

RESEARCH ARTICLE

Análisis físico - experimental del secado de maíz mediante transferencia de calor para el desarrollo de una solución ingenieril y estadístico en comunidades rurales de Chimborazo.

María Magdalena Paredes Godoy ¹ Lenin Santiago Orozco Cantos ^{1,2*} Jorge David Zúñiga Lema ^{1,2}
Deysi Yolanda Tenemaza Pirca ³, Luz Margarita Guashco Cujilema ³

¹ Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

² Universidad de las fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador

³ Independiente



Correspondencia: maparedesl@unach.edu.ec



+ 593 995926497

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj91322>

Resumen: La presente investigación detalla el diseño y validación de un sistema económico de deshidratación de maíz para el entorno rural de San José de Chazo, Ecuador, con el objetivo de mitigar la ineficacia térmica y los riesgos de contaminación biológica del secado tradicional al aire libre. Metodológicamente, se utilizó un enfoque experimental y modelado CAD en SolidWorks para optimizar la estructura, empleando acero inoxidable AISI 304 y madera de eucalipto para garantizar la inocuidad alimentaria. Se realizaron ensayos controlados de transferencia de calor y masa, comparando el desempeño del prototipo frente a métodos convencionales. Los resultados demostraron una optimización de la cinética de secado, alcanzando un equilibrio higroscópico del 13% en un periodo de diez horas, lo que reduce significativamente la latencia del proceso. En conclusión, el sistema asegura la estabilidad fisicoquímica del grano y ofrece un modelo escalable y sostenible para fortalecer la soberanía alimentaria en comunidades agrícolas en desarrollo.

Palabras clave: deshidratación de maíz, eficiencia térmica, cinética de secado, SolidWorks

Physical-experimental analysis of corn drying through heat transfer for the development of an engineering and statistical solution in rural communities in Chimborazo

This research details the design and validation of an economical corn dehydration system for the rural environment of San José de Chazo, Ecuador, aiming to mitigate thermal inefficiency and biological contamination risks associated with traditional open-air drying. Methodologically, an experimental approach and CAD modeling in SolidWorks were employed to optimize the structure, using AISI 304 stainless steel and eucalyptus wood to ensure food safety. Controlled heat and mass transfer tests were conducted, comparing the prototype's performance against



Check for
updates

Cita: Paredes Godoy, M. M., Orozco Cantos, L. S., Zúñiga Lema, J. D., Tenemaza Pirca, D. Y., & Guashco Cujilema, L. M. (2026). Análisis físico - experimental del secado de maíz mediante transferencia de calor para el desarrollo de una solución ingenieril y estadístico en comunidades rurales de Chimborazo. Green World Journal, 09(01), 321. <https://doi.org/10.53313/gwj91322>

Received: 15/December /2025

Accepted: 27/January/2026

Published: 28/January/2026

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.

Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial

editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



conventional methods. The results demonstrated an optimization of drying kinetics, reaching a hygroscopic equilibrium of 13% within ten hours, significantly reducing process latency. In conclusion, the system ensures the physicochemical stability of the grain and offers a scalable and sustainable model to strengthen food sovereignty in developing agricultural communities.

Keywords: corn dehydration, thermal efficiency, drying kinetics, SolidWorks.

1. Introducción

La base de la seguridad alimentaria local y el eje socio productivo en la parroquia San José de Chazo, ubicada dentro del ecosistema agrario interandino ecuatoriano, es el cultivo de maíz (*Zea mays*). No obstante, el mantenimiento de métodos primitivos de secado al aire libre constituye una limitación crucial en la cadena de valor, no obstante, uno de los retos más grandes que afrontan los agricultores es el secado, que se lleva a cabo con técnicas tradicionales como el secado al sol. Debido a la falta de equipos apropiados, esto origina dificultades en la calidad final del producto, la eficiencia y el tiempo, y por ende en las ganancias de los agricultores.

Desde el punto de vista físico, secar el maíz es un proceso complicado que implica la transferencia simultánea de calor y masa. En este proceso, la energía térmica que se le proporciona al grano posibilita que la humedad interna evapore y se difunda hacia el ambiente. Es esencial entender y caracterizar experimentalmente estos mecanismos para optimizar las condiciones de operación, aumentar la eficiencia del proceso en términos energéticos y asegurar que el producto final sea de calidad.

El objetivo de este estudio es examinar el comportamiento térmico del sistema, la cinética de secado y el impacto de variables ambientales propias de Chimborazo, como la temperatura la humedad relativa. Para ello se realiza un análisis del secado del maíz a través de transferencia de calor. Con base en estos hallazgos, se pretende construir un secador, que sea técnico y económicamente factible, que tenga un coste reducido y que pueda adecuarse a las comunidades rurales. El objetivo es disminuir las pérdidas tras la cosecha, potenciar la soberanía alimentaria y fomentar el uso eficaz de recursos energéticos naturales.

2. Materiales y métodos

Esta indagación es de tipo aplicada, la cual una especie de estudio que tiene como objetivo solucionar problemas específicos en contextos prácticos. (Hernandez & Baptista, 2014). El estudio intenta solucionar un problema concreto en un contexto específico, que en este caso es el secado de maíz, utilizando un secador solar, construido con materiales provenientes de áreas rurales. Asimismo, se centra en crear una solución que optimice la calidad y el rendimiento del secado de maíz para los productores de la parroquia San José de Chazo.

La investigación que se presenta es experimental, presenta relaciones de causa y efecto mediante la manipulación controlada de variables en un ambiente controlado (Sampiere & Lucio, 2014), ya que supone que el investigador manipule directamente una de las variables. En este caso, se comparará el tiempo que los granos tardan en secarse al aire libre con luz solar y el tiempo que tardan usando la estructura del secador sugerido. Esta

perspectiva posibilita ver claramente las distinciones entre los dos métodos, creando un antes y un después en los resultados. Este método permite distinguir claramente las diferencias entre los dos métodos, creando una distinción temporal en los resultados. Se anticipa que la intervención tecnológica, simbolizada por el secador de maíz, muestre un avance significativo en cuanto a eficacia y disminución de los tiempos de secado. Esto permitirá ofrecer una solución al problema del secado extenso que depende del estado del clima.

Observación: Es un método que registra los eventos exactamente como suceden. (Bernal, 2016). En la investigación se utilizará para observar el comportamiento del proceso de secado de maíz tanto a la intemperie y con el uso del secador.

Entrevista: La entrevista es un método que posibilita la obtención de información directa a través de preguntas formuladas, lo que favorece las respuestas espontáneas y abiertas entre el entrevistador y el entrevistado. (Buendía Esiman et al., 2005). Esta se utilizará para la obtención de opiniones y experiencias de productores de maíz de la parroquia San José de Chazo referente a los materiales de los entornos rurales, así como aspectos del proceso de secado de maíz.

Encuesta: Se utilizó para recopilar información sobre los métodos de secado al aire libre y analizar el grado de aceptación por parte de los residentes de la parroquia San José de Chazo en relación con la utilización de un secador de maíz. Es una herramienta fundamental para la recopilación de información, pues posibilita adquirir datos de una muestra representativa de una población, se emplea un cuestionario estructurado. (Bernal, 2016)

Para recolectar información, se usaron cuestionarios que incluían ocho preguntas cerradas sobre el proceso de secado del maíz: la cantidad, la duración y los materiales cercanos a la parroquia. También se utilizó una guía básica de entrevista para complementar los datos obtenidos en la encuesta.

Para adquirir los datos sobre el procedimiento de secado, tanto en su forma natural como con un secador, se emplearon las siguientes herramientas: un hidrómetro para medir la humedad del grano; una balanza para determinar el peso; un cronómetro para registrar el tiempo dedicado a las actividades; y sensores de temperatura para supervisar las condiciones operativas del secador.

Los datos de materiales y del proceso de secado de maíz que se recabaron a través de encuestas dirigidas a 302 agricultores de maíz en la parroquia San José de Chazo constituyen la población objeto de estudio. Este grupo desempeña un papel fundamental para el desarrollo agropecuario del área y está directamente involucrado con el proceso de secado, lo que lo convierte en el sujeto principal de esta investigación.

Como la población es conocida, se utiliza la fórmula de poblaciones finitas con un margen de error del 5% y un nivel de confianza del 95%, que se describe a continuación:

$$n = \frac{p * q}{\frac{e^2}{Z^2} + \frac{p * q}{N}}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra.

N = Tamaño de la población.

Z = Cuantil de la distribución normal estándar (1.96 al 95% de confianza)

p = Probabilidad de éxito.

q = Probabilidad de fracaso (1 – p).

e = Margen de error.

Para el cálculo de la **probabilidad de éxito se realizó previo a la ejecución del presente trabajo un análisis piloto durante** las primeras visitas de campo obteniendo p = 0,53 y q = 0,47, de esta manera se tiene:

$$n = \frac{0,53 * 0,47}{\frac{0,05^2}{1,96^2} + \frac{0,53 * 0,47}{302}}$$

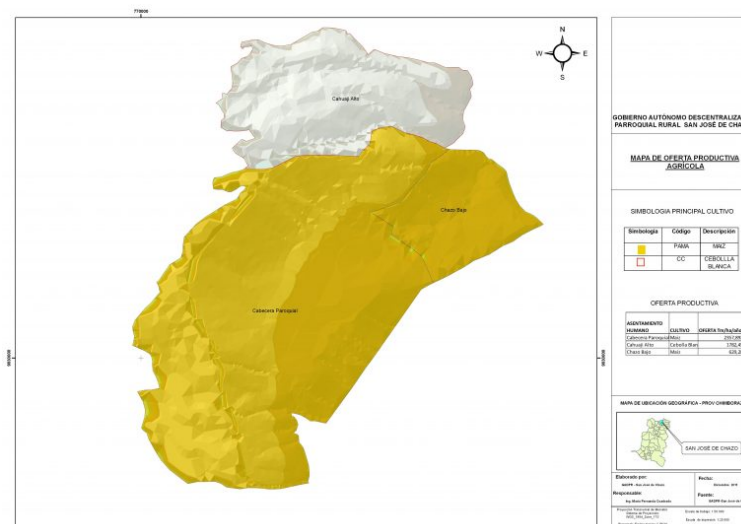
$$n = 168$$

Por lo tanto, para contar con un tamaño de muestra que sea representativo y que contribuya al avance de la investigación, se estima en alrededor de 170 encuestas

2.1 Área de estudio

La parroquia San José de Chazo es una parroquia perteneciente al cantón Guano de la provincia del Chimborazo, misma que fue fundada el 21 de enero de 1988 dentro de su extensión territorial la mayor parte es empleada por zonas agropecuarias en su mayoría dedicada al cultivo de maíz, siendo esta la mayor oferta productiva que maneja la parroquia, Figura 11, y de la cual depende la economía de sus habitantes (CONAGOPARE, 2020).

Figura 1. Área de estudio



Nota. En la figura el color amarillo representa las zonas de producción de maíz en la parroquia San José de Chazo. Reproducido de CONAGOPARE Chimborazo, 2020, *Parroquia San José de Chazo*.
http://conagoparechimborazo.gob.ec/p_san-jose-de-chazo/

3. Resultados.

Se inicia con el cálculo del flujo másico del aire que fluye por medio de la placa lateral del secador mediante la ecuación.

$$m_{aire} = v * A * \rho$$

Donde:

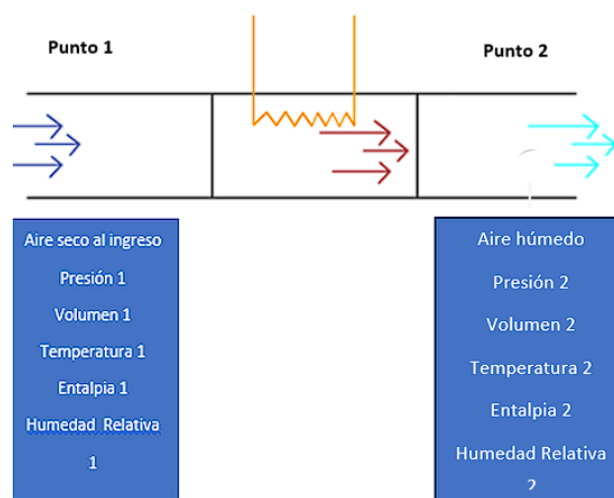
m = flujo másico del aire por medio de placa lateral (kg/s).

v = velocidad (m/s).

A = área (m²).

ρ = densidad del aire (kg/m³).

Figura 2. Balance de energía del secador



Considerando que para secadores de bandejas se emplean velocidades de aire de 2 a 5 m/s para flujo transversal, se toma para el diseño del secador una velocidad de 2 m/s (Calle Benites & Aparicio Baidal, 2011). Mediante el reemplazo de los datos se tiene que:

$$m_{aire} = 2 \frac{m}{s} * 1,060 m^2 * 0,742 \frac{kg}{m^3}$$

$$m_{aire} = 1,679 kg/s$$

Cálculo de calor sensible

Considerando que el proceso de secado se divide en dos etapas desde el punto de vista energético se calcula el calor sensible del sistema mediante la ecuación

$$q_s = m_{aire} * C_p * (\Delta T)$$

Donde:

q_s = Calor sensible (KJ/kg).

m_{aire} = Flujo másico del aire (kg/s).

C_p = Calor específico aire a presión constante (KJ/kg °K).

ΔT = Variación de temperatura ($^{\circ}$ K). Representa la diferencia entre la temperatura en la que comienza la evaporación y la temperatura inicial del grano de maíz. Finalmente, con los datos obtenidos y considerando que la temperatura de ingreso o inicial del maíz es 292,15 $^{\circ}$ K y la temperatura estimada a la que inicia la evaporación es 328,15 $^{\circ}$ K, se reemplaza en la ecuación, teniendo que:

$$q_s = 1,679 \text{ kg} * 1,007 \frac{\text{KJ}}{\text{kg } ^{\circ}\text{K}} * (328,15 - 292,15)^{\circ}\text{K}$$

$$q_s = 61,552 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Por tanto, el calor sensible del secador es de 61,552 KJ/kg.

Cálculo del calor latente

Conocido el calor sensible del secador, se procede al cálculo del calor latente teniendo en consideración que es la cantidad de energía térmica que una sustancia requiere para cambiar de estado (por ejemplo, de sólido a líquido o de líquido a gas) sin que ocurra un cambio en su temperatura. En este caso la temperatura en la cámara de secado se mantiene constante a 40 $^{\circ}$ C, con este dato podemos hallar el calor latente.

Ingresando la temperatura de 40 $^{\circ}$ C mediante la herramienta TLV ToolBox en las tablas de líquido saturado se encuentra $h_f = 167,53 \text{ KJ/kg}$ y $h_g = 2573,5 \text{ KJ/kg}$.

$$q_l = h_g - h_f$$

Donde:

q_l = calor latente (KJ/kg).

h_g = entalpia especifica de vapor saturado (KJ/kg).

h_f = entalpia especifica de agua saturada (KJ/kg).

Mediante el reemplazo de los datos en la ecuación (6) se tiene:

$$q_l = 2573,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} - 167,53 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$q_l = 2025 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Por tanto, el calor latente del secador es de 2025 KJ/kg.

Calor total en el sistema

Con el calor sensible y latente obtenido, se calcula el calor total del sistema mediante la ecuación

$$q_{sist} = q_s + q_l$$

Reemplazando los datos obtenidos se tiene que el calor total del sistema es:

$$q_{sist} = 61,552 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} + 2025 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{sist} = 2086,552 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Mediante la transformación a Kcal se tiene que el calor total del sistema es:

$$q_{sist} = 498,36 \text{ Kcal}$$

Unidades de energía

Considerando la conversión de esta energía a unidades eléctricas se tiene que la energía del secador en W/h es:

$$E = 498,36 \text{ Kcal} * \frac{1,16 \frac{\text{Watio}}{\text{h}}}{1 \text{ Kcal}}$$

$$E = 578,09 \frac{\text{Watio}}{\text{h}}$$

Potencia del secador

Con la energía calculada y considerando un tiempo de secado estimado de 10 horas para el diseño del secador, se procede a determinar la potencia de este.

$$P_{sist} = 578,09 \frac{\text{Watio}}{\text{h}} * 10 \text{ h}$$

$$P_{sist} = 5780 \text{ Watios}$$

Tiempo de secado estimado

Finalmente, considerando los datos obtenidos se corrobora el tiempo estimado de secado con el secador mediante la aplicación de la ecuación.

$$t = \frac{V}{Q_{sistema}}$$

Donde:

$Q_{sistema}$ = Flujo volumétrico total del sistema ($\frac{m^3}{h}$)

V = Volumen de aire (m^3)

t = Tiempo (h)

$$t = \frac{452,1 \text{ m}^3}{45,21 \frac{\text{m}^3}{h}}$$

$$t = 10 \text{ h}$$

Por lo tanto, el tiempo estimado de secado de los granos de maíz haciendo uso del secador diseñado es de 10 h.

4. Discusión

Un diagrama de procesos del secador se elabora para estandarizar y organizar los pasos requeridos para llevar a cabo las pruebas experimentales, tomando en cuenta la interacción con el productor de maíz desde que se recibe el producto hasta obtener el grano seco. El procedimiento comienza con la recepción y el pesaje del maíz húmedo, después se anota el contenido de humedad inicial. Esto posibilita determinar la condición inicial que se aprecia en los gráficos. Después, el maíz se reparte de manera uniforme en las bandejas del secador, lo cual asegura condiciones parecidas de exposición al aire y al calor, un elemento crucial para la repetibilidad que se observa en las curvas experimentales.

Figura 4. Flujograma del proceso de secado con el secador

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO									
PARROQUIA: SAN JOSÉ DE CHAZO						PROCESO		SECADO DE MAÍZ	
MÉTODO: MÉTODO MEJORADO		DIAGRAMA TIPO : MATERIAL		DIAGRAMA N°: 6		FECHA: 21/10/2024			
PRODUCTO: MAÍZ				REALIZADO POR:		Guashco Luz & Tenemaza Deysi			
SECADO DE MAÍZ CON LA MAQUINA SECADORA				REVISADO Y APROBADO POR:		Ing. Magdalena Paredes			
N° DE ACTIVIDAD	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	SIMBOLOS						HOJA N° 1
									DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
1	0,50	0	●						Recibir el maíz desgranado, limpio y clasificado
2	0,05	0	●						Encender secador
3	0,25	0	●						Programar temperatura a 40 °C
4	10	0	●						Calentar el secador hasta la temperatura establecida
5	0,25	0,5	●	→					Transportar el maíz hacia el sitio del secador
6	1	0	●						Abrir la puerta del secador
7	5	0	●						Ubicar el maíz en las 12 bandejas
8	1	0	●						Cerrar la puerta del secador
9	600	0	●					●	Secado de maíz
10	0,20	0	●						Encender higrómetro
11	1	0	●						Abrir la puerta del secador
12	0,25	0	●					●	Medir la humedad mediante el higrómetro
13	0,05	0	●						Apagar el secador
14	5	0	●						Recoger el maíz de las 12 bandejas

Nota. Diagrama de flujo proceso de secado de maíz con el secador.

El diseño del secador se muestra en SolidWorks con las especificaciones que se han descrito para lograr el secado de maíz. La temperatura mínima, que es de 14 °C, se observa en la parte externa de las ruedas porque no están en contacto directo con ninguna fuente de calor. La máxima, por otra parte 30 °C se muestra a la salida del aire caliente del secador.

Figura 5. Secador desarrollo en SolidWorks y secador construido

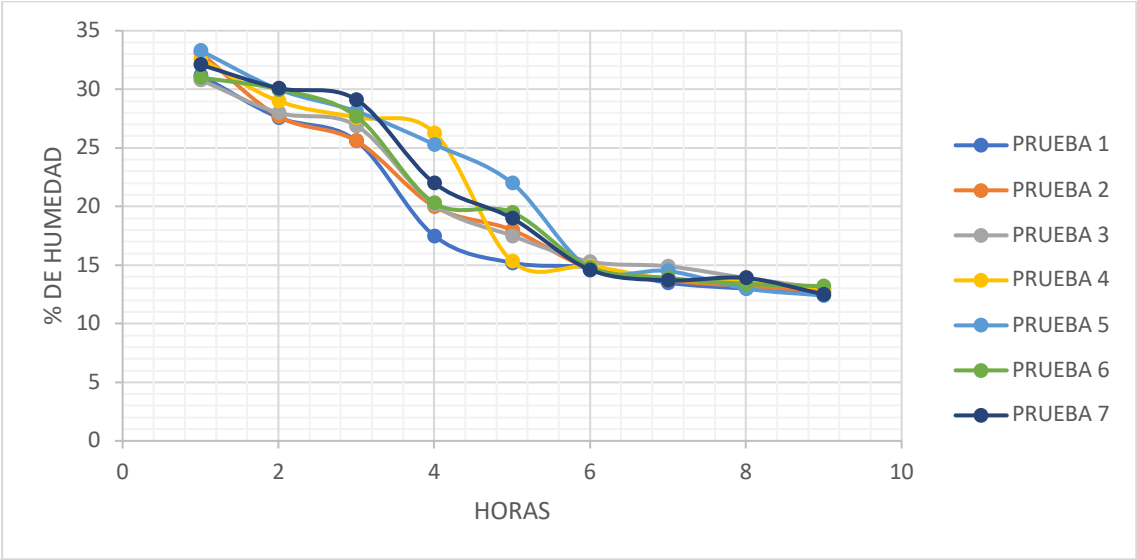


Se estableció un total de 7 pruebas de secado para evaluar el desempeño del secador de maíz, con el objetivo de determinar su eficiencia en comparación con el secado natural al sol. En este estudio, se realizaron siete pruebas de secado al sol y las misma empleando el secador de maíz. Los datos obtenidos permitirán observar el comportamiento de ambos métodos, efectividad y los beneficios del secador en cuanto a tiempo.

Tabla 1. Datos obtenidos primera prueba secado al sol. Temperatura entre 14a 20 °C, peso inicial del grano 10 Kg y peso final 8,7 Kg.

Horas	Humedad	Humedad	Humedad	Humedad	Humedad	Humedad	Humedad
	%	%	%	%	%5	%	%
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7
0	31.2	33.1	30.8	32.6	33.3	31	32.1
2	27.6	27.7	28	29	30	30	30.1
4	25.6	25.6	26.9	27.6	28.12	27.7	29.12
6	17.5	20	20.16	26.3	25.3	20.3	22
8	15.2	18	17.5	15.32	22	19.5	19
10	14.8	14.7	15.3	14.9	14.7	14.8	14.6
12	13.5	13.7	14.9	13.8	14.5	13.9	13.7
14	13	13.2	13.9	13.6	13	13.4	13.9
15	12.7	12.8	13	13	12.4	13.2	12,5

Figura 6. Datos obtenidos primera prueba secado al sol.



En la figura 6, se muestran siete ensayos de secado natural del maíz, entre las (7 a.m. y 17:00 p.m) efectuados a temperaturas entre 14 y 20 °C. Todas las curvas reflejan una tendencia decreciente parecida, lo que demuestra que el proceso es consistente. Las muestras tienen al principio valores de humedad similares, que oscilan entre el 31 % y el 34 %; esto muestra que la condición inicial del maíz es homogénea. En las primeras cuatro

horas, todos los ensayos muestran una reducción paulatina de la humedad, sobre todo debido a que se elimina la humedad en la superficie.

En todas las pruebas, se nota una etapa de secado rápido entre las 4 y las 6 horas, aunque con variaciones en la inclinación de las curvas. Mientras que algunas muestras, como las Pruebas 1, 2 y 7, indican una disminución más acelerada, otras evidencian un descenso un poco más lento, como las Pruebas 4 y 5. Esto puede deberse a cambios en la ventilación natural, el apilamiento de granos o la compactación de la muestra.

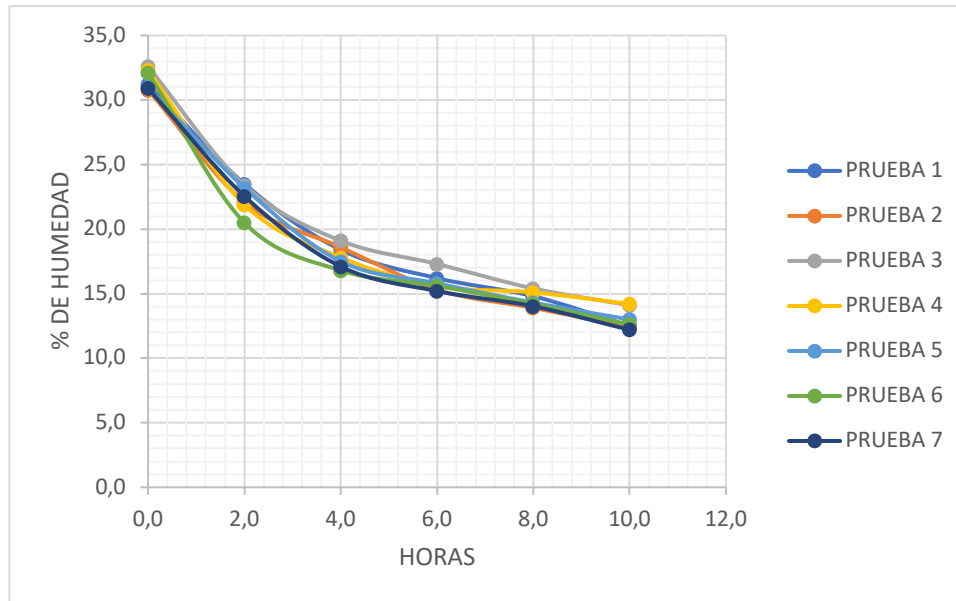
En todas las pruebas, se nota una etapa de secado rápido entre las 4 y las 6 horas, aunque con variaciones en la inclinación de las curvas. Mientras que algunas muestras, como las Pruebas 1, 2 y 7, indican una disminución más acelerada, otras evidencian un descenso un poco más lento, como las Pruebas 4 y 5. Esto puede deberse a cambios en la ventilación natural, el apilamiento de granos o la compactación de la muestra.

Todas las muestras llegan a condiciones finales muy parecidas, estabilizándose en un estrecho rango de humedad del 12 % al 14 %. Esta convergencia demuestra que, a pesar de las mínimas diferencias iniciales, el secado natural lleva a una condición higroscópica equilibrada y común, lo que valida la fiabilidad y estabilidad experimental de los ensayos efectuados.

Pruebas de secado con el secador de maíz: Con el objetivo de comparar la eficiencia del dispositivo con el procedimiento de secado natural al aire libre, se llevaron a cabo ocho ensayos de secado de maíz en la máquina secadora. Cada ensayo permitió examinar la habilidad del secador para disminuir el contenido de humedad de los granos en un ambiente controlado, garantizando homogeneidad y mejorando el tiempo del proceso.

Tabla 2. Datos obtenidos de las pruebas en el secador de maíz. Temperatura entre 16 a 40 °C y la masa varía de 10 a 8,5 Kg.

Horas	Humedad % Prueba 1	Humedad % Prueba 2	Humedad % Prueba 3	Humedad % Prueba 4	Humedad % Prueba 5	Humedad % Prueba 6	Humedad % Prueba 7
0	31.2	30.8	32.6	32.3	31.0	32.1	30.9
2	23.5	22.1	23.4	21.9	23.2	20.5	22.6
4	18.4	18.6	19.1	17.8	17.5	16.8	17.1
6	16.2	15.3	17.3	15.6	15.8	15.6	15.2
8	14.8	13.9	15.4	15.1	14.3	14.2	14.0
10	12.5	12.4	14.1	14.2	13.0	12.6	12.2

Figura 7. Variación de la humedad en función del tiempo – secador de maíz

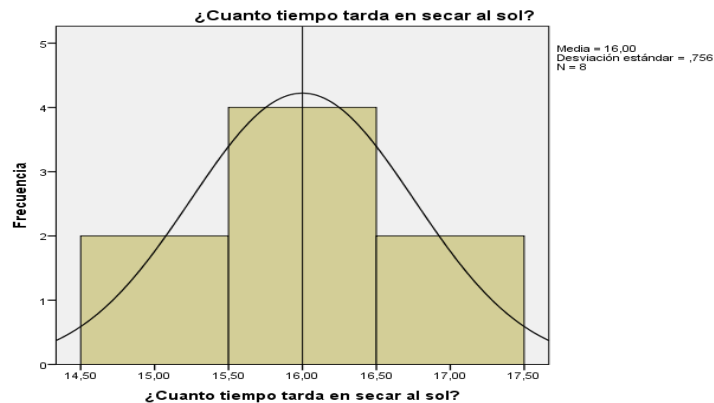
La figura, se presenta la conducta del secado del maíz a una temperatura de 40 °C, la cual se corresponde con las diferentes pruebas efectuadas. En términos generales, todas las curvas muestran que durante las primeras horas el contenido de humedad disminuye rápidamente, seguido de un descenso que se vuelve cada vez más lento. Esto es típico en los procesos de secado térmico.

En general, las pruebas comienzan con un 31,9 % de humedad. En las primeras dos horas, se aprecia una disminución significativa que llega a ser cercana al 8,34 %, lo cual muestra la gran eficacia del secador en la fase inicial, principalmente vinculada a la remoción de humedad superficial. Las curvas se vuelven menos pronunciada entre las 2 y las 6 horas, lo que señala un periodo de transición en el que el secado sigue, pero a un ritmo más lento, porque la humedad tiende a moverse desde dentro del grano hacia afuera.

Por último, entre las 6 y 10 horas, el procedimiento entra en una etapa de secado lento, con ligeras variaciones entre las distintas pruebas, hasta llegar a un valor final próximo al 12,2 %, que se considera apropiado para almacenar el grano. La tendencia de las curvas a converger en este lapso de tiempo ratifica que el sistema de secado se comporta de manera estable y repetitiva dentro de las condiciones operativas definidas.

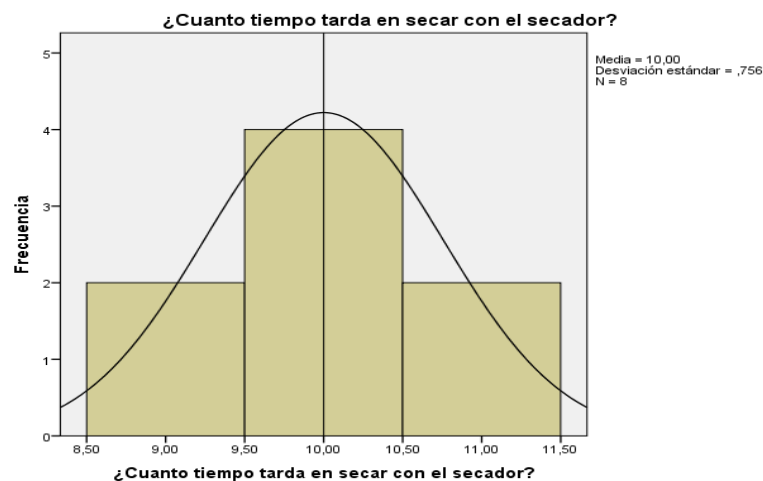
Prueba de comparación entre los tiempos de secado : La Figura muestra una curva simétrica con respecto a la media, lo que sugiere que los datos provienen de una distribución normal. Además la desviación estándar de 0.756 señala que hay poca dispersión de los datos con respecto a la media de las horas de secado al sol.

Figura 8. Curva de simetría secado al sol



También en esta figura se observa una concentración de los datos de tiempos que tarda en secar al sol en torno a su media, desde 15.50 a 16.50 horas.

Figura 9. Curva de simetría con el secador



La Figura muestra que los tiempos de secado con el secador también se distribuyen normalmente y además se concentra en torno a su media entre 9.50 y 10.50 horas, que significa que los datos tienen poca variabilidad y son bastante consistentes. La media, que está cerca de las 10 horas, indica que los valores están situados en torno a este punto; esto implica una concentración en los tiempos de secado.

En cuanto a la comparación entre las dos figuras, se tiene que los tiempos de secado que tarda en el secador es menor que los tiempos de secado que tarda con el sol.

5. Conclusión

La investigación proporciona un modelo experimental que combina la física, la ingeniería y la producción rural para el análisis del secado de productos agrícolas, se verificó experimentalmente que, el secado de maíz sigue las leyes de transferencia de calor, permitiendo tener velocidades altas de secado, relacionada con la evaporación de la humedad superficial; después, se presentó un proceso de difusión interna hasta llegar a un equilibrio higroscópico próximo al 13 %. Esta conducta corrobora la consistencia física

del modelo de secado y la correcta relación entre tiempo, temperatura y pérdida de humedad.

El prototipo desarrollado permitió reducir significativamente el tiempo de secado, alcanzando condiciones seguras de almacenamiento en aproximadamente 10 horas, frente a los períodos prolongados del secado natural que duran aproximadamente 15 horas. Esto evidencia que la mejora del intercambio térmico, aumenta la eficiencia del procedimiento, disminuye el tiempo de latencia y limita la exposición de los granos a elementos de contaminación biológica, tales como las plagas y las micotoxinas.

El diseño del secador, perfeccionado por medio de modelado CAD y fabricado con materiales apropiados para el contacto alimentario, asegura que el proceso sea seguro, la estabilidad fisicoquímica del grano y que se pueda aplicar en entornos rurales. Asimismo, el sistema es una solución sustentable y escalable que tiene la capacidad de robustecer la soberanía alimentaria y optimizar los procesos posteriores a la cosecha en las comunidades agrarias de Chimborazo.

Contribución de autores: Todos los autores contribuyeron a integridad el estudio.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Andrade, R., Tovar, K., & Maldonado, F. (2022). *Diseño de un secador rotatorio para el laboratorio de Ingeniería en Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56076>
2. Aucancela Guacho, C. E. (2010). *Diseño y Construcción de un Secador del Tunel para la Deshidratación del Maíz*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/247>
3. Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Pearson. <https://doi.org/978-958-699-310-4>
4. Cáceres Pacheco, C. E., & Salas Navia, G. A. (2023). *Diseño e implementación de un prototipo de secado de maíz morado con control proporcional integral derivativo*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Católica de Santa María]
5. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12880>
6. Calderón, K., & Medina, J. (2021). *Automatización de un prototipo secador de cacao tipo tunel con energía solar, en la comunidad de Bucay*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2503>

7. Calle Benites, R. E., y Aparicio Baidal, J. J. (2011). *Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/31242/2/D-91568.pdf>
8. Çengel, Y., y Ghajar, A. (2015). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones*. 4. McGraw-Hill.
<https://pavisva.files.wordpress.com/2016/01/transferencia-de-calor-y-masa-yunus-cengel.pdf>
9. Cevallos Erazo, M. B., & Ulloa Moscoso, J. L. (2016). *Diseño y construcción de un secador para granos de maíz duro (morochillo), empleando energía solar para su funcionamiento*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana].
10. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13181>
11. Chamochumbi Aquino, J. E. (2022). *Diseño e implementación de un prototipo de horno automatizado para el secado de granos de maíz con arduino y control PID*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma].
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/6504>
12. García Valverde, M. S. (2016). *Diseño de un secador de bandejas para el secado de maíz, quinua y amaranto en la Hacienda San Jorge*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4850>
13. CONAGOPARE. (2020). Parroquia San José de Chazo.
14. https://conagoparechimborazo.gob.ec/p_san-jose-de-chazo/
15. Gutiérrez Albán, A. C., & Ron Peñafiel, I. (2022). *Determinación del ciclo de cultivo del maíz (Zea mays) VAR. blanco harinoso tipo chazo*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4850/3/96T00332.PDF>
16. Halliday, D., & Walker, J. (2014). *Fundamentos de física*. 10. Reverté,
https://elearn.daffodilvarsity.edu.bd/pluginfile.php/987150/mod_label/intro/fundamentals-of-physics-textbook.pdf
17. Huilcapi Peñafiel, S. I., & Cuvina Sandoval, M. E. (2017). *La producción del maíz en la organización de semilleros, productores agrícolas de San José de Chazo y su incidencia en el nivel de ingresos de los miembros de la organización periodo 2015*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo].
18. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4386>
19. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/21672>
20. Martínez, B., Calderón Bryan, y Jaura, J. (2020). *Propuesta de implantación de invernadero de secado de café con cubierta parabólica y estructura modular adaptada*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Salesiana del Ecuador].
21. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18843>
22. Mohammad, D., Michael Lee, N., y Gregory, N. (2018). Flexural and visual characteristics of fibre-managed plantation Eucalyptus globulus timber. 15(3), 172–

181. *Wood Material Science & Engineering*.
<https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1542618>
23. Montaña Peralta, T. E., Cajamarca Encalada, A. A., y Sinche Pérez, G. P. (2012). *Diseño, construcción y automatización de un secador solar híbrido para el secado de maíz y fréjol destinado al Área Agropecuaria de la UNL*. [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/12370>
24. Muñoz Jácome, E. A., Remache Reinoso, F. M., Vaca Cárdenaa, P. V., y Lara Vásconez, D. F. (2023). Estudio etnobotánico de la flora nativa de la ruta turística hieleros del Chimborazo en la parroquia San Andrés del cantón Guano en la provincia de Chimborazo. 8(5), 1219–1235. Riobamba, Ecuador: *Polo del Conocimiento*. <https://doi.org/2550-682X>
25. Palacios, A., Pluas, V., y Angulo, W. (2021). *Modelado de un secador de bandejas por lotes como un módulo integrado a un simulador de procesos comercial en la elaboración de bebidas nutraceuticas*. [Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica del Litoral]
26. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54380>
27. Racines Jaramillo, M. R., & Yáñez, C. (2013). Estudio exploratorio del origen, sistema de producción y uso actual del maíz Chazo, en la provincia de Chimborazo-Ecuador. Ecuador: *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*.
28. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2823/1/iniapsc319.pdf>
29. Sepúlveda, R. F., Herrera, C. G., Vasco, D., Lira, C. S., y Ananías, R. (2020). Thermal Characterization of Pinus radiata Wood Vacuum-Impregnated with Octadecane. 13(4), 942. Santiago, Chile: *Energies*.
<https://doi.org/10.3390/en13040942>
30. Zambrano Mendoza, J. L., y Cavides C, M. (2022). Estado actual de la producción de maíz en Ecuador. Cajamarca, Perú: *INIAP-EESC*.
31. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5886>



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>