proceso de secado de cacao (*Theobroma cacao L.*) de muestras provenientes de las zonas de Caldas y Huila se realizó en dos tipos de secadores: secador convectivo solar tipo túnel con cubierta de polietileno (SPE) y secador convectivo solar tipo túnel fotovoltaico con cubierta de policarbonato (SPC). Se usaron 200 g de muestras de cacao fermentado, las cuales se secaron hasta alcanzar una humedad del 7 % (w.b.). Se determinó la tasa de remoción de humedad (TRH) y se obtuvieron las cinéticas de

Este estudio fue financiado con recursos del Sistema General de Regalías bajo el marco del proyecto

"Implementación de estrategias agroforestales y vinculación de avances en el manejo agronómico y postcosecha de nuevos clones, para mejorar la productividad y calidad del cacao en el Departamento de Arauca" liderado por AGROSAVIA como la entidad ejecutora.

secado, las cuales se ajustaron a ocho modelos matemáticos con el fin de establecer cuál representó mejor el proceso.

Según el análisis estadístico, la zona y el tipo de tecnología de secado tuvieron un efecto significativo sobre la TRH ($p < 0,05$). La TRH más alta se presentó para el tratamiento SPCCAL, con un valor de $0,78 \text{ kg H}_2\text{O/kg ss}\cdot\text{h}$. De acuerdo con los resultados, el modelo matemático que describió mejor el comportamiento cinético en el secado fue el modelo de aproximación por difusión con un coeficiente de correlación ($0,9646 \leq R^2 \leq 0,9801$) y valores de RMSE $< 0,0589$.

Palabras Clave.

curvas de secado; modelos cinéticos; tiempo de secado; tasa de remoción.

ABSTRACT.

The drying process of cocoa (*Theobroma cacao L.*) samples from the regions of Caldas and Huila was carried out in two types of dryers: a tunnel-type convective solar dryer with a polyethylene cover (SPE) and a tunnel-type convective solar dryer with a polycarbonate photovoltaic cover (SPC). A total of 200 g of fermented cocoa samples were dried until reaching a moisture content of 7 % (w.b.). The moisture removal rate (MRR) was determined, and the drying kinetics were obtained and fitted to eight mathematical models in order to establish which best represented the process. According to the statistical analysis, the region and the type of drying technology had a significant effect on the WRR ($p < 0,05$). The highest WRR was observed for the SPCCAL treatment, with a value of $0,78 \text{ kg H}_2\text{O/kg dm}\cdot\text{h}$. Based on the results, the mathematical model that best described the kinetic behavior during drying was the diffusion approximation model, with a correlation coefficient ($0,9646 \leq R^2 \leq 0,9801$) and RMSE values $< 0,0589$.

Keywords.

drying curves; kinetic models; drying time; removal rate.

INTRODUCCIÓN.

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es uno de los productos agrícolas de mayor relevancia económica y social en Colombia, no solo por su aporte a la generación de ingresos rurales, sino también por su importancia cultural y en la cadena productiva de la agroindustria chocolatera. Su historia y transformación reciente reflejan un creciente interés en mejorar la competitividad y la calidad del grano colombiano, posicionándolo en escenarios internacionales [1].

El secado del cacao tradicionalmente se ha realizado mediante métodos artesanales o con tecnologías de secado solar, los cuales, aunque accesibles, presentan limitaciones en cuanto a control de variables ambientales, homogeneidad del proceso y eficiencia energética. En este contexto, la modelación matemática de la cinética de secado se convierte en una herramienta esencial para describir y predecir el comportamiento del grano bajo diferentes condiciones tecnológicas, aportando al diseño, optimización y transferencia de procesos a escala industrial. Al respecto, un estudio conjunto entre la UNAL Sede Palmira y AGROSAVIA demostró que el secado mediante hornos automatizados preserva mejor los compuestos aromáticos y fenoles que caracterizan al cacao especial [2].

En este trabajo se presenta el análisis de la cinética de secado de granos de cacao provenientes de los departamentos de Caldas y Huila, utilizando dos tecnologías de secado convectivo solar. Se evaluó el efecto del origen del grano y del tipo de secador sobre la tasa de remoción de humedad y modelado cinético ajustando los datos experimentales a diferentes modelos empíricos. Con ello, se busca identificar el modelo que mejor represente el comportamiento cinético del cacao durante el secado, aportando conocimientos aplicables a la mejora de la eficiencia tecnológica y la calidad del producto final.

METODOLOGÍA.

La ejecución de esta investigación se realizó en el Centro de Investigación Palmira (C.I. Palmira), ubicado diagonal a la Intersección de la Carrera 36 A con Calle 23, Palmira, Valle del Cauca, perteneciente a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

Las muestras de cacao provienen de diferentes asociaciones de las regiones de Caldas , Huila y Tolima, , estas se cosecharon y trasladaron a C.I. Palmira, donde a la cascara de la mazorca o cacota se le efectúo un corte transversal y se extrajeron los granos de cacao sin la nervadura central, posteriormente se realizó el proceso de fermentación espontanea (ver Figura 1) que se define como un bioproceso no controlado de dos fases, anaerobia y aerobia, usado en el beneficio tradicional de cacao [3] y que involucra microorganismos entre los que se destacan levaduras, bacterias ácido-lácticas y bacterias acido acéticas [4], [5]

La fermentación se realizó utilizando cajones de madera con compartimientos que facilitan la aireación o volteo del cacao, cubiertos con hojas de plátano en la parte superior. Las muestras fueron monitoreadas

cada 24 horas tomando temperaturas en puntos estratégicos (posición alta, media y baja), cuando los fermentadores alcanzaron una temperatura ≥ 40 °C se realizó el primer volteo y posteriormente cada 24 horas hasta terminar el proceso de fermentación. Cuando se cumplió la etapa de fermentación se procedió a realizar la etapa de secado.

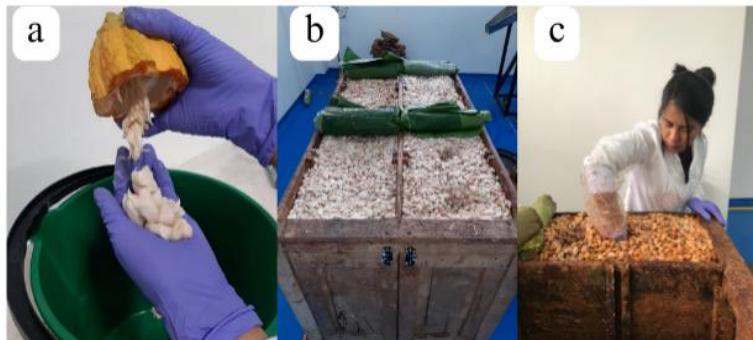


Figura 1. Etapas de proceso de fermentación de cacao, a. despulpado, b. fermentación en cajones de madera, c. monitoreo de temperaturas.

El secado del cacao (*Theobroma cacao L.*) fue evaluado en dos tecnologías de secado (ver Figura 2): secador convectivo solar tipo túnel fotovoltaico con cubierta de policarbonato (SPC) y un secador convectivo solar tipo túnel con cubierta de polietileno (SPE).



Figura 2. Secadores convectivos solares, a. Secador SPE, b. secador SPC utilizados en el secado de cacao a escala piloto.

El secador SPE consta de una cámara de secado, con dos compartimientos con un área de base de 6 m² cada uno, cubierta plástica transparente, piso de malla plástica y compuertas laterales enrollables, tiene una capacidad máxima de 600 kg de cacao húmedo. El secador SPC construido con una cubierta de policarbonato, dos puertas frontal y posterior, la cámara de secado cuenta con 18 bandejas construidas con acero inoxidable acopladas por niveles y una capacidad máxima por bandeja de 90 a 100 kg con una altura de separación entre bandeja de 28 cm, este tiene a

su vez 6 ventiladores en la parte lateral inferior y 3 extractores en la parte lateral superior opuesta que trabajan con energía fotovoltaica (Panel solar) y que regulan la ventilación y la humedad relativa (% HR) dentro de la cámara de secado.

La humedad inicial se determinó mediante el método gravimétrico oficial de la AOAC[6]. Para ello se procedió a tomar una muestra de 5 g aproximadamente (3-4 granos de cacao) y fueron ingresados a un horno a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, este ensayo se realizó por triplicado por cada región.

En la construcción de las curvas de secado, las muestras de cacao se depositaron en bolsas de poliéster tipo malla transpirable (ver Figura 3) y se ubicaron en los secaderos, se determinó la pérdida de peso desde tiempo cero (t_0) hasta el tiempo en el cual las muestras alcanzaron un contenido de humedad del 6-7% (w. b.) en un intervalo de tiempo de 1 hora para el primer día (7 am a 7 pm), los días restantes se observó que en los tiempos de 4 pm a 7 am la pérdida de peso era despreciable, por lo cual se realizó el pesaje cada 2 horas de (7 am a 4 pm) y de esta forma hasta alcanzar la humedad deseada empleando una balanza analítica (marca Sartorius , Modelo: BCE224-1S , Alemania).

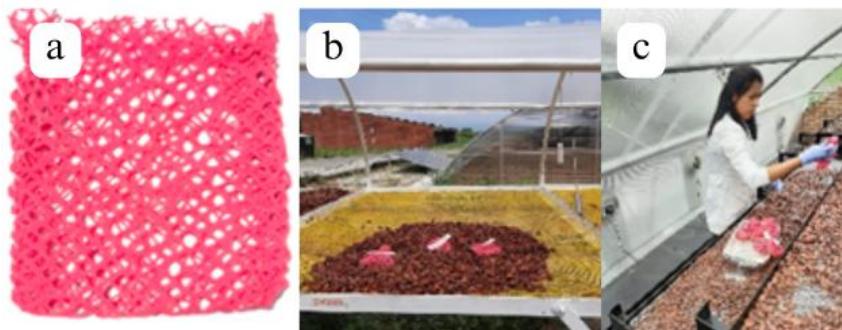


Figura 3. Montaje proceso de secado y monitoreo de humedad por técnica de pérdida de peso, a. bolsas de malla traspirable, b. montaje de muestras en secador PSE, c. monitoreo y pesaje de muestras en secador PSC.

Para la evaluación de la tasa de deshidratación de los granos de cacao y el tiempo de secado, Se determinó el contenido de humedad base seca (X_{bs}), para cada tiempo (t_i) utilizando la Ec. (1)

$$X_{bs} = \frac{m_h - m_s}{m_s} \quad (1)$$

Donde X_{bs} es el contenido de humedad base seca expresado en g agua/g sólido seco, m_h es la masa de la muestra húmeda para cada tiempo y m_s es la masa de la muestra seca.

También se calculó la tasa de remoción de humedad (TRH), que es la relación entre la humedad y o agua perdida en los granos de cacao sobre el tiempo total del proceso, utilizando la Ec. (2)

$$TRH = \frac{X_0 - X_f}{t} \quad (2)$$

Donde los términos X_0 y X_f se refieren a la humedad inicial y a la humedad final, respectivamente t es el tiempo total de proceso para secado.

La construcción del modelamiento cinético se estableció con la razón de humedad (MR) o fuerza impulsora reducida (Ec. (3)) que relaciona el gradiente de la humedad de la muestra en función del tiempo con la humedad inicial y la humedad de equilibrio según [7]

$$MR = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \text{Exp} \left(\frac{-D_f \pi^2 t}{4l^2} \right) \quad (3)$$

Donde, MR es la razón de humedad, X es la humedad libre en base seca en cada tiempo (t), X_e es la humedad de equilibrio y X_0 es la humedad libre inicial, todas se expresan como Kg agua/ Kg masa seca. $-D_f$ (m^2/s) es la difusividad efectiva y l (m) es el espesor del material a secar.

A partir de la curva MR vs t se evaluaron algunos modelos matemáticos (Tabla 1) con el fin de determinar qué modelo describe mejor la cinética de secado en condiciones no controladas.

Tabla 1. Modelos cinéticos de secado

Modelo	Ecuación ¹
Newton	$M_R = \text{exp}(-kt)$ (4)
Page	$M_R = \text{exp}(-kt^n)$ (5)
Page modificado	$M_R = \text{exp}(-kt)^n$ (6)
Herderson y Pabis	$M_R = a \text{exp}(-kt)$ (7)
Exponencial de dos términos	$M_R = (-k_0 t) + b \text{exp}(-k_1 t)$ (8)
Logarítmico	$M_R = a \text{exp} \exp(-kt) + c$ (9)
Herderson y Pabis modificado	$M_R = a \text{exp} \exp(-kt) + b \text{exp} \exp(-gt) + (-ht)$ (10)
Aproximación por difusión	$M_R = a \text{exp} \exp(-kt) + (1-a) \text{exp}(-kbt) \quad (11)$

¹ donde MR es la razón de humedad; t es el tiempo de secado (horas) k, a, b y n son constantes derivadas del ajuste al modelo.

La TRH fue evaluada mediante el diseño experimental indicado en la Tabla 2, las mediciones se realizaron por triplicado obteniendo un total de 12 experimentos. Se aplicó una prueba de Normalidad y posteriormente un análisis de varianza ANOVA, ajustado a modelos lineales, donde se consideró la interacción entre la zona y el tipo de secador.

Factor		Nivel	Variables respuesta
Tipo de secador	SPC	Secador convectivo fotovoltaico	Tasa de remoción de humedad
	SPE	Secador convectivo convencional	
Zona	CAL	Caldas	
	HUI	Huila	

*SPC: secador convectivo solar tipo túnel con cubierta de policarbonato, SPE: secador convectivo solar tipo túnel con cubierta de polietileno.

Para evaluar el ajuste de los modelos, se aplicó el método de regresión no lineal empleando como criterios estadísticos de ajuste el coeficiente de determinación (R^2) y cuadrado medio del error (RMSE) expresados en la Ec. (12) y (13) respectivamente.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{Tot}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (13)$$

Donde \bar{y} denota el promedio de los valores observados y \hat{y}_i la predicción de y_i usando el modelo ajustado, n es el número total de valores observados

Estos análisis se realizaron utilizando el software Minitab (versión 19) y se demostró un nivel de confianza del 95 % para todas las pruebas. Los gráficos y modelación fueron realizados en el software GraphPad prims 8.

RESULTADOS.

Como se puede observar en la figura 4, los 4 tratamientos tienen un comportamiento similar, iniciando con una humedad en base seca de 0,883 y 0,859 para SPE y SPC respectivamente y continuo hasta alcanzar una humedad entre 6-7% (w.b), con una pérdida de humedad mayor en el primer día y a medida que trascurrió el tiempo este va disminuyendo, es importante mencionar que los valores de perdida de humedad en las horas 4 pm a 6 am fueron despreciables, , para identificar que tratamiento es más eficiente, se evaluó que tratamiento tuvo una mayor tasa de remoción de agua (Tabla 3) encontrando que el tratamiento SPCCAL tuvo la mayor tasa de remoción con un valor de 0,78% kg H₂O/ kg ss/h y el valor más bajo fue el de SPECAL con 0,56 % kg H₂O/ kg ss/h. Se puede establecer que el proceso de secado convectivo solar fotovoltaico (SPC) es una tecnología más eficiente comparada con la de secador convencional (SPE).

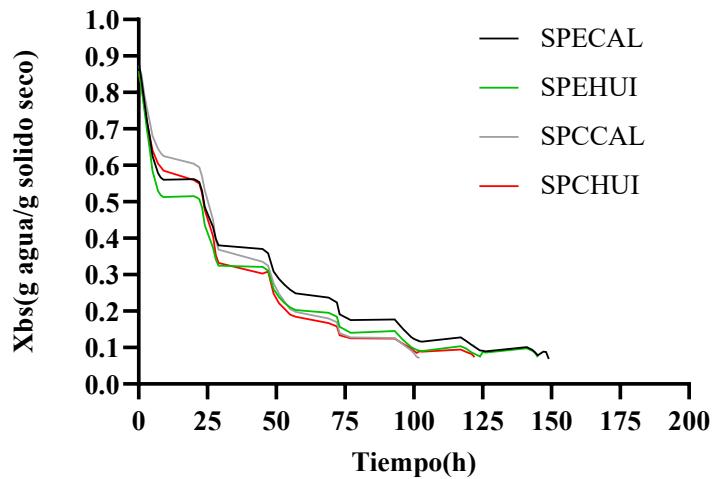


Figura 4. Perdida de humedad en base seca de dos zonas Caldas y Huila en dos tecnologías de secado (SPE y SPC)

Como se puede observar en la figura 4, los 4 tratamientos tienen un comportamiento similar, iniciando con una humedad en base seca de 0,883 y 0,859 para SPE y SPC respectivamente y continuo hasta alcanzar una humedad entre 6-7%, con una pérdida de humedad mayoren el primer día y a medida que trascurre el tiempo este va disminuyendo, es importante mencionar que los valores de perdida de humedad en las horas 4pm a 6 am fueron despreciables, , para identificar que tratamiento es más eficiente, se evaluó que tratamiento tuvo una mayor tasa de remoción de humedad (Tabla 3) encontrando que el tratamiento SPCCAL tuvo la mayor tasa de remoción con un valor de 0,78% Xbs/h y el valor más bajo fue el de SPECAL con 0,56 % Xbs/h. Se puede establecer que el proceso de secado convectivo solar

fotovoltaico (SPC) es una tecnología más eficiente comparada con la de secador convencional (SPE).

Tabla 3. Tasa de remoción de humedad para el secado convectivo SPE y PSC de granos de cacao procedentes de zona Caldas y Huila

	Replica	SPECAL (Xbs/h)	SPEHUI (Xbs/h)	SPCCAL (Xbs/h)	SPCHUI (Xbs/h)
TRH*	r1	0,5465	0,6330	0,7858	0,7641
	r2	0,5590	0,5414	0,7782	0,6370
	r3	0,5602	0,6414	0,7739	0,6364
Promedio		0,5552 ^c	0,6053 ^{bc}	0,7793 ^a	0,6792 ^{ab}
DE		7,57E-05	5,55E-04	6,03E-05	7,35E-04

*TRH: Tasa de remoción de humedad. Nota: El valor de los promedios que no comparten una letra son significativamente diferentes según la prueba de Tukey($p \leq 0,05$)

Tabla 4. Parámetros de ajuste de la cinética de secado de cacao a modelos matemáticos.

MODELO	PARAMETRO	TRATAMIENTO			
		SPECAL	SPEHUI	SPCCAL	SPCHUI
Page	R ²	0,9653	0,9584	0,9588	0,9622
	RMSE	0,0534	0,0588	0,0636	0,0608
	Sum of Squares	0,3930	0,4217	0,3918	0,3957
	k	0,0724	0,0908	0,0317	0,0455
	n	0,7466	0,7201	0,9710	0,8953
Page modificado	R ²	0,9387	0,9181	0,8185	0,8513
	RMSE	0,0709	0,0825	0,1334	0,1205
	Sum of Squares	0,6945	0,8293	1,7250	1,5550
	k	~ 0,0053	~ 8,6250	~ 18,150	~ 18,590
	n	~ 5,2570	~ 0,0039	~ 0,0015	~ 0,0017
Henderson y Pabis	R ²	0,9695	0,9572	0,9631	0,9672
	RMSE	0,0500	0,0596	0,0601	0,0566
	Sum of Squares	0,3456	0,4334	0,3504	0,3428
	k	0,0232	0,0273	0,0269	0,0286
	a	0,8672	0,8611	0,9520	0,9310
Logarítmico	R ²	0,9698	0,9573	0,9695	0,9695
	RMSE	0,0498	0,0595	0,0547	0,0546

	Sum of Squares	0,3420	0,4324	0,2899	0,3186
	a	0,8776	0,8664	1,0570	0,9697
	k	0,0220	0,0266	0,0204	0,0249
	b	- 0,0158	- 0,0081	- 0,1269	- 0,0516
	R2	0,9387	0,9236	0,9586	0,9590
	RMSE	0,0709	0,0796	0,0637	0,0633
Newton	Sum of Squares	0,6945	0,7735	0,3939	0,4289
	k	0,0277	0,0331	0,0285	0,0312
	R2	0,9695	0,9728	0,9631	0,9672
	RMSE	0,0500	0,0475	0,0601	0,0566
Exponencial dos términos	Sum of Squares	0,3456	0,2752	0,3504	0,3428
	a	~ 0,4336	0,7692	~ 0,4760	~ 0,4655
	ko	~ 0,0232	0,0241	~ 0,0269	~ 0,0286
	b	~ 0,4336	0,2594	~ 0,4760	~ 0,4655
	k1	~ 0,0232	0,4899	~ 0,0269	~ 0,0286
	R2	0,9801	0,9725	0,9646	0,9701
	RMSE	0,0404	0,0478	0,0589	0,0541
Aproximación por difusión	Sum of Squares	0,2249	0,2784	0,3368	0,3130
	a	0,1981	0,2291	0,0670	0,1006
	k	0,5263	0,4603	0,8534	0,7275
	b	0,0404	0,0525	0,0307	0,0378
	R2	0,9698	0,9572	0,9698	0,9698
	RMSE	0,0498	0,0596	0,0544	0,0543
	Sum of Squares	0,3416	0,4334	0,2868	0,3155
Henderson y Pabis modificado	a	- 0,0028	~ -0,0230	~ -0,9712	~ -0,6922
	k	- 0,0118	~ 0,0273	~ 0,0112	~ 0,0154
	b	~ 1,1450	~ 1,1930	~ 2,9110	~ 2,4890
	g	~ 0,0225	~ 0,0273	~ 0,0149	~ 0,0191
	c	~ -0,2794	~ -0,3085	~ -1,0120	~ -0,8815
	h	~ 0,0225	~ 0,0272	~ 0,0116	~ 0,0156

En la tabla 4 se muestran los parámetros estadísticos de la cinética de secado, encontrando que los 3 modelos que más se ajustaron a los tratamientos en orden descendente fueron Aproximación por difusión, exponencial de dos términos y Henderson y Pabis modificado, con valores de $R^2 \geq 0,9572$ sin embargo el modelo seleccionado como el apropiado para explicar la cinética de secado en cacao bajo condiciones no controladas es el de Aproximación por difusión por tener los valores de R^2 más altos (0,9801-0,9646) y menores valores de RMSE ($\leq 0,0589$). Para el modelo de Aproximación por difusión el tratamiento que más se ajustó fue el de SPECAL con un R^2 0,9801 y un valor de las constantes de "a" 0,1981, constante "k" 0,5263 y constante "b" 0,0404. En la figura 5 se puede observar de manera más clara el ajuste del modelo de Aproximación por difusión a las curvas experimentales encontradas en las dos tecnologías de secado en condiciones ambientales no controladas, evidenciando un buen arreglo de los datos. Otras investigaciones también han encontrado buenos ajustes con modelos cinéticos de aproximación por difusión en matrices alimentarias como arándanos y menta [8], [9].

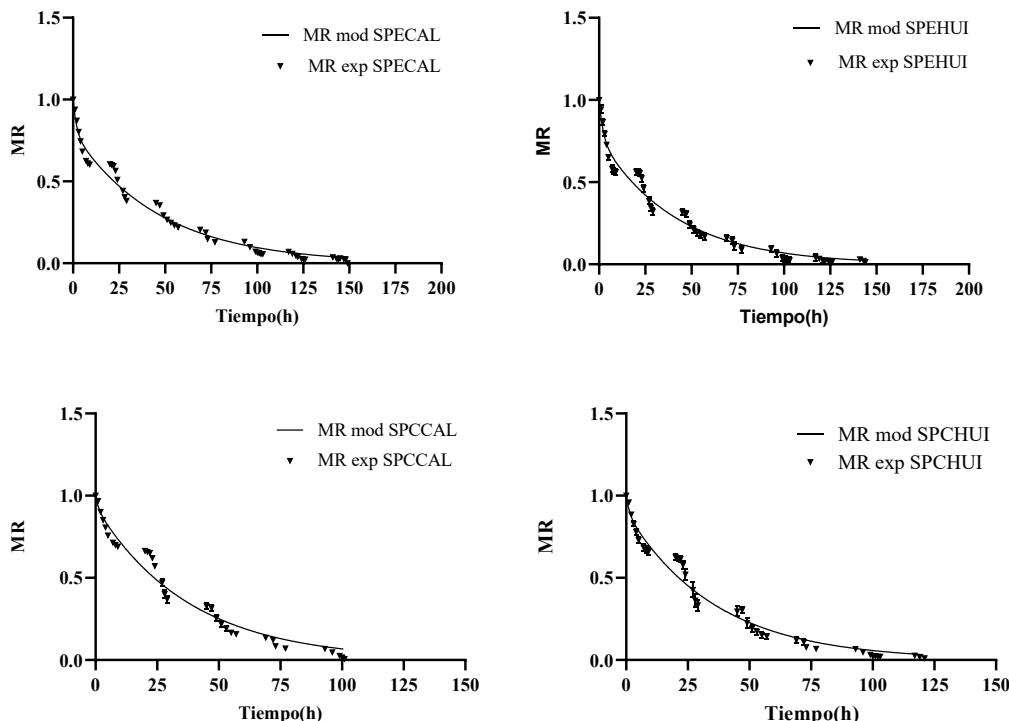


Figura 5. Datos experimentales de la razón de humedad durante el secado del cacao, ajustados al modelo de Aproximación por difusión.

Este estudio fue financiado con recursos del Sistema General de Regalías bajo el marco del proyecto

"Implementación de estrategias agroforestales y vinculación de avances en el manejo agronómico y postcosecha de nuevos clones, para mejorar la productividad y calidad del cacao en el Departamento de Arauca" liderado por AGROSAVIA como la entidad ejecutora.

CONCLUSIONES.

Las curvas de secado del cacao al inicio presentan una tasa de remoción alta debido al alto contenido de humedad inicial de los granos de cacao donde se presenta la mayor rapidez de remoción de agua, seguido de un periodo constante, donde la humedad interna de los granos de cacao se transfiere por los poros o conductos internos a través de la testa hacia la corriente de aire, en este periodo la temperatura del grano se acerca a la temperatura del aire y los granos sufren un cambio de forma enorme y el cual se extiende en un amplio rango de humedad libre, lo que indica que gran parte del agua presente en el cacao no está ligada, es decir que se puede retirar.

En la última etapa se retira humedad libre restante de la matriz de grano, en esta etapa el secado se hace muy lento y puede también eliminarse una pequeña porción del agua ligada, sin embargo, es importante mencionar que por medio de secadores solares no se puede eliminar totalmente el agua ligada ya que esta esta unida a las macromoléculas del cacao y requiere condiciones mas severas como procesos de liofilización, vacío, etc.

La tecnología más eficiente es decir con la mayor tasa de remoción es la de secador convectivo solar tipo túnel fotovoltaico con cubierta de policarbonato (SPC) del cacao procedente de Caldas. Los 8 modelos que se aplicaron para representar el proceso de secado mostraron ajuste de entre 0,8185 y 0,9801, sin embargo, el que mejor se ajusto fue el modelo de Aproximación por difusión con un R^2 0,9801, y RMSE de 0,0404, este modelo logro representar mejor el fenómeno de secado del cacao.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento de los autores a AGROSAVIA por permitir realizar la investigación en los laboratorios del C.I Palmira.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1] AGROSAVIA, "El cacao, una historia que se está escribiendo". Consultado: el 26 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.agrosavia.co/noticias/el-cacao-una-historia-que-se-est%C3%A1-escribiendo>
- [2] AGRONET, "En el secado artificial estaría la clave para exportar cacao especial". Consultado: el 26 de agosto de 2025. [En línea]. Disponible

en: <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/En-el-secado-artificial-estar%C3%ADa-la-clave-para-exportar-cacao-especial.aspx>

- [3] M. M. Santander, C. J. Rodríguez, F. E. Vaillant, y P. S. Escobar, "An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation", *Crit Rev Food Sci Nutr*, vol. 60, núm. 10, pp. 1593–1613, may 2020, doi: 10.1080/10408398.2019.1581726.
- [4] M. E. Pacheco-Montealegre, L. L. Dávila-Mora, L. M. Botero-Rute, A. Reyes, y A. Caro-Quintero, "Fine Resolution Analysis of Microbial Communities Provides Insights Into the Variability of Cocoa Bean Fermentation", *Front Microbiol*, vol. 11, 2020, doi: 10.3389/fmicb.2020.00650.
- [5] N. D. Rodríguez-Velázquez, B. Chávez-Ramírez, I. de la Cruz, M.-S. Vásquez-Murrieta, y P. de los Santos, "El cultivo del cacao, sus características y su asociación con microorganismos durante la fermentación", *Alianzas y Tendencias BUAP*, vol. 7, núm. 25, mar. 2022, doi: 10.5281/zenodo.6326782.
- [6] Association of Official Analytical Chemists (AOAC), *Moisture in Cacao Products (AOAC 931.04)*, 21a ed. Rockville, MD, USA, 2019. Consultado: el 26 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://members.aoac.org/AOAC/AOAC/Item_Detail.aspx?Category=0MA&iProductCode=1121
- [7] J. G. Salcedo-Mendoza, K. Contreras-Lozano, A. García-López, y A. Fernandez-Quintero, "Modelado de la cinética de secado del afrecho de Yuca (*Manihot esculenta Crantz*)", *Rev Mex Ing Quim*, vol. 15, núm. 3, pp. 883–891, 2016, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62048168018>
- [8] M. Moradi, M. A. Fallahi, y A. Mousavi Khaneghah, "Kinetics and mathematical modeling of thin layer drying of mint leaves by a hot water recirculating solar dryer", *J Food Process Eng*, vol. 43, núm. 1, p. e13181, 2020, doi: <https://doi.org/10.1111/jfpe.13181>.
- [9] J. Martín-Gómez, M. Á. Varo, J. Mérida, y M. P. Serratos, "Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*)", *LWT*, vol. 120, p. 108931, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108931>.

Imagen (logo de la escuela)