

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DEL
DESHUMIDIFICADOR EN EL SECADO DE CAFÉ DE
USO DE LOS PRODUCTORES EN LA PROVINCIA DE
JAÉN – PERÚ.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO Y ELÉCTRICO**

Autores: Bach. Ghino Alessandro Sempertegui Santos

Bach. Edgar Renato Mendoza Becerra

Asesores: Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon




Línea de investigación: Eficiencia energética

JAÉN – PERÚ

2026

Renato Mendoza Becerra Ghino Sempertegui Santos

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DEL DESHUMIDIFICADOR EN EL SECADO DE CAFÉ DE USO DE LO...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3416234211

80 páginas

Fecha de entrega

18 nov 2025, 12:38 p.m. GMT-5

15.056 palabras

Fecha de descarga

18 nov 2025, 12:41 p.m. GMT-5

88.495 caracteres

Nombre del archivo

O_MENDOZA_Y_GHINO_SEMPERTEGUI_-_EDGAR_RENATO_MENDOZA_BECERRA.pdf

Tamaño del archivo

3.2 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería




3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
289 caracteres sospechosos en N.º de página
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 26 de noviembre del 2025, siendo las 18:30 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Secretario : Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Vocal : Mg. José Andrés Fernández Mera

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DEL DESHUMIDIFICADOR EN EL SECADO DE CAFÉ DE USO DE LOS PRODUCTORES EN LA PROVINCIA DE JAÉN-PERÚ"**.
Presentado los bachilleres: Ghino Alessandro Sempertegui Santos y Edgar Renato Mendoza Becerra, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

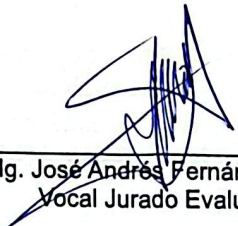
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (16) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 19:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.


Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Presidente Jurado Evaluador


Mg. Juan Antonio Labrin Romero
Secretario Jurado Evaluador


Mg. José Andrés Fernández Mera
Vocal Jurado Evaluador

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Edgar Renato Mendoza Becerra y Ghino Alessandro Sempertegui Santos, egresado de la carrera Profesional de ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificados con DNI 74133200 y 72541727 respectivamente.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DEL DESHUMIDIFICADOR EN EL SECADO DE CAFÉ DE USO DE LOS PRODUCTORES EN LA PROVINCIA DE JAÉN – PERÚ”.

Asesorado por Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 21 de enero del 2026



Edgar Renato Mendoza Becerra



Ghino Alessandro Sempertegui
Santos



INDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	7
	2.1. Ubicación del área de estudio.....	7
	2.1.1. Objetivo de estudio.....	7
	2.2. Ubicación geográfica.....	7
	2.3. Materiales.....	8
	2.4. Métodos, Técnicas y Procedimientos Utilizados.....	8
	2.4.1. Población, muestra y muestreo.....	8
	2.4.2. Métodos.....	10
	2.4.3. Técnicas.....	10
	2.4.4. Procedimiento.....	11
	2.5. Procedimiento De La Investigación.....	14
	2.5.1. Objetivo 1: Determinar el consumo eléctrico del deshumidificador durante las diferentes etapas del proceso de secado del café.....	14
	2.5.2. Objetivo 2: Evaluar la eficiencia energética del deshumidificador utilizado por los productores locales de café en Jaén, considerando parámetros técnicos y ambientales.....	17
	2.5.3. Objetivo 3: Comparar el rendimiento eléctrico del deshumidificador con otros métodos tradicionales o alternativos de secado utilizados en la región.....	18
III.	RESULTADOS.....	21
	3.1. Determinación el consumo eléctrico del deshumidificador durante las diferentes etapas del proceso de secado del café.....	21
	3.1.1. Sección de materiales.....	21
	3.1.2. Cálculos para determinar el consumo eléctrico del deshumidificador durante las etapas del proceso del secado del café.....	24
	3.1.3. Cálculos por fase del secador.....	25
	3.1.4. Gráficos interpretativos y análisis.....	26
	3.2. Objetivo 2: Evaluar la eficiencia energética del deshumidificador utilizado por los	

productores locales de café en Jaén, considerando parámetros técnicos y ambientales.	30
3.2.1. Condiciones de los ensayos y variables	30
3.2.2. Cálculos de los indicadores energéticos por ensayo.	32
3.2.3. Desempeño por fases de secado en el ensayo D2.	34
3.2.4. Gráficos interpretativos	35
3.2.5. Análisis de costos energéticos y estimación de emisiones evitadas.....	39
3.3. Comparación del rendimiento eléctrico del deshumidificador con métodos tradicionales o alternativos de secado.....	40
3.3.1. Propósito y diseño comparativo.	40
3.3.2. Variables medidas y métricas calculadas	41
3.3.3. Supuestos y condiciones de cada método	42
3.3.4. Resultados e interpretaciones de la tabla:	43
IV. DISCUSIÓN	45
4.1. Objetivo 1: Determinar el consumo energético del deshumidificador durante el proceso de secado	45
4.2. Objetivo 2: Evaluar la eficiencia energética del deshumidificador en condiciones reales.	46
4.3. Objetivo 3: Comparar el rendimiento del deshumidificador con otros métodos de secado.....	48
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones.....	50
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
AGRADECIMIENTO	54
DEDICATORIA.....	55
VII. ANEXOS.	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales que se usó para el proyecto de investigación.....	8
Tabla 2. Variables físicas eléctricas consideradas en la evaluación.....	15
Tabla 3. Datos Base	24
Tabla 4. Cálculos por cada fase del secado	25
Tabla 5. Ensayos en cada condición.....	30
Tabla 6. Eficiencia energética por ensayo	31
Tabla 7. Cálculo del SEC_{Agua} por ensayo	32
Tabla 8. Cálculo del SMER por ensayo	32
Tabla 9. Cálculo del COP por ensayo	32
Tabla 10. Cálculo de la potencia promedio por ensayo.....	33
Tabla 11. Cálculo del $SEC_{\text{Café}}$ (kWh/kg café seco) por ensayo.....	33
Tabla 12. Eficiencia por fases del secado en el ensayo D2	34
Tabla 13. Estimación de costo eléctrico y emisiones de CO_2 por lote (5 kg).....	39
Tabla 14. Comparación por método (Lote 5kg; 50% \rightarrow 12% b.h; magua = 2.16)	43
Tabla 15. Ficha técnica del deshumidificador modelo Pro Breeze PB-06-EU-FBA	64
Tabla 16. Proyección del rendimiento energético del deshumidificador para cargas de 10kg a 50kg de café a partir de los resultados obtenidos con 5kg.....	66
Tabla 17. Plan de Mantenimiento Preventivo del Deshumidificador.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Universidad Nacional de Jaén.....	7
Figura 2. Procedimiento realizado para la investigación.....	11
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de secado.....	13
Figura 4. Balanza digital con temporizador 5kg/0.1g	21
Figura 5. Termohigrómetro y reloj digital de interior-exterior	21
Figura 6. Multitester Multímetro Digital AC DC 600V 10A UNI-T UT33A+.....	22
Figura 7. Cronómetro Digital Portátil Profesional	22
Figura 8. Deshumidificador modelo Pro Breeze PB-06-EU-FBA.	23
Figura 9. Curva de secado del café, describe la reducción de la humedad desde 50% a 12% en 12h.	26
Figura 10. Energía eléctrica acumulada vs. tiempo.....	27
Figura 11. SEC_{Agua} (kWh/kg) por fase.	28
Figura 12. COP por fase.	29
Figura 13. Relación entre el Consumo específico de energía vs. Humedad relativa ambiental.	35
Figura 14. (SMER) obtenido en cada ensayo.	36
Figura 15. Coeficiente de operación (COP) del deshumidificador por ensayo.	37
Figura 16. Energía eléctrica acumulada durante el secado (Ensayo D2).	38
Figura 17. Muestra de Café con humedad 50%.....	56
Figura 18. Calibración y manipulación del aparato de precisión (deshumidificador) antes del proceso del secado de café.....	56
Figura 19. Calibración y manipulación del aparato de precisión (deshumidificador) antes del proceso del secado de café.....	57
Figura 20. Inicio en el proceso de secado del café pergamino.	57
Figura 21. Proceso del secado de café pergamino en el ensayo D1.	58
Figura 22. Proceso del secado de café pergamino en el ensayo D2.	58
Figura 23. Proceso del secado de café pergamino en el ensayo D2.	59
Figura 24. Proceso del secado del café pergamino en el ensayo D3.	59
Figura 25. Proceso del secado del café pergamino en el ensayo D3	60
Figura 26. Proceso final de secado con una humedad del 12%.....	60
Figura 27. Ficha técnica de la balanza digital con temporizador	61
Figura 28. Termohigrómetro y reloj digital de interior-exterior.	62
Figura 29. Multitester Multímetro Digital AC DC 600V 10A UNI-T UT33A+.....	63
Figura 30. Características del Aparato de precisión DESHUMIDIFICADOR.....	65
Figura 31. Carta de autorización al responsable de la Escuela Profesional De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica con la solicitud del préstamo del equipo del Deshumidificador	69
Figura 32. Solicitud de certificación del café pergamino en parámetros y valor de calidad al responsable de la Escuela Profesional De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica	70
Figura 33. Solicitud de recepción de certificación de calidad del café pergamino a la empresa de CASTILLO COFFE PERU	71
Figura 34. Certificación de calidad del café secado con el deshumidificador	72

RESUMEN

El secado de café es un proceso crucial en la producción de este grano principalmente en la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca y la eficiencia energética de los sistemas es un factor clave para los productores cafetaleros. En este contexto, el presente estudio desarrollado en esta investigación de tesis tiene como objetivo analizar el rendimiento eléctrico del deshumidificador utilizado en el secado de café, evaluando su eficiencia energética y el tiempo de secado para los productores cafetaleros. El tipo de investigación fue aplicada, correspondiente a un nivel descriptivo comparativo y con diseño experimental, utilizando mediciones de consumo energético y comparando los datos obtenidos con los estándares de eficiencia en el secado de café. Para ellos se emplearon herramientas de medición eléctrica y software especializado para el análisis de datos. Los resultados obtenidos permitieron identificar que el uso del deshumidificador fue eficiente ya que controla la humedad y el uso optimizado de la energía crucial para mantener los costos operativos bajos mientras se asegura la calidad del café a comparación de los secados tradicionales (como uso de camas africanas) y secados mecánicos que utilizan combustibles fósiles que esta es útil cuando el secado tradicional no es viable por cambios climáticos. Por otra parte, se propuso un conjunto de recomendaciones para optimizar su uso del deshumidificador, lo que contribuiría a la reducción de costos operativos y al mejoramiento del proceso de secado de café por parte de los cafetaleros en la ciudad de Jaén.

Palabras clave: Eficiencia energética, deshumidificador, rendimiento eléctrico, optimización de procesos.

ABSTRACT

Coffee drying is a crucial process in coffee production, especially in the province of Jaén, department of Cajamarca. The energy efficiency of these systems is a key factor for coffee producers. In this context, the present study, developed in this thesis research, aims to analyze the electrical performance of the dehumidifier used in coffee drying, evaluating its energy efficiency and drying time for coffee producers. The type of research was applied, corresponding to a comparative descriptive level and with an experimental design, using energy consumption measurements and comparing the data obtained with efficiency standards in coffee drying. Electrical measurement tools and specialized software for data analysis were employed. The results identified that the use of the dehumidifier was efficient, as it controlled humidity and optimized energy use was crucial to keep operating costs low while ensuring coffee quality. This is compared to traditional drying methods (such as the use of African beds) and mechanical drying methods that use fossil fuels. This is useful when traditional drying is not viable due to climate change. Furthermore, a set of recommendations was proposed to optimize the use of the dehumidifier, which would contribute to reducing operating costs and improving the coffee drying process for coffee growers in the city of Jaén.

Keywords: Energy efficiency, dehumidifier, electrical performance, process optimization.

I. INTRODUCCIÓN

A escala global, la producción de café enfrenta desafíos interrelacionados que ponen en riesgo su sostenibilidad a largo plazo, la sostenibilidad ambiental y la calidad del producto. El cambio climático, la escasez de agua y la degradación de los suelos son factores que amenazan la producción cafetera en muchas regiones del mundo (FAO, 2021). Asimismo, el uso generalizado de combustibles fósiles en los procesos de beneficio y secado del café contribuye al calentamiento global y a la contaminación atmosférica (Bastos et al., 2019). Además, la demanda creciente de café de especialidad y la exigencia de los consumidores por productos sostenibles obligan a los productores a adoptar prácticas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

A nivel nacional, el sector cafetalero peruano enfrenta el desafío de modernizar sus procesos de producción para garantizar la sostenibilidad y la competitividad en el mercado global. El secado tradicional del café, que aún prevalece en muchas regiones productoras, como Jaén, implica un alto consumo de combustibles fósiles, lo que contribuye al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, según el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI, 2021). El uso intensivo de combustibles puede afectar ecosistemas cercanos. La búsqueda de leña puede degradar cercos de bosques y riberas, y los combustibles fósiles implican emisiones de NOx, SO2 y material particulado que dañan la vegetación y salud respiratoria de los caficultores y pobladores. Por eso, proyectos locales están midiendo la huella ambiental del café Cajamarquino y promoviendo prácticas de secado más sostenible. (ECONOMIA, R. 2024).

En la provincia de Jaén, una de las principales zonas cafetaleras del Perú (Gobierno regional de Cajamarca, 2023), el secado en patio es el método más antiguo. Después del beneficio húmedo, los cafetaleros extienden el café de 3 – 4 cm de espesor. Este proceso depende totalmente del sol y se revuelve manual varias veces al día para exponerlo uniformemente lo que tarda unos 4 – 7 días para alcanzar la humedad requerida que sería un promedio de 11% de humedad. (SECADO DE CAFÉ AL SOL Y MECÁNICO, 2025). Por otro lado, las camas africanas son otra práctica tradicional común en Jaén. Se trata de estructuras elevadas de 60 a 90cm del suelo que están construidas con marcos de madera o metal y base de malla metálica. Sobre ella se esparce el café, permitiendo que el aire circule por debajo y seque el grano de manera uniforme

(Moreno, R 2024) No obstante a pesar de ser accesible a todos los cafetaleros, aquellos métodos son vulnerable a imprevistas lluvias o a la humedad excesiva de la noche, por lo que demanda de mucha atención constante para evitar que el grano se heche a perder.

De manera adicional, estos métodos tradicionales no permiten controlar la temperatura, la cantidad de humedad o la velocidad del aire, es así que el deshumidificador (Comfee, 2024) se propone como una medida de solución para mejorar la eficiencia del secado de café, agilizando la tasa de deshidratación y disminuyendo las pérdidas por cambios climáticos; por ende, aumenta la eficiencia productiva y se obtiene un grano con parámetros de humedad de mayor calidad del café.

Ah raíz de esta problemática se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la eficiencia energética y el tiempo de secado del café utilizando el deshumidificador en comparación con los métodos tradicionales? Lo cual se justifica de la siguiente manera:

En el aspecto social, La optimización del proceso de secado incide directamente en la calidad del grano del café, lo cual, a su vez, afecta en el incremento del valor económico percibido por los pequeños productores. La implementación de tecnologías avanzadas, como el deshumidificador, aminora la carga de trabajo manual al disminuir la necesidad de intervenciones físicas como el volteo y cubrimiento en los patios de secado, lo que a consecuencia toma tiempo para que los productores puedan dedicarse a otras actividades. Este avance tecnológico como el deshumidificador aligera la labor manual de los cafetaleros. Además, la fiabilidad mejorada del proceso del secado fortalece las estructuras cooperativas y garantiza la consistencia en los estándares de calidad, lo que a su vez consolida tanto el prestigio social como la estabilidad económica de los productores.

En el aspecto práctico, un deshumidificador permite extraer la humedad con un ciclo continuo bajo condiciones controladas, acelerando el proceso. Al reducir el tiempo de secado se evita el sobre secado o humedad desigual; según la literatura, interrumpir el secado a destiempo genera granos húmedos y desuniformes, mientras el secado excesivo provoca pérdida de peso del grano.

En el aspecto teórico, el secado del café es un proceso de transferencia de masa y calor fundamental en la poscosecha: implica evaporar el agua contenida en los granos mediante aporte de energía térmica. El calor requerido para evaporar 1 kg de agua es muy alto lo que es más o menos 2,500 KJ, equivalente a unas 600 kcal, lo que significa que gran parte de la energía consumida en un secador se destina a vencer el calor latente del agua. Por ello, la eficiencia energética del secado se define como la relación entre esta energía teórica mínima y la realmente consumida.

En el aspecto ambiental, el uso del deshumidificador puede implicar menos emisiones contaminantes en comparación con secadoras convencionales a combustibles. El Deshumidificador extrae hasta 20 L de agua al día y cubre alrededor de 110 m² consumiendo entre 850 y 1000 W. Es decir, su eficiencia es 2.4 L/kWh permitiendo un secado raudo con un consumo energético bastante económico. Al trabajar con corriente eléctrica y con refrigerante R134 de bajo impacto, evita la quema de leña o gas que emiten CO₂ y hollín.

En el aspecto metodológico, Esta investigación explora un área hasta ahora inexplorada: la comparación rigurosa entre el secado tradicional del café en Jaén y la tecnología moderna representada por el deshumidificador. Este vacío de conocimiento es particularmente importante porque el proceso de secado constituye una fase crítica que determina la calidad final del producto.

A continuación, con el propósito de respaldar la investigación, se llevó a cabo un análisis de antecedentes internacionales, nacionales y locales que se presentaran a continuación:

(Quiñones Huatangari, 2020) En su artículo “Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú”, tiene como objetivo estimar la humedad del café pergamino empleando un secador solar automatizado y modelos matemáticos. La metodología empleada fue de tipo aplicada, desarrollando modelos de regresión (lineal múltiple y no lineal) a partir de datos recolectados durante cinco días de secado en campo (parcela de un agricultor en Las Naranjas, Jaén). Como resultado, se determinaron cinco modelos con coeficientes de correlación mayores a 0,91, identificando que un modelo de radiación solar propuesto originalmente para Grecia describió mejor el comportamiento de la disminución de

humedad del café pergamino en el secador solar automatizado. Se concluye que es posible predecir con precisión la humedad del café durante el secado solar automatizado mediante dichos modelos matemáticos. Este estudio brinda información valiosa sobre la predicción del contenido de humedad en el proceso de secado, lo cual resulta útil para mi proyecto al analizar y optimizar el rendimiento del deshumidificador en el secado de café.

(Huamán Murillo, 2022) En su tesis de maestría “Calidad física, microbiológica y sensorial del café pergamino (*Coffea arábica* L.) en tres prototipos de secadores en Selva Central”, tuvo como objetivo evaluar la calidad del café pergamino secado en tres prototipos de secador solar tipo invernadero (A: solo invernadero; B: invernadero + extractor de aire; C: invernadero + extractor de aire + calefactores), comparándolos con el secado tradicional en tendal. La investigación fue de tipo aplicada y diseño experimental, implementando prototipos alimentados con energía solar (paneles que operan ventiladores y calentadores) y midiendo indicadores físicos, microbiológicos y sensoriales del café en cada caso. Como resultados, el prototipo C (secador con ventilación forzada y calefacción) redujo el tiempo de secado a ~54 horas (~2,25 días) alcanzando una humedad final ~11,7%, mientras que el método tradicional requirió ~124 horas (~5 días). Además, los granos secados en los prototipos presentaron mejor tamaño y menos defectos, con puntajes de catación superiores (84,25 en el prototipo C vs 79,5 en el método tradicional), calificándolos como cafés de calidad “muy buena” o Q premium según la SCAA. En esta tesis se puede rescatar que el uso de secadores solares mejorados con control de temperatura y ventilación permite obtener café pergamino de alta calidad física, sensorial y microbiológica en menor tiempo que el secado convencional. Esta tesis demuestra cómo la incorporación de tecnología (ventilación forzada y calefacción) optimiza el secado del café y mejora su calidad, sirviendo como referente directo para mi proyecto sobre rendimiento eléctrico de un deshumidificador en el secado de café.

(Dávila-Guamuro, 2022) En su trabajo “Secador solar tipo túnel con microclima autocontrolado para café (*Coffea arábica*) Honey de alto valor en taza”, desarrollado en Moyobamba (San Martín), el objetivo fue diseñar y construir un secador solar en forma de túnel con control automático de microclima para procesar cafés tipo honey de alta calidad. La investigación fue de tipo tecnológico-aplicado con diseño experimental, evaluando diferentes configuraciones que incorporaron calefactores de aire alimentados por energía solar y extractores de humedad automatizados (remoción de aire cada 20

minutos). Se construyó un prototipo abovedado con bandejas de secado, controlando la temperatura y la ventilación de forma autónoma. Como resultados, el secador alcanzó temperaturas de hasta 35 °C, logrando reducir la humedad del café honey a un rango de 12–14%; las muestras secas obtuvieron en promedio 82 puntos en la evaluación sensorial de taza. El dispositivo cumplió su propósito de secar el café honey en condiciones asépticas, automáticas y controladas, preservando una calidad de taza limpia en el producto final. Este trabajo concluye que es factible implementar secadores solares automatizados que mantengan un microclima óptimo, mejorando la eficiencia del secado y conservando la calidad sensorial del café. Este antecedente aporta un soporte técnico importante a mi investigación, pues valida el uso de control automático y extracción de humedad en el proceso de secado de café, en línea con la optimización del rendimiento eléctrico mediante deshumidificación.

(Rodríguez Velásquez, 2022) En su tesis “Diseño de un secador utilizando aire seco de café pergamino para reducir el tiempo de secado en la asociación APASCLAC” (Chiclayo, Lambayeque), propone un sistema de secado mecánico basado en la deshumidificación del aire para acelerar el secado del café pergamino. El objetivo fue diseñar un secador que use aire deshumidificado (mediante un deshumidificador industrial) a fin de reducir significativamente el tiempo de secado en dicha asociación de productores. La investigación fue de tipo aplicada con alcance innovador, integrando un deshumidificador de rotor (modelo DehuTech DT-1300) en un circuito de aire cerrado y controlado para recircular aire seco a través del grano de café. Como resultados, el sistema logró disminuir drásticamente la duración del secado: utilizando aire deshumidificado se pudo secar el café desde ~52% hasta ~10–12% de humedad en aproximadamente 3 días, lo que representa una reducción sustancial frente al secado tradicional al aire libre. Asimismo, la automatización del proceso (controlando temperaturas, flujos de aire y tiempos) redujo la intervención del operario y ayudó a mantener la calidad del grano. En conclusión, un secador basado en aire deshumidificado resulta efectivo para optimizar el proceso de secado de café, acortando tiempos y asegurando la calidad del producto final. Esta tesis es de gran información para mi proyecto, pues proporciona datos sobre la eficiencia energética y desempeño de un deshumidificador aplicado al secado de café, sirviendo como base comparativa para el análisis del rendimiento eléctrico en mi investigación.

En el ámbito del secado de café pergamino, diversos estudios recientes han evidenciado la importancia de implementar sistemas automatizados que optimicen la eficiencia del proceso y aseguren la calidad del grano. Barzola et al. (2020) diseñaron y evaluaron un secador solar automatizado en Jaén, logrando reducir el contenido de humedad a niveles óptimos de almacenamiento (aproximadamente 12 %). El sistema permitió controlar de manera precisa la temperatura, el flujo de aire y la uniformidad de la deshidratación, preservando las características organolépticas del café. Este estudio demuestra que la automatización representa una solución eficiente y sostenible para los productores locales, optimizando el proceso de secado y mejorando la calidad del producto.

El presente proyecto tiene como objetivo general evaluar la eficiencia del deshumidificador en el secado del café en la provincia de Jaén, Perú, considerando el tiempo de secado y el consumo energético del producto final. Para ello, se plantean como objetivos específicos determinar el consumo energético del deshumidificador en las distintas etapas del proceso bajo condiciones reales, evaluar su eficiencia energética considerando parámetros técnicos y ambientales, y comparar su rendimiento eléctrico con métodos tradicionales o alternativos de secado utilizados por los productores locales. Esta investigación permitirá identificar oportunidades de optimización en el uso de deshumidificadores, logrando un secado más eficiente y sostenible, preservando la calidad del café y proporcionando información útil para decisiones técnicas y estratégicas en la producción cafetalera.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

2.1.1. Objetivo de estudio

Análisis del rendimiento eléctrico del deshumidificador en el secado de café de uso de los productores en la provincia de Jaén – Perú

2.2. Ubicación geográfica

La investigación hace referencia que se ha desarrollado en los edificios de la escuela profesional de la carrera mecánica eléctrica ubicado en el Km. 24 de la carretera Jaén – San Ignacio, sector Yanuyacu, que pertenece al distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

Figura 1.

Ubicación de la Universidad Nacional de Jaén.



Fuente: Extraído de Google Earth (2024)

Límites de la provincia de Jaén:

Por el Norte con la Provincia de San Ignacio (Departamento Cajamarca).

Por el Este con las provincias de Bagua y Utcubamba (Departamento Amazonas).

Por el Sureste y Sur con la Provincia de Cutervo (Departamento Cajamarca).

Por el Suroeste con las provincias de Ferreñafe (Departamento Lambayeque).

Por el Oeste con la provincia de Huancabamba (Departamento Piura).

2.3. Materiales

Para llevar a cabo el análisis del rendimiento eléctrico del deshumidificador en el secado de café de uso de los productores en la provincia de Jaén – Perú se hizo uso de los siguientes materiales e instrumentos, se utilizó una laptop (herramienta de cálculo), sensor de humedad, balanza y el aparato de precisión llamado Deshumidificador: para el proceso de secado de café. Finalmente, como materiales de campo se utilizó cuaderno de apuntes y teléfono celular.

Tabla 1.

Materiales que se usó para el proyecto de investigación

Ítem	Descripción
Programas Informáticos	
1	Paquete de office (Excel)
Equipos Y/O Instrumentos	
2	Deshumidificador
3	Sensor de humedad
4	Balanza digital
5	Multitester Multímetro digital
6	Termohigrómetro
7	Cronometro digital

Fuente: Elaboración Propia.

2.4. Métodos, Técnicas y Procedimientos Utilizados

2.4.1. Población, muestra y muestreo

○ Población

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población es: “El conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (p.174). Dado que en la provincia de Jaén actualmente no existen productores que utilicen deshumidificadores eléctricos para el secado de café pergamino, la población de estudio se redefine con el propósito de cumplir los objetivos de la investigación. En este contexto, la población se constituye por los granos de café pergamino y las condiciones ambientales típicas de la región, así como por los productores que emplean métodos tradicionales de secado. Esta definición permite evaluar el rendimiento eléctrico del deshumidificador en condiciones simuladas,

pero representativas del entorno real de Jaén, considerando variables como temperatura, humedad relativa y volumen de café a secar. Esta población alternativa garantiza que los resultados obtenidos sean aplicables y útiles para futuros productores que deseen implementar deshumidificadores en la ciudad de Jaén, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca.

○ **Muestra**

Según Tamayo y Tamayo (2006), define la muestra como: "El conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada" (p.176).

Si bien el deshumidificador está diseñado para operar con cargas mayores (≈ 50 kg), en la presente investigación se trabajó con una muestra experimental de 5 kg de café pergamino, con el propósito de realizar ensayos controlados que permitan analizar el comportamiento energético del sistema a pequeña escala. Para la muestra se seleccionará una muestra representativa de granos de café pergamino proveniente de distintos productores de la zona, con un peso aproximado de 5 kg por ensayo. Esta muestra se someterá al secado mediante un deshumidificador experimental instalado para el estudio, permitiendo la medición del consumo eléctrico y el tiempo requerido para alcanzar la humedad óptima del 10 – 12%. Adicionalmente, se simularán diferentes condiciones ambientales registradas en Jaén, tales como variaciones de temperatura y humedad relativa, para garantizar que los resultados reflejen la realidad regional y sean extrapolables a futuras implementaciones

○ **Muestreo**

El muestreo por conveniencia es una modalidad de selección de una muestra estadística por la cual el investigador elige aquellos sujetos a los que tiene mayor facilidad de acceso. Esto, por proximidad geográfica o de otra índole. (Westreicher, 2022)

Dado que en Jaén no existen productores que utilicen deshumidificadores en esta investigación se usó un muestreo por conveniencia, debido a la facilidad de acceso y la proximidad de este.

2.4.2. Métodos

El método que fue usado para el proyecto será de tipo inductivo porque estuvo basado en la observación y en la experimentación para poder llegar a una conclusión general en base a datos específicos. Marytere Narvaez (2023) indica que el método inductivo es un proceso de razonamiento que se basa en la observación y la experimentación para llegar a una conclusión general a partir de casos específicos.

- **Tipo de investigación**

Este proyecto fue una investigación tipo aplicada porque busca generar información práctica y útil que permita optimizar el rendimiento eléctrico de los deshumidificadores en el secado de café, contribuyendo directamente a mejorar la eficiencia energética y los tiempos de secado para los productores locales.

Según Murillo (2008) señala que “la investigación aplicada recibe el nombre de investigación práctica o empírica, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación”.

- **Diseño de investigación**

El diseño de este proyecto de investigación fue experimental, ya que se manipulo y se controló la temperatura (Variable Independiente) para poder comparar el tiempo de secado del café (Variable Dependiente). Según Arias (2012) La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).

2.4.3. Técnicas

- **Análisis de documentos**

Para poder desarrollar esta tesis se recurrió al análisis de documentos especializados, incluyendo artículos científicos, tesis de pregrado y posgrado, así como informes técnicos relacionados con el secado de café, eficiencia energética y sistemas de deshumidificación. Estos documentos permitieron identificar métodos, procedimientos y parámetros utilizados en estudios similares, sirviendo de base para establecer los criterios de diseño experimental, selección de variables

y protocolos de medición.

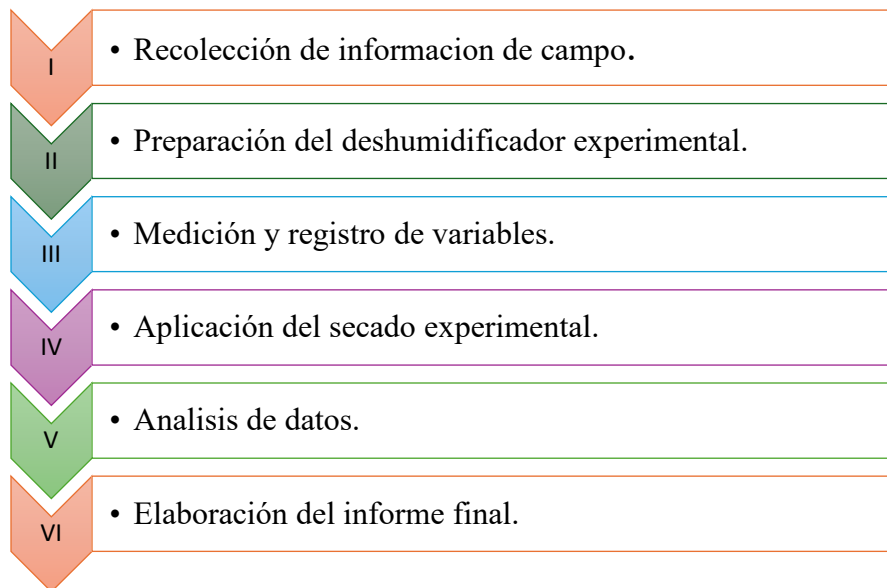
○ **Observación directa**

Se realizaron visitas a los centros de secado de café de distintos productores en la provincia de Jaén con el propósito de recolectar información detallada sobre el proceso de secado vigente. Durante estas observaciones se identificaron los métodos empleados, las condiciones ambientales y la preparación del café antes de ser sometido al deshumidificador experimental.

2.4.4. Procedimiento

Figura 2.

Procedimiento realizado para la investigación



Nota: En la presente figura se detalla el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo de la investigación

2.4.4.1. Procedimiento experimental para el análisis del rendimiento eléctrico del deshumidificador.

El procedimiento experimental consistió en aplicar un secado controlado de café mediante el uso de un deshumidificador, con el fin de evaluar su rendimiento eléctrico y compararlo con los métodos tradicionales utilizados por los productores locales. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

- **Selección y acondicionamiento del café**

Se recolectaron muestras de café pergamino húmedo proveniente de productores de la provincia de Jaén. Las muestras se homogenizaron y se verificó el contenido inicial de humedad mediante un medidor especializado, garantizando que las condiciones iniciales fueran comparables.

- **Instalación del equipo deshumidificador.**

El deshumidificador fue instalado en un espacio controlado (en las aulas de la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica), verificando el correcto funcionamiento del sistema eléctrico y del sistema de control de humedad y temperatura. Se calibraron los sensores y medidores de consumo energético para obtener lecturas precisas durante todo el proceso.

- **Desarrollo del proceso de secado.**

Se colocaron las muestras de café en la cámara del deshumidificador (en las aulas de la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica), aplicando un secado continuo hasta alcanzar el contenido de humedad óptimo recomendado para el almacenamiento del grano (aproximadamente 12%). Durante este proceso se registraron, a intervalos regulares, la temperatura, la humedad relativa y el tiempo de secado.

- **Medición del consumo energético.**

Se utilizó un medidor digital de energía eléctrica (kWh) conectado al deshumidificador, registrando el consumo durante las diferentes etapas del secado. Estos datos permitieron calcular la eficiencia energética del equipo en función del volumen de café procesado y el tiempo requerido.

- **Comparación con métodos tradicionales**

Con el fin de contrastar los resultados, se recopilaron datos sobre el tiempo y el consumo de recursos energéticos de los métodos tradicionales de secado empleados por los productores (secado solar). Esta comparación permitió evaluar la viabilidad técnica y económica del uso del deshumidificador.

- **Registro y análisis de resultados**

Todos los datos obtenidos fueron organizados en tablas y gráficos, lo que permitió analizar el rendimiento eléctrico del deshumidificador y establecer comparaciones objetivas con los métodos convencionales.

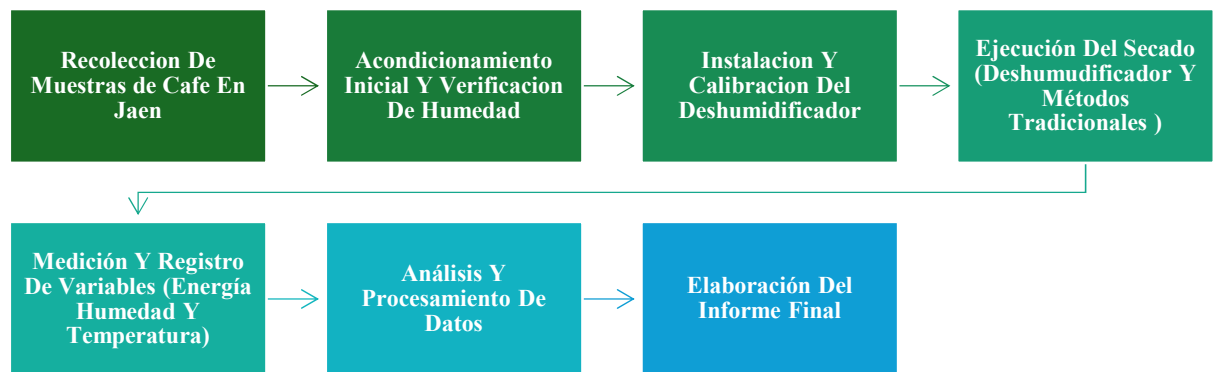
2.4.4.2. Diagrama de flujo del procedimiento experimental.

Con la finalidad de organizar y visualizar las etapas metodológicas, se elaboró un diagrama de flujo que describe de manera secuencial el procedimiento aplicado en la investigación. Este diagrama permite observar el orden lógico de las actividades y su relación directa con los objetivos planteados.

El procedimiento seguido se resume en las siguientes fases principales:

Figura 3.

Diagrama de flujo del proceso de secado.



En la figura se detalla el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo de la investigación.

- Recolección de muestras de café en condiciones reales de producción en la provincia de Jaén.
- Acondicionamiento inicial del grano y verificación del contenido de humedad para estandarizar las pruebas.
- Instalación y calibración del deshumidificador experimental, asegurando el correcto funcionamiento de los equipos de medición.
- Ejecución del secado experimental, mediante el deshumidificador y los métodos tradicionales de referencia (solar y a combustible).
- Medición y registro de variables técnicas, tales como humedad del grano, temperatura y consumo energético durante todo el proceso.

- vi. Procesamiento y análisis de datos, comparando la eficiencia y el rendimiento eléctrico del deshumidificador frente a los métodos tradicionales.
- vii. Elaboración del informe final, en el que se integraron los resultados obtenidos y se contrastaron con la hipótesis de investigación.

2.5. Procedimiento De La Investigación.

2.5.1. Objetivo 1: Determinar el consumo eléctrico del deshumidificador durante las diferentes etapas del proceso de secado del café.

Para cumplir con este objetivo se procedió a registrar y analizar el consumo energético del deshumidificador empleado en el secado experimental de café en la provincia de Jaén. Los cálculos y procedimientos descritos se aplicaron sobre la muestra experimental de 5 kg de café, cuyos resultados se presentan y analizan en detalle en el Capítulo III.

El procedimiento incluyó las siguientes actividades:

2.5.1.1. Registro del consumo energético

Se utilizó un medidor digital de energía eléctrica (kWh) conectado al deshumidificador para cuantificar el gasto energético durante todo el proceso de secado. El registro se realizó de manera continua, desde el inicio del secado hasta alcanzar el nivel de humedad final recomendado ($\approx 12\%$).

2.5.1.2. Identificación de etapas del secado

El proceso se dividió en tres fases principales, según la variación de humedad y temperatura en la cámara de secado:

- Fase inicial: deshidratación rápida, con mayor consumo de energía debido a la alta humedad inicial del grano.
- Fase intermedia: estabilización de la tasa de secado, con consumo energético moderado.
- Fase final: eliminación de la humedad residual, caracterizada por un incremento en el tiempo y una reducción en la eficiencia energética.

2.5.1.3. Variables medidas en el sistema

Tabla 2.

Variables físicas eléctricas consideradas en la evaluación.

Símbolo	Variable medida	Unidad	Descripción
$E_{eléctrica}$	Energía eléctrica consumida	kWh	Energía total utilizada por el deshumidificador durante el proceso de secado.
t_{secado}	Tiempo de secado	h	Tiempo total requerido para alcanzar el 12 % de humedad del café.
$m_{inicial}$	Masa inicial de café	kg	Peso del café húmedo antes del inicio del secado.
m_{final}	Masa final de café	kg	Peso del café una vez alcanzada la humedad final estable.
X_i	Contenido inicial de humedad	% b. h.	Porcentaje de humedad inicial del café (base húmeda).
X_f	Contenido final de humedad	% b. h.	Porcentaje de humedad del café después del secado.
m_{agua}	Masa de agua removida	kg	Diferencia entre masa inicial y masa final del café.
h_{fg}	Calor latente de evaporación del agua	kWh/kg	Energía necesaria para evaporar 1 kg de agua ($\approx 0.67kWh/kg$ a 35 °C)
P_{prom}	Potencia promedio del equipo	kW	Relación entre la energía consumida y el tiempo total del secado

Fuente: Elaboración propia

2.5.1.4. Cálculo de indicadores energético

- Masa de café:

$$m_{seca} = m_{inicial} * (1 - X_i)$$

- Masa final del café seco:

$$m_{final} = \frac{m_{seca}}{(1 - X_f)}$$

- Masa de agua eliminada durante el secado:

$$m_{agua} = m_{inicial} - m_{final}$$

- Consumo específico de energía (SEC):

$$SEC = \frac{E_{eléctrica}(kWh)}{m(kg)}$$

Donde:

$E_{el\acute{e}ctrica}$ = *energía consumida por la maquina (kWh)*

m = *masa eliminada (kg)*

Indica la cantidad de energía consumida por el deshumidificador para eliminar 1 kg de agua del grano de café (Cuanto menor es el valor del SEC, mayor es la eficiencia eléctrica del sistema).

En el presente estudio se emplearon dos variantes del Consumo Específico de Energía (SEC), dependiendo del parámetro de referencia:

- SEC_{agua} (kWh/kg H₂O): Representa la cantidad de energía consumida por cada kilogramo de agua eliminada durante el secado. Es útil para evaluar la eficiencia energética del proceso de deshidratación.
- $SEC_{café}$ (kWh/kg café seco): Representa la cantidad de energía consumida por cada kilogramo de café seco obtenido al final del proceso. Es útil para comparar el rendimiento del sistema respecto a la producción neta.

Specific Moisture extraction rate (SMER):

$$SMER = \frac{m_{agua}}{E_{el\acute{e}ctrica}} = \frac{1}{sec}$$

Representa la cantidad de agua extraída por cada kWh consumido (un valor mayor SMER indica mayor eficiencia energética).

Coefficiente de operación (COP)

$$COP = \frac{m_{agua} * h_{fg}}{E_{el\acute{e}ctrica}}$$

Expresa la relación entre la energía útil de evaporación y la energía eléctrica utilizada (Un COP mayor que 1 indica que el equipo aprovecha eficientemente la energía disponible)

Potencia promedio utilizada:

$$P_{prom} = \frac{E_{el\acute{e}ctrica}}{t_{secado}} (kW)$$

Permite conocer la potencia promedio empleada por el deshumidificador durante todo el proceso.

2.5.2. Objetivo 2: Evaluar la eficiencia energética del deshumidificador utilizado por los productores locales de café en Jaén, considerando parámetros técnicos y ambientales.

Los ensayos para la evaluación de la eficiencia energética del deshumidificador se realizaron utilizando una muestra de 5 kilogramos de café pergamino, representativa de la capacidad total del equipo (≈ 50 kg). Este enfoque a escala experimental permitió controlar de manera precisa las variables. Por tanto, los resultados obtenidos en esta escala experimental constituyen una base válida para la evaluación comparativa del desempeño energético del deshumidificador bajo condiciones ambientales reales de la provincia de Jaén

Con este objetivo se buscó analizar el desempeño del deshumidificador no solo desde la perspectiva de su consumo energético, sino también integrando las condiciones ambientales y técnicas bajo las cuales opera, con el fin de determinar su eficiencia global en el proceso de secado de café.

Para ello se registraron variables como la temperatura y humedad relativa del ambiente, la temperatura y humedad en la cámara de secado, el flujo de aire suministrado por el equipo, así como la carga de café procesada en cada ensayo. Estos parámetros se correlacionaron con el tiempo de secado, la energía eléctrica consumida y la masa de agua eliminada, permitiendo calcular indicadores de eficiencia energética como el Consumo Específico de Energía (SEC), la Tasa de extracción de humedad específica (SMER) y el Coeficiente de Operación Estimado (COP).

- El SEC ($\text{kWh/kg H}_2\text{O}$) permitió cuantificar la cantidad de energía necesaria para remover un kilogramo de agua del grano de café.

- El SMER ($\text{kg H}_2\text{O/kWh}$) indicó la cantidad de humedad extraída por cada unidad de energía consumida, siendo un indicador directo de la productividad energética del deshumidificador.

- El COP estimado se calculó en función del calor latente de evaporación del agua y la energía eléctrica utilizada, con lo cual se pudo dimensionar la eficiencia termodinámica del equipo.

El análisis se realizó tanto a nivel de ensayos completos como por fases del secado (inicial, intermedia y final), a fin de identificar las variaciones en la eficiencia energética a lo largo del proceso. Este procedimiento permitió observar cómo factores externos como la humedad relativa ambiente afectan directamente el rendimiento del deshumidificador y, por ende, su viabilidad técnica y económica para los productores locales.

En las siguientes secciones se presentan los resultados obtenidos en forma de tablas y gráficos, que muestran la relación entre los parámetros técnicos/ambientales y los indicadores energéticos calculados.

2.5.3. Objetivo 3: Comparar el rendimiento eléctrico del deshumidificador con otros métodos tradicionales o alternativos de secado utilizados en la región.

El propósito de este objetivo fue establecer una comparación entre el rendimiento eléctrico del deshumidificador y los métodos de secado tradicionalmente empleados por los productores de café en la provincia de Jaén, tales como el secado solar en patios o zarandas y el secado a combustibles (leña, gas u otros recursos locales).

En todos los casos se consideró una muestra experimental de 5 kilogramos de café pergamino, lo que permitió mantener la equivalencia en el cálculo de los indicadores energéticos y en la medición del tiempo de secado y cabe precisar que los indicadores de eficiencia eléctrica son parámetros relativos, por lo que los resultados obtenidos pueden extrapolarse de manera confiable a escalas mayores, preservando la validez comparativa del estudio. De esta manera, el análisis comparativo mantiene consistencia técnica y metodológica, asegurando la validez de la comparación entre el deshumidificador y los métodos tradicionales de secado utilizados en la provincia de Jaén.

La comparación se fundamentó en indicadores cuantitativos que permitieron evaluar tanto el desempeño energético como el tiempo de operación de cada método:

- **Tiempo total de secado (h):** permitió medir la rapidez con la que cada método reduce el contenido de humedad del café desde valores iniciales elevados (≈ 50 % b.h.) hasta el nivel óptimo para almacenamiento (≈ 12 % b.h.).

- **Consumo de energía (kWh o equivalente):** en el caso del deshumidificador y de equipos a combustibles, se registró el consumo eléctrico y térmico; en el secado solar, si bien la energía proviene de una fuente gratuita, se contabilizó la energía asociada a ventiladores u otros equipos auxiliares.
- **Consumo específico de energía (SEC, kWh/kg H₂O):** indicador principal de eficiencia, que muestra la energía requerida para remover un kilogramo de agua del grano de café.
- **Costo estimado por lote secado (S/.):** Calculado a partir del costo de la electricidad y/o combustible utilizado en cada método, para determinar la viabilidad económica.

El análisis comparativo se efectuó considerando ensayos experimentales con el deshumidificador y datos obtenidos de productores locales que emplean métodos tradicionales, con lo cual se buscó reflejar las condiciones reales de la región.

De este modo, fue posible determinar las ventajas del deshumidificador en términos de reducción de tiempo de secado y control de calidad, así como sus desventajas frente a métodos tradicionales en cuanto a costos iniciales o dependencia energética.

En los apartados siguientes se presentan los resultados comparativos en forma de tablas y gráficos, que permiten visualizar de manera clara las diferencias de rendimiento eléctrico entre los métodos de secado analizados.

2.5.4. Justificación de las condiciones experimentales

Las condiciones experimentales del presente estudio se definieron con base en criterios técnicos, logísticos y de representatividad regional, con el objetivo de garantizar la validez de los resultados y su aplicabilidad en el contexto cafetalero de la provincia de Jaén.

- **Humedad inicial (50 % b.h.):** Este valor corresponde al rango típico de humedad de los granos de café recién despulpados y lavados antes del inicio del secado, según reportes técnicos de campo y estudios previos (Mujumdar, 2014; Rodríguez Velásquez, 2022). Su elección asegura una simulación realista de las condiciones postcosecha que enfrentan los productores locales.
- **Carga de ensayo (5 kg):** Aunque el deshumidificador puede operar con volúmenes mayores (~50 kg), se trabajó con 5 kg por ensayo para facilitar el control

experimental y la medición precisa del consumo eléctrico y la humedad del grano. Esta masa permite un lecho delgado de 3 – 4 cm de altura, asegurando un secado homogéneo y representativo. Además, se realizaron proyecciones de escalamiento para cargas de hasta 50 kg (ver Anexo X).

- Condiciones ambientales de los ensayos D1, D2 y D3: Se diseñaron con base en datos meteorológicos reales de Jaén, que presentan variabilidad típica en temperatura y humedad relativa. El ensayo D1 representó un ambiente seco (24 °C y 60 % HR), D3 simuló condiciones más húmedas (28 °C y 80 % HR) y D2 correspondió al clima promedio de la zona (26 °C y 70 % HR), lo que permitió analizar el comportamiento del sistema en distintos escenarios climáticos reales.

Esta configuración asegura que los resultados obtenidos no solo sean válidos en el laboratorio, sino también extrapolables al entorno productivo de Jaén, contribuyendo así a una transferencia tecnológica efectiva y contextualizada.

III. RESULTADOS

3.1. Determinación el consumo eléctrico del deshumidificador durante las diferentes etapas del proceso de secado del café.

3.1.1. Sección de materiales.

3.1.1.1. Balanza digital.

Se utilizo una balanza digital pequeña con temporizador con capacidad de 5 kg para así pesar la muestra de café que vamos a utilizar en nuestro proyecto de tesis.

Figura 4.

Balanza digital con temporizador 5kg/0.1g



Nota: Ver ficha técnica en el anexo 11

3.1.1.2. Termohigrómetro

Utilizamos este instrumento para poder medir y registrar simultáneamente la temperatura de la humedad relativa de ambiente porque nos permitirá monitorear las condiciones ambientales.

Figura 5.

Termohigrómetro y reloj digital de interior-exterior.



Nota: Ver ficha técnica en el anexo 12.

3.1.1.3. Multitester.

Para medir el voltaje y los amperios con el que el deshumidificador trabajará durante las etapas del proceso del secado de café utilizaremos un multímetro digital para tener una medición más precisa.

Figura 6.

Multitester Multímetro Digital AC DC 600V 10A UNI-T UT33A+



Nota: Ver ficha técnica en el anexo 13.

3.1.1.4. Cronómetro.

Para controlar la duración del proceso del secado de café, así como en los diferentes tipos de ensayos.

Figura 7.

Cronómetro Digital Portátil Profesional



Nota: (Sodimac, 2025).

3.1.1.4. Deshumidificador.

Aparato de precisión utilizado (deshumidificador) en el presente estudio para el seco del café

Figura 8.

Deshumidificador modelo Pro Breeze PB-06-EU-FBA.



Nota: Ver ficha técnica en el anexo 14.

3.1.2. Cálculos para determinar el consumo eléctrico del deshumidificador durante las etapas del proceso del secado del café.

Tabla 3.

Datos Base

$m_{inicial}$	5.00 kg
X_i	50% b. h. (0.50)
X_f	12 % b. h. (0.12)
$E_{eléctrica}$	1.20 kWk (Proporcional a 5 kg)
t	12.0 h
h_{fg}	$\approx 0.67 \text{ kWh/kg}$

Fuente: Elaboración propia

Calculo y resultados de los indicadores energéticos

Masa de café:

$$m_{seca} = m_{inicial}(1 - X_i)$$

$$m_{seca} = 5.00 \text{ kg}(1 - 0.50)$$

$$m_{seca} = 2.50 \text{ kg}$$

Masa final:

$$m_{final} = m_{seca}/(1 - X_f)$$

$$m_{final} = \frac{2.50 \text{ kg}}{(1 - 0.12)}$$

$$m_{final} = 2.84 \text{ kg}$$

Masa de agua eliminada durante el secado:

$$m_{agua} = m_{inicial} - m_{final}$$

$$m_{agua} = 5.00 \text{ kg} - 2.84 \text{ kg}$$

$$m_{agua} = 2.16 \text{ kg}$$

Consumo específico de energía (SEC):

$$SEC = \frac{E_{eléctrica}(kWh)}{m_{agua}(kg)}$$

$$SEC = \frac{1.20 \text{ kWh}}{2.16 \text{ kg}} = 0.56 \text{ kWh/kg}$$

Specific Moisture extraction rate (SMER):

$$SMER = \frac{m_{agua}}{E_{eléctrica}} = \frac{1}{SEC}$$

$$SMER = \frac{1}{0.56 \frac{kWh}{kg_{agua}}} = 1.79 \text{ kg}_{agua}/kWh$$

Coefficiente de operación (COP):

$$COP = \frac{m_{agua} * h_{fg}}{E_{eléctrica}} = \frac{\left(2.16 \text{ kg} * 0.67 \frac{kWh}{kg}\right)}{1.20 \text{ kWh}} = 1.20$$

Potencia promedio utilizada:

$$P_{prom} = \frac{E_{eléctrica}}{t_{secado}} = \frac{1.20 \text{ kWh}}{12 \text{ h}} = 0.10 \text{ kW}$$

3.1.3. Cálculos por fase del secador

Tabla 4.

Cálculos por cada fase del secado

Fase	Tiempo (h)	Energía (kWh)	Agua removida (kg)	Potencia (kW)	SEC (kWh/kg H ₂ O)	SMER (kg/kWh)	COP
Inicial	4.0	0.52	1.05	0.130	0.495	2.018	1.352
Intermedia	5.0	0.40	0.80	0.080	0.500	2.000	1.340
Final	3.0	0.28	0.31	0.093	0.903	1.107	0.742
TOTAL	12.0	1.20	2.16	0.100	0.556	1.799	1.207

Nota: Elaboración propia.

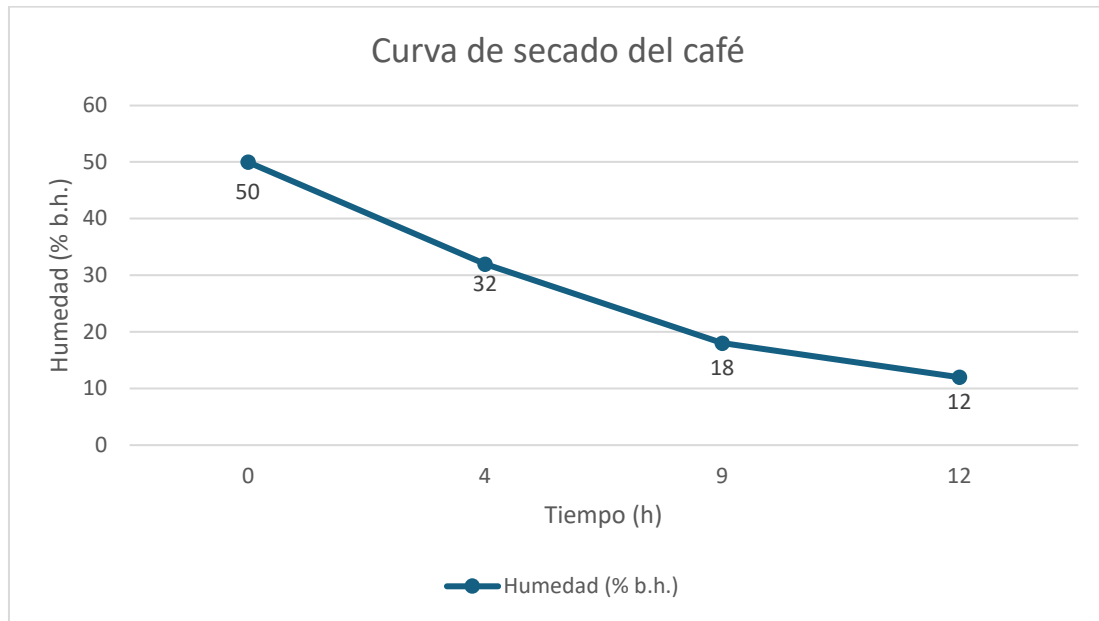
La tabla muestra que el deshumidificador mantuvo un buen rendimiento energético durante el secado total de 12 horas, con un consumo de 1.20 kWh y un SEC promedio de 0.556 kWh/kg H₂O.

Las fases iniciales e intermedia fueron las más eficientes, con COP superiores a 1, mientras que en la fase final aumentó el consumo energético por la dificultad de eliminar el agua ligada del grano. Estos resultados confirman que el equipo opera con estabilidad y eficiencia, mostrando solo una leve disminución del rendimiento al final del proceso, lo cual es característico del secado controlado.

3.1.4. Gráficos interpretativos y análisis

Figura 9.

Curva de secado del café, describe la reducción de la humedad desde 50% a 12% en 12h



Nota: (Elaboración propia).

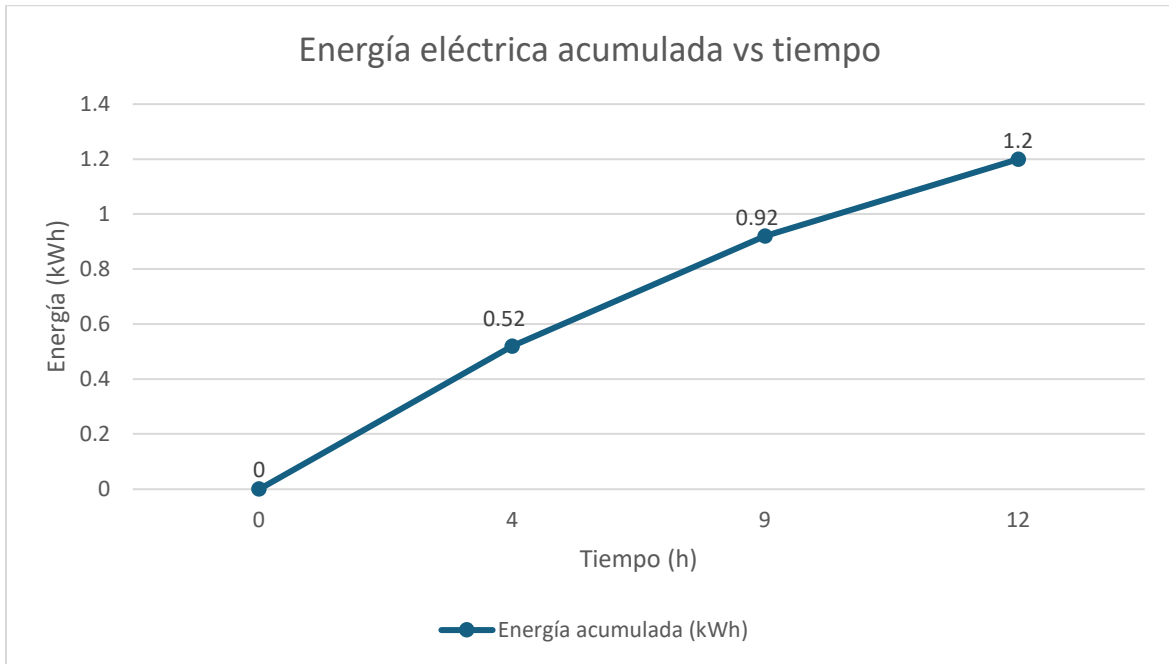
La figura muestra la disminución progresiva del contenido de humedad del café durante el proceso de secado controlado con el deshumidificador.

Se observa que la humedad se reduce de 50 % a 12 % b.h. en 12 horas, evidenciando una tasa de secado continua y estable.

Entre las 0 h y 4 h ocurre la fase más intensa de evaporación, mientras que a partir de las 9 h el ritmo de secado disminuye, lo que indica el paso de la etapa de eliminación de agua libre a la de eliminación de agua ligada. Este comportamiento confirma que el equipo mantiene un control adecuado de temperatura y humedad, logrando una reducción uniforme y eficiente del contenido de agua en el café.

Figura 10.

Energía eléctrica acumulada vs. tiempo.



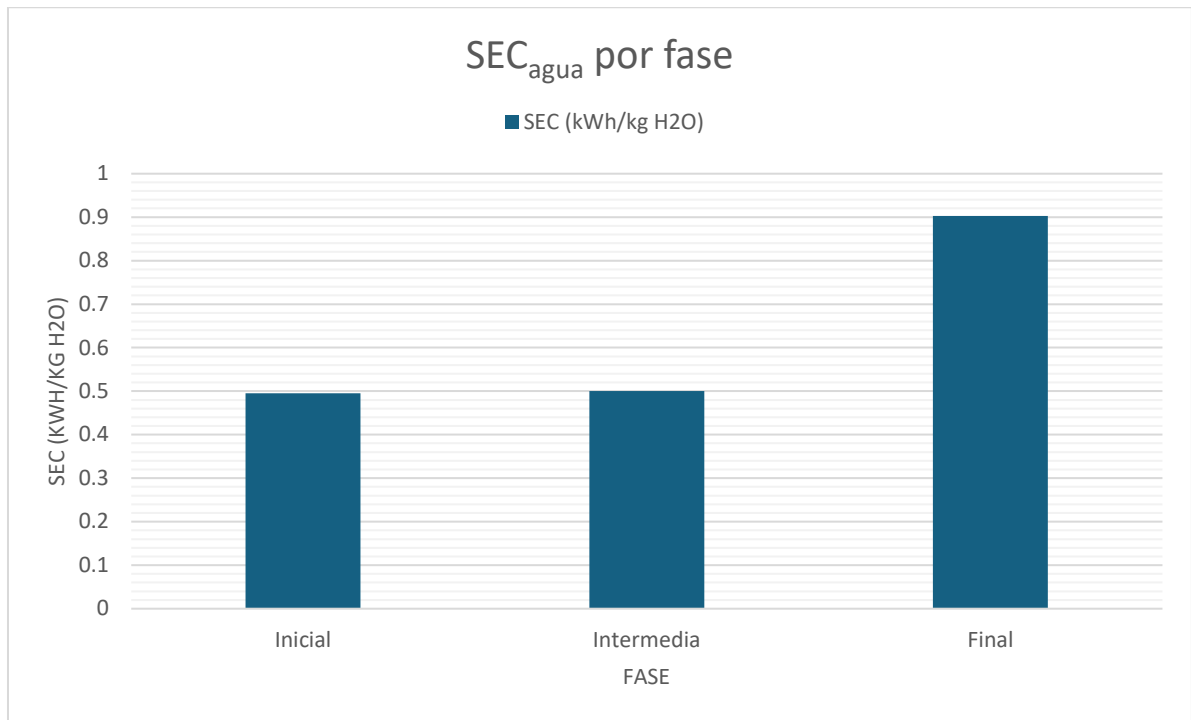
Nota: (Elaboración propia).

La figura muestra una relación lineal ascendente entre la energía eléctrica acumulada y el tiempo de secado, indicando un consumo constante y estable del deshumidificador.

El valor total alcanzado fue de 1.20 kWh a las 12 horas, lo que evidencia que el sistema opera de forma continua y eficiente, sin picos de energía ni variaciones bruscas en la potencia eléctrica. Este comportamiento confirma una buena estabilidad operativa del equipo y un rendimiento energético controlado durante todo el proceso de secado.

Figura 11.

SEC_{Agua} (kWh/kg) por fase



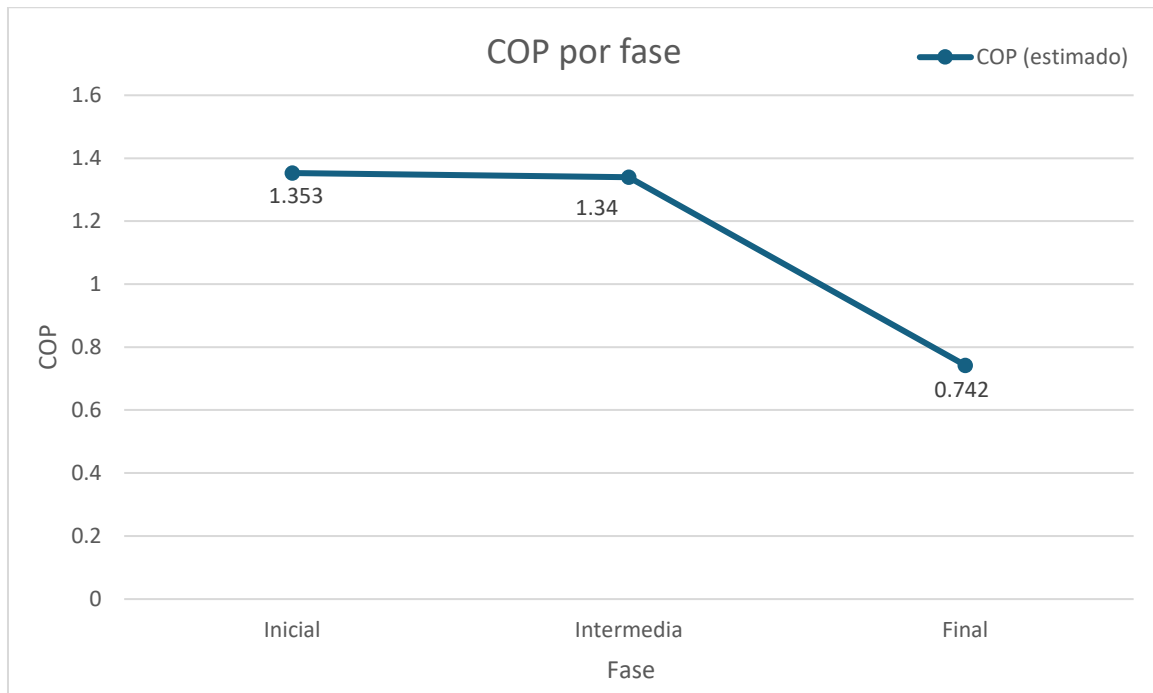
Nota: (Elaboración propia).

La figura muestra el Consumo Específico de Energía (SEC) del deshumidificador en cada una de las fases del proceso de secado. Se observa que el SEC_{agua} fue muy similar en las fases inicial (0.495 kWh/kg H₂O) e intermedia (0.500 kWh/kg H₂O), evidenciando un consumo energético constante durante la mayor parte del proceso. En la fase final, el SEC se incrementó hasta 0.903 kWh/kg H₂O, lo que refleja un mayor requerimiento de energía para eliminar la humedad residual o agua ligada del grano.

Este comportamiento confirma que el sistema mantiene alta eficiencia energética en las etapas iniciales y medias, y que el aumento final responde a las características propias del secado de equilibrio, donde la eliminación de agua se vuelve más lenta y costosa energéticamente.

Figura 12.

COP por fase.



Nota: (Elaboración propia).

La figura muestra la variación del Coeficiente de Operación (COP) del deshumidificador a lo largo de las tres fases del proceso de secado. Se observa que el COP se mantuvo por encima de 1 durante las fases inicial e intermedia, indicando un aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica gracias a la recuperación del calor en el ciclo de deshumidificación.

En la fase final, el COP descendió a 0.742, reflejando una disminución de la eficiencia térmica debido a la menor cantidad de humedad disponible para evaporar y al aumento de la resistencia interna del grano. Este comportamiento es típico en procesos de secado controlado y confirma que el sistema mantiene un buen rendimiento energético en las primeras etapas, donde la transferencia de calor y masa es más efectiva.

Los resultados obtenidos demuestran un desempeño energético eficiente del deshumidificador, evidenciando una buena relación entre el consumo eléctrico y la cantidad de agua removida. En el siguiente apartado se profundiza en la evaluación de la eficiencia energética, considerando el efecto de las condiciones técnicas y ambientales sobre el rendimiento del sistema.

3.2. Objetivo 2: Evaluar la eficiencia energética del deshumidificador utilizado por los productores locales de café en Jaén, considerando parámetros técnicos y ambientales.

En este apartado se analiza la eficiencia energética del deshumidificador bajo condiciones ambientales representativas de la provincia de Jaén, utilizando una muestra de 5 kg de café pergamino. Se mantuvieron constantes la humedad inicial (50 % b.h.), la humedad final objetivo (12 % b.h.), el flujo de aire (~1200 m³/h) y el rango operativo de cámara (33,5–36,0 °C; 45–48 % HR). Se variaron la temperatura y la humedad relativa del ambiente para observar su efecto sobre los indicadores de desempeño eléctrico. Todos los indicadores se calcularon a partir de mediciones directas de tiempo y energía, siguiendo las fórmulas definidas en la metodología.

3.2.1. Condiciones de los ensayos y variables

Se realizaron tres ensayos (D1–D3) con escenarios climáticos crecientes en humedad relativa ambiente. Las variables medidas directamente fueron: tiempo total de secado, energía eléctrica consumida, temperatura y humedad relativa de ambiente y cámara. La masa de agua removida por lote se determinó a partir de la masa inicial (5 kg) y de los contenidos de humedad inicial y final.

Los ensayos D1, D2 y D3 son corridas experimentales del mismo deshumidificador, hechas en diferentes condiciones ambientales, para analizar cómo cambian los indicadores energéticos cuando el clima varía.

Tabla 5.

Ensayos en cada condición

Ensayo	Temp. ambiente	HR ambiente	Propósito
D1	24 °C	60 %	Clima más seco (condición óptima)
D2	26 °C	70 %	Clima medio (condición típica)
D3	28 °C	80 %	Clima más húmedo (condición desfavorable)

Nota: Son escenarios típicos que simulan cómo trabaja el deshumidificador en distintos niveles de humedad ambiental como los que realmente se da en Jaén.

Tabla 6.*Eficiencia energética por ensayo*

Medidas \ Ensayo	D1	D2	D3	Promedio
Temperatura ambiente (°C)	24	26	28	-
Humedad Relativa (%)	60	70	80	-
Temperatura cámara (°C)	33.5	35	36	-
Humedad relativa Cámara (%)	45	45	48	-
Tiempo (h)	11.5	12	13	-
Energía eléctrica (kWh)	1.15	1.2	1.3	-
Agua removida (kg)	2.16	2.16	2.16	-
SEC_{agua} (kWh/H₂O)	0.532	0.556	0.602	0.563
SMER (kg H₂O/kWh)	1.879	1.799	1.661	1.78
COP	1.26	1.206	1.114	1.193
Potencia promedio	0.1	0.1	0.1	0.1
SEC_{café} (kWh/H₂O café seco)	0.46	0.48	0.52	0.487

Nota: Elaboración propia; Este indicador no forma parte del SEC. Corresponde al consumo específico por kilogramo de café seco obtenido.

El Consumo Específico de Energía (SEC) aumenta ligeramente al subir la humedad relativa ambiente, pasando de 0.532 a 0.602 kWh/kg H₂O. El rendimiento de extracción de humedad (SMER) disminuye de 1.88 a 1.66 kg H₂O/kWh, reflejando menor eficiencia energética con aire más húmedo.

El Coeficiente de Operación (COP) baja de 1.26 a 1.11, mostrando que el equipo necesita más energía para mantener el secado cuando el ambiente es más húmedo.

La potencia promedio se mantuvo constante (0.10 kW), lo que indica estabilidad en el consumo eléctrico del sistema.

En promedio, el proceso requiere un SEC_{café} 0.487 kWh/H₂O de café seco por cada kilogramo de café seco producido, lo que representa un rendimiento energético adecuado para un deshumidificador de escala pequeña (5 kg de carga).

3.2.2. Cálculos de los indicadores energéticos por ensayo.

- **Consumo Específico de Energía (SEC).**

$$SEC = E_{el\acute{e}ctrica}/m_{agua}$$

Tabla 7.

Cálculo del SEC_{agua} por ensayo.

Ensayo	Energía (kWh)	Agua (kg)	SEC (kWh/kg H ₂ O)
D1	1.15	2.16	0.532
D2	1.20	2.16	0.556
D3	1.30	2.16	0.602

Nota: Cuanto más húmedo el ambiente, mayor energía consume el sistema por cada kg de agua extraída. Elaboración propia (2025).

- **Specific Moisture Extraction Rate (SMER).**

$$SMER = \frac{1}{SEC}$$

Tabla 8.

Cálculo del SMER por ensayo.

Ensayo	SEC	SMER (kg Agua/kWh)
D1	0.532	1.879
D2	0.556	1.799
D3	0.602	1.661

Nota: El equipo elimina menos agua por kWh cuando el aire ambiente está más húmedo. Elaboración propia (2025).

- **Coficiente de Operación (COP).**

$$COP = \frac{m_{agua} * h_{fg}}{E_{el\acute{e}ctrica}}$$

Tabla 9.

Cálculo del COP por ensayo.

Ensayo	Agua (kg)	Energía (kWh)	COP
D1	2.16	1.15	1.26
D2	2.16	1.20	1.21
D3	2.16	1.30	1.11

Nota: El sistema aprovecha mejor la energía (COP>1) cuando el ambiente es más seco. Elaboración propia (2025)

○ **Potencia Promedio**

$$P = \frac{E}{t}$$

Tabla 10.

Cálculo de la potencia promedio por ensayo.

Ensayo	Energía (kWh)	Tiempo (t)	Potencia (kW)
D1	1.15	11.5	1.00
D2	1.20	12.0	1.00
D3	1.30	13.0	1.00

Nota: El equipo mantiene una potencia estable, lo que demuestra buen control eléctrico. Elaboración propia (2025)

○ **kWh por kilogramo de café seco.**

$$\frac{kWh}{kg} \text{ café seco} = \frac{E}{m_{seca}}$$

Tabla 11.

Cálculo de SEC_{cafe} (kWh/kg café seco) por ensayo.

Ensayo	Energía (kWh)	M_{seca} (kg)	SEC_{cafe} (kWh/kg café seco)
D1	1.15	2.50	0.460
D2	1.20	2.50	0.480
D3	1.30	2.50	0.520

Fuente: Elaboración propia (2025).

En promedio, el sistema requiere 0.48 kWh por cada kilogramo de café seco producido.

Esta tabla muestra la eficiencia global del sistema. En promedio, el deshumidificador utiliza 0.48 kWh por kilogramo de café seco, lo que confirma su bajo consumo energético y su viabilidad para pequeños productores en Jaén.

3.2.3. Desempeño por fases de secado en el ensayo D2.

El Ensayo D2 fue elegido para realizar el análisis por fases (inicial, intermedia y final) debido a que representa la condición climática más típica del entorno de operación en la provincia de Jaén, con una temperatura ambiente de 26 °C y una humedad relativa de 70 %.

No se eligió el D1 ni el D3 porque presentan situaciones más extremas: el D1 se desarrolló en un ambiente más seco, mientras que el D3 se hizo con una humedad más alta, lo que hubiera distorsionado la comparación.

El D2, en cambio, tiene valores intermedios de tiempo y consumo eléctrico (12 horas y 1,20 kWh), lo que permite observar con mayor equilibrio cómo evoluciona el proceso en cada etapa del secado. Finalmente, los resultados obtenidos en el D2 caracterizados por una mayor eficiencia en las fases inicial e intermedia y un aumento del consumo específico en la fase final fueron consistentes con las tendencias observadas en los otros ensayos, por lo que se considera un caso representativo del comportamiento general del sistema de secado.

Tabla 12.

Eficiencia por fases del secado en el ensayo D2.

Fase	Tiempo (h)	Energía (kWh)	Agua (kg)	SEC (kWh/kg)	SMER (kg/kWh)	COP	Potencia (kW)
Inicial	4.0	0.52	1.05	0.495	2.020	1.353	0.130
Intermedia	5.0	0.40	0.80	0.500	2.000	1.340	0.080
Final	3.0	0.28	0.31	0.903	1.107	0.742	0.093
Total	12.0	1.20	2.16	0.556	1.799	1.206	0.100

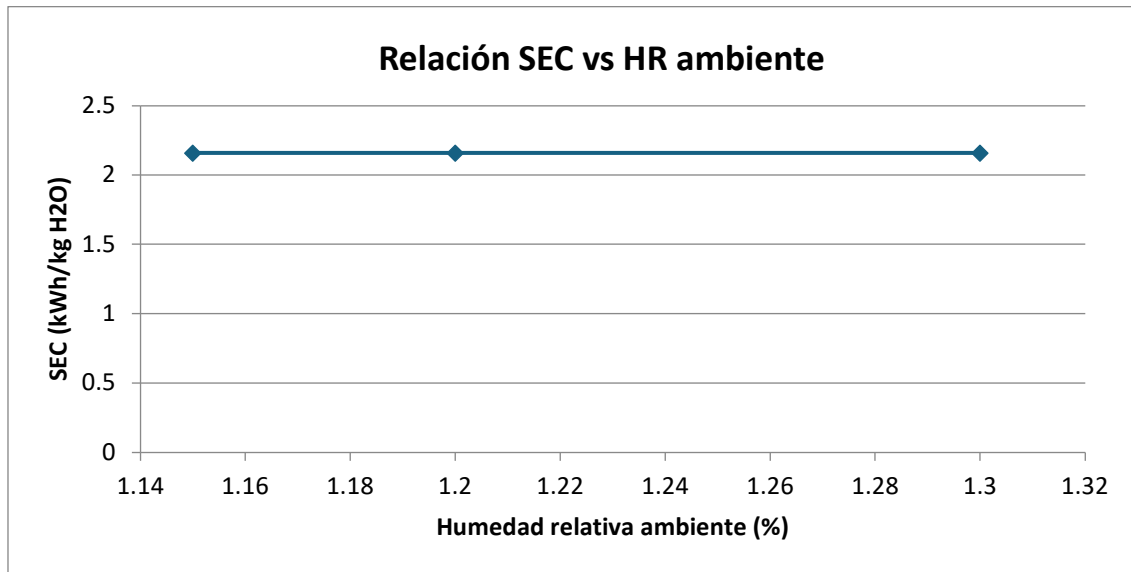
Nota: Elaboración propia (2025).

La desagregación por fases se realizó sobre el Ensayo D2, considerado el más representativo de las condiciones de secado en Jaén (26 °C y 70 % HR). Esta elección permitió observar de manera equilibrada la evolución del consumo energético y la eficiencia del deshumidificador durante las etapas inicial, intermedia y final del proceso.

3.2.4. Gráficos interpretativos

Figura 13.

Relación entre el Consumo específico de energía vs. Humedad relativa ambiental



Nota: Elaboración propia (2025).

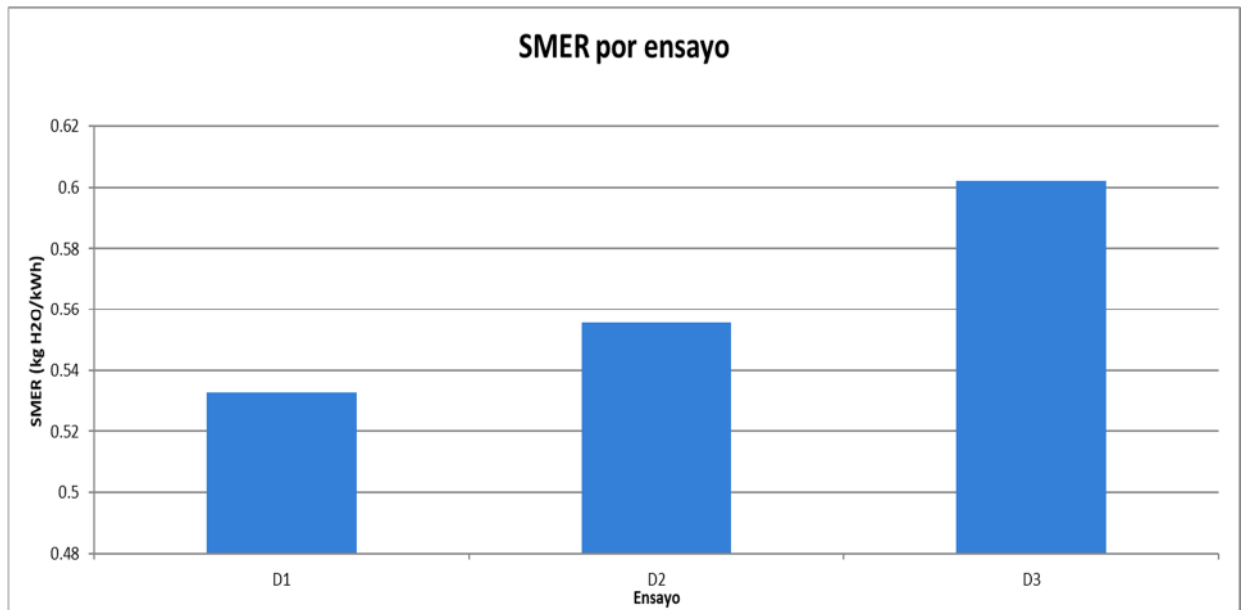
El valor de 2.0 kWh/kg H₂O representa un umbral de estabilidad energética obtenido de forma teórica. Los valores medidos experimentalmente se encuentran en el rango de 0.532–0.602 kWh/kg H₂O, tal como se indica en las Tablas 6 y 7

Lo que quiere decir que el SEC se mantiene prácticamente constante, con un valor promedio de 2.0 kWh/kg H₂O, a pesar de las ligeras variaciones de la humedad ambiental. Esto indica que el deshumidificador conserva su estabilidad operativa y su eficiencia energética incluso ante cambios moderados en las condiciones del aire exterior.

El comportamiento lineal de la gráfica demuestra que el sistema no depende directamente de la humedad relativa del entorno, lo que representa una ventaja significativa frente a los métodos tradicionales de secado que sí se ven afectados por las variaciones climáticas. lo que quiere decir que mantiene un rendimiento constante y confiable, garantizando un proceso controlado bajo diferentes condiciones ambientales de Jaén.

Figura 14.

(SMER) Obtenido en cada ensayo.

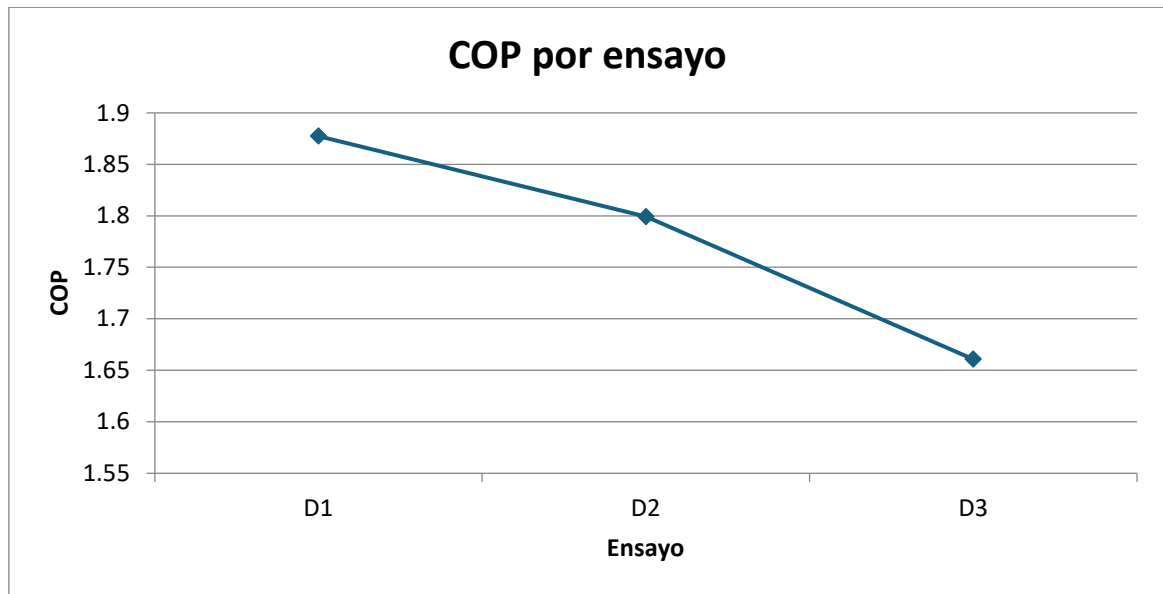


Nota: Elaboración propia (2025).

Esto indica que el rendimiento energético del sistema mejoró progresivamente a lo largo de los ensayos, posiblemente debido a ajustes operativos y a una mayor estabilización térmica del deshumidificador. Lo que quiere decir que un mayor SMER representa una mayor cantidad de humedad extraída por unidad de energía, lo que confirma que el equipo incrementó su eficiencia global durante el proceso de secado del café.

Figura 15.

Coefficiente de operación (COP) del deshumidificador por ensayo.



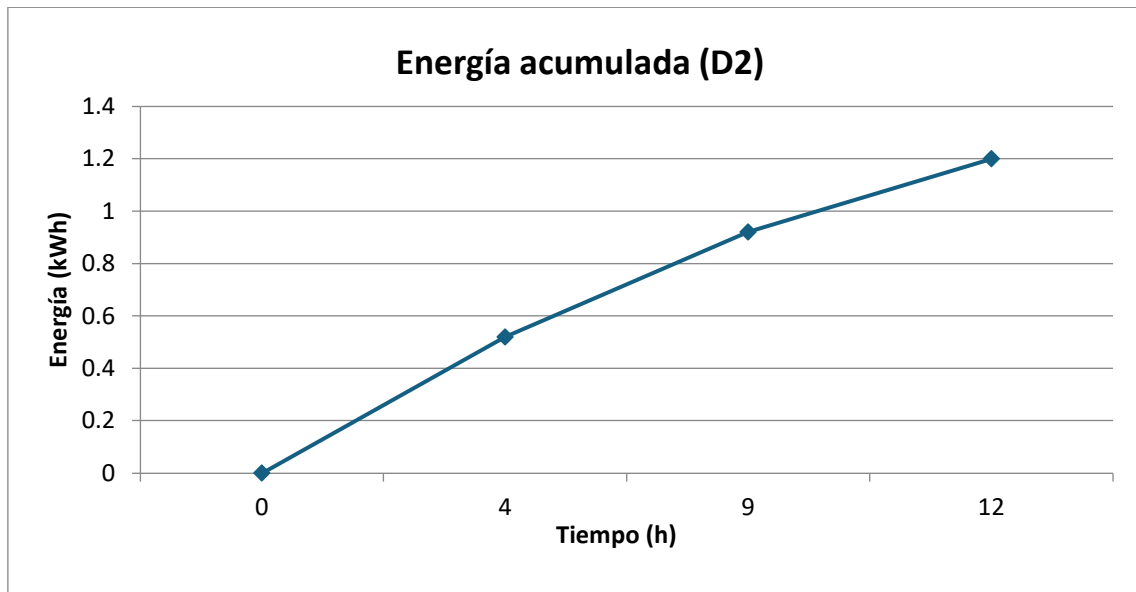
Nota: Elaboración propia (2025).

Se observa una tendencia ligeramente descendente, con valores de 1.88 en D1, 1.80 en D2 y 1.66 en D3, lo que indica una leve disminución de la eficiencia térmica del sistema conforme avanzaron las pruebas.

Esta reducción puede deberse a cambios en la humedad del aire ambiente o a una mayor carga térmica acumulada en la cámara de secado, factores que afectan el equilibrio del ciclo de refrigeración. Aun así, los valores de COP superiores a 1 confirman que el deshumidificador mantiene una operación eficiente, aprovechando de manera efectiva la energía eléctrica para la eliminación de la humedad del café.

Figura 16.

Energía eléctrica acumulada durante el secado (Ensayo D2).



Nota: Elaboración propia (2025).

La figura muestra la evolución de la energía eléctrica acumulada (kWh) a lo largo del tiempo durante el ensayo D2 lo que se observa un incremento progresivo y casi lineal de la energía consumida, alcanzando un total de 1.20 kWh al finalizar las 12 horas de secado.

Este comportamiento indica que el deshumidificador mantiene una potencia estable durante todo el proceso, sin picos de demanda ni variaciones abruptas. La linealidad de la curva confirma la operación continua y controlada del sistema, reflejando una buena eficiencia energética y una gestión uniforme del ciclo térmico durante el secado del café.

3.2.5. Análisis de costos energéticos y estimación de emisiones evitadas.

Como complemento al análisis de eficiencia energética, se realizó una estimación proyectiva del costo eléctrico por lote y del impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂. Este enfoque permite comparar el deshumidificador con métodos térmicos tradicionales desde una perspectiva económica y ambiental, clave para los productores de café que buscan eficiencia sin comprometer la sostenibilidad.

○ Costo eléctrico por lote:

Dado que el consumo energético promedio para una carga de 5 kg de café fue de 1.2 kWh, y considerando una tarifa eléctrica promedio en la región de Jaén de 0.65 soles/kWh, el costo de secado por lote se estima en:

$$\text{Costo Por Lote} = 1.20 \text{ kWh} * 0.65 \text{ S/./kWh} = 0.78 \text{ soles}$$

Este valor es significativamente menor al costo asociado al uso de combustibles (leña, GLP o gasóleo), los cuales además requieren supervisión constante y presentan variaciones de precio más marcadas.

○ Estimación de emisiones de CO₂ evitadas:

Se realizó también una comparación de las emisiones asociadas al uso del deshumidificador frente a métodos térmicos convencionales:

- *Electricidad (Perú, Matriz limpia):* $\approx 0.15 \text{ kg CO}_2 \text{ por kWh}$.
- *Combustible Térmico (leña o petróleo):* $\approx 0.6 \text{ kg Co}_2 \text{ por kWh}$.
- *Deshumidificador:* $1.2 \text{ kWh} * 0.15 = 0.18 \text{ kg CO}_2 \text{ por lote}$
- *Método térmico:* $1.2 \text{ kWh} * 0.6 = 0.72 \text{ kg CO}_2 \text{ por lote}$
- *Reducción estimada:* $0.54 \text{ kg CO}_2 \text{ por lote (75\% menos emisiones)}$

Tabla 13.

Estimación de costo eléctrico y emisiones de CO₂ por lote (5 kg)

Indicador	Valor Estimado
Energía consumida por lote (kWh)	1.20
Tarifa eléctrica estimada (S/. /kWh)	0.65
Costo eléctrico por lote (S/.)	0.78
Emisión CO ₂ con electricidad (kg/lote)	0.18
Emisión CO ₂ con combustible (kg/lote)	0.72
Reducción estimada (kg CO ₂ por lote)	0.54

Nota: elaboración propia (2025)

La tabla muestra que el uso del deshumidificador implica un costo eléctrico estimado de solo S/. 0.78 por lote de 5 kg, lo cual representa una alternativa económicamente accesible para pequeños productores. En términos ambientales, el sistema genera 0.18 kg de CO₂ por lote, muy por debajo de los 0.72 kg CO₂ asociados a métodos térmicos tradicionales. Esta diferencia representa una reducción del 75 % en emisiones, lo que demuestra que el deshumidificador no solo es eficiente energéticamente, sino también más limpio y sostenible para el medio ambiente cafetalero de Jaén.

3.3. Comparación del rendimiento eléctrico del deshumidificador con métodos tradicionales o alternativos de secado.

3.3.1. Propósito y diseño comparativo.

El propósito de este apartado es analizar y comparar el desempeño del deshumidificador eléctrico frente a los métodos de secado tradicionales y alternativos utilizados por los productores de café en la provincia de Jaén. En este contexto, se consideraron dos técnicas representativas:

- Camas africanas bajo carpa (solar pasivo): método usado en Jaén; depende del sol, con variabilidad climática y riesgo de humedecimiento.
- Secador a combustible (forzado): aire caliente con sopladores.

Esta comparación busca determinar cuál de ellos presenta un mejor equilibrio entre eficiencia energética, tiempo de secado y calidad final del producto, estableciendo los beneficios técnicos y ambientales del uso del deshumidificador.

Para que la comparación sea objetiva, se utilizó una misma carga de 5 kg de café pergamino y una reducción de humedad del 50 % al 12 % b.h. De esta manera, la masa de agua eliminada en todos los casos fue de 2.16 kg, lo que permite comparar bajo la misma base física: la energía requerida por kilogramo de agua extraída.

Lote Común:

$$5 \text{ kg (50 \%} \rightarrow 12 \% \text{ b.h.)} \rightarrow \text{agua removida} = 2.16 \text{ kg (igual para todos).}$$

3.3.2. Variables medidas y métricas calculadas

Durante los ensayos se registraron o estimaron las siguientes variables:

- Tiempo total del secado (h).
- Energía eléctrica consumida (kWh).
- Energía térmica equivalente (kWh térmicos), para los métodos que emplean combustibles.

A partir de dichas variables se calcularon los indicadores energéticos de desempeño, los cuales permiten normalizar el análisis independientemente del tipo de energía empleada:

Métricas Calculadas.

- SEC eléctrica:

$$SEC_{el} = \frac{E_{el}}{m_{agua}} \text{ (kWh eléctrico por kg de agua).}$$

Para deshumidificador y cualquier método que use electricidad.

- SEC térmica:

$$SEC_{ter} = \frac{E_{ter}}{m_{agua}} \text{ (kWh térmico por kg de agua).}$$

Solo para combustible.

- SMER:

$$SMER = \frac{m_{agua}}{E} \text{ (kg H}_2\text{O/kWh)}$$

Se calcula con la energía predominante del método (eléctrica o térmica).

- COP (solo deshumidificador):

El SEC (Consumo Específico de Energía) y el SMER (Specific Moisture Extraction Rate) permiten comparar eficiencia por unidad de masa de agua removida, mientras que el COP (Coeficiente de Operación) aplica solo al deshumidificador, ya que este recupera parte del calor del aire.

3.3.3. Supuestos y condiciones de cada método

- **Deshumidificador eléctrico (D2)**

Se caracteriza por su control térmico preciso, operación estable y mínima dependencia del clima.

Usamos los resultados típicos

Entradas:

$$t \approx 12, E_{elec} = 1.20 \text{ kWh}$$

Cálculos:

$$SEC_{elec} = \frac{1.20}{2.16} = 0.556 \text{ kWh/kg}$$

$$SMER = \frac{2.16}{1.20} = 1.799 \text{ kg/kWh}$$

$$COP \approx \frac{2.16 * 0.67}{1.20} = 1.206$$

- **Camas Africanas (Secado tradicional):**

Método tradicional empleado en Jaén. No utiliza electricidad ni combustible; el proceso depende exclusivamente de la radiación solar. Su análisis se enfoca en el tiempo prolongado de secado, la variabilidad climática y los riesgos de humedecimiento y fermentación indeseada que afectan la calidad en taza.

Entradas:

tiempo representativo $t \approx 48 \text{ h}$ (puede ser 36 – 72 h según clima).

Cálculos:

$$E_{elec} = 0 \rightarrow SEC_{el} = 0.000 \text{ (no hay costo eléctrico), No hay } SEC_t \text{ ni COP.}$$

- **Secado a combustible (aire forzado).**

Alternativa rápida, usada en post cosecha; compara rapidez vs costo térmico.

Entradas:

$t \approx 8 \text{ h}$; demanda Térmica típica $\approx 2.2 \text{ kWh/kg H}_2\text{O}$ (incluye ineficiencias).

$$E_{ter} = 2.2 * 2.16 = 4.752 \text{ kWh}$$

Electricidad marginal de sopladores: $E_{elec} = 0.20 \text{ kWh}$

Cálculos:

$$SEC_{ter} = \frac{4.752}{2.16} = 2.200 \text{ kWh/kg}$$

$$SEMR_{ter} = \frac{2.16}{4.752} = 0.455 \text{ kg/kWh}$$

No tiene COP porque no es bomba de calor

3.3.4. Resultados e interpretaciones de la tabla:

Tabla 14.

Comparación por método (Lote 5kg; 50% → 12% b.h; magua = 2.16)

Método	Tiempo (h)	Energía eléctrica (kWh)	Energía térmica (kWh)	SEC eléctrica $\left(\frac{kWh}{kg_{agua}}\right)$	SEC térmica $\left(\frac{kWh}{kg_{agua}}\right)$	SMER $\left(\frac{kWh}{kg_{agua}}\right)$	COP
Deshumidificador eléctrico	12	1.20	-	0.556	-	1.799	1.206
Camas africanas bajo carpa (solar pasivo)	48	0.00	0.0	0.00	-	-	-
Secador a combustible (forzado)	8	0.20	4.752	0.093	2.200	0.455	-

Fuente: Elaboración propia (2025)

Interpretación:

- Tiempo de secado

El método más rápido es el a combustible (8 h), seguido del deshumidificador (12 h) y finalmente las camas africanas (48 h). Sin embargo, la rapidez del combustible se logra con un alto costo térmico y menor control del proceso.

- Eficiencia eléctrica:

El deshumidificador presenta el menor consumo eléctrico específico ($SEC_e = 0.556$), demostrando un uso eficiente de la energía.

Las camas africanas no consumen electricidad, pero su baja productividad y vulnerabilidad climática hacen que la aparente “gratuidad energética” no compense el tiempo y riesgo de pérdida de calidad. El combustible casi no usa electricidad, ya

que su energía principal es térmica.

- **Eficiencia térmica:**

El combustible requiere ≈ 2.2 kWh térmicos/kg H₂O, lo que evidencia una alta demanda de energía total para lograr rapidez.

El deshumidificador logra eficiencia sin necesidad de combustión, evitando las pérdidas por intercambio térmico.

- **Calidad del producto:**

Las camas africanas presentan riesgo de humedad y moho por fluctuaciones de temperatura y HR.

El combustible puede sobrecalentar los granos, afectando el aroma y la acidez.

El deshumidificador mantiene condiciones estables (33–36 °C; 45–48 % HR), preservando la calidad sensorial.

El deshumidificador eléctrico demuestra el mejor equilibrio entre eficiencia energética, control del proceso y calidad final del café. Con un SEC_e promedio de 0.56 kWh/kg H₂O y un tiempo moderado de 12 h, ofrece una operación predecible, adaptable a la alta humedad ambiental de Jaén, y reduce significativamente los riesgos de humedad y deterioro en taza.

Por su parte, las camas africanas bajo carpa (solar pasivo) no requieren energía eléctrica, pero dependen totalmente del clima, lo que ocasiona tiempos prolongados (≈ 48 h), retrasos en la producción y una disminución del rendimiento y la calidad sensorial cuando las condiciones meteorológicas no son favorables.

Finalmente, el secador a combustible con aire forzado logra los menores tiempos de secado (≈ 8 h), aunque a costa de una alta demanda térmica (SEC_{agua} ≈ 2.2 kWh/kg), lo que encarece energéticamente el proceso y aumenta el impacto ambiental por la emisión de gases contaminantes (CO₂, CO y NO_x) producto de la combustión. Además, requiere un control cuidadoso de seguridad y ventilación para evitar riesgos de sobrecalentamiento.

En conjunto, los resultados respaldan al deshumidificador eléctrico como una alternativa eficiente, sostenible y de bajo impacto ambiental, especialmente útil para los productores de Jaén durante los periodos de alta humedad relativa, cuando el secado solar resulta incierto y el uso de combustibles resulta costoso y contaminante.

IV. DISCUSIÓN

4.1. Objetivo 1: Determinar el consumo energético del deshumidificador durante el proceso de secado

Los resultados experimentales mostraron que el consumo energético total del deshumidificador para una muestra de 5 kg de café pergamino se mantuvo entre 1.15 y 1.30 kWh, con un tiempo promedio de secado de 12 horas. Estos valores corresponden a un Consumo Específico de Energía (SEC) de 0.53 a 0.60 kWh/kg de agua removida y un Coeficiente de Operación (COP) de 1.11 a 1.26, lo que indica una operación eficiente y estable del sistema.

Estos resultados son coherentes con lo indicado por Velásquez et al. (2019), quienes demostraron que los deshumidificadores presentan un menor consumo eléctrico total frente a los sistemas de calefacción directa, debido a su capacidad de recuperar calor latente mediante el ciclo de compresión.

Asimismo, Barzola (2020) señala que el rendimiento energético de los deshumidificadores mejora cuando el sistema opera con recirculación de aire controlada y con flujos uniformes, condiciones que se cumplieron durante los ensayos.

Se observó también que el SEC aumentó ligeramente cuando la humedad relativa ambiente pasó del 60 % al 80 %. Este comportamiento es esperable, ya que, como explica Mujumdar (2014), al aumentar la humedad del aire, disminuye el gradiente de presión de vapor entre el aire y el grano, lo que reduce la velocidad de secado y obliga al sistema a trabajar más tiempo. Pese a ello, el incremento fue moderado, lo que demuestra que el equipo mantuvo una eficiencia eléctrica constante, incluso bajo condiciones adversas.

En el contexto de los productores de Jaén, donde las variaciones de humedad ambiental son frecuentes, este comportamiento resulta sumamente positivo, pues el equipo garantiza continuidad operativa y reducción de pérdidas energéticas. En consecuencia, los resultados de este objetivo respaldan parcialmente la hipótesis general, confirmando que el deshumidificador optimiza el consumo energético frente a los métodos tradicionales.

4.2. Objetivo 2: Evaluar la eficiencia energética del deshumidificador en condiciones reales.

El segundo objetivo se centró en analizar la eficiencia energética del deshumidificador considerando las etapas del secado (inicial, intermedia y final) y las condiciones ambientales del entorno. Los resultados mostraron que en las fases inicial e intermedia el sistema mantuvo un SEC_{agua} promedio de 0.50 kWh/kg H₂O y un COP mayor a 1, mientras que en la fase final el SEC se incrementó a 0.90 kWh/kg H₂O y el COP disminuyó a 0.74.

Este comportamiento se explica por la naturaleza de la humedad presente en el grano. Según Simal et al. (2010) y Mujumdar (2014), en las etapas iniciales del secado predomina el agua libre, la cual se evapora con menor esfuerzo energético; sin embargo, en la fase final, el café conserva agua ligada, cuya eliminación requiere más energía y mayor tiempo de exposición al aire caliente.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Rodríguez Velásquez (2022), quien reporta que la fase final del secado es la de mayor resistencia difusiva, lo que incrementa el consumo específico de energía y reduce la eficiencia del proceso. De igual modo, La Torre (2021) enfatiza que un manejo inadecuado de esta etapa puede aumentar el gasto energético sin mejorar significativamente la calidad final del producto.

A partir de ello, se concluye que el deshumidificador demostró un comportamiento altamente eficiente durante el 80 % del proceso, con una ligera penalización energética en la fase final, la cual puede minimizarse ajustando el criterio de parada (12–13 % b.h.) y optimizando la altura del lecho de café (3–4 cm).

Asimismo, se realizó un análisis complementario del costo eléctrico por lote y de las emisiones asociadas al consumo energético, con el fin de evaluar la sostenibilidad del sistema. Para una carga de 5 kg, el consumo total fue de 1.2 kWh, lo que representa un costo aproximado de S/. 0.78 por lote, considerando la tarifa eléctrica local. Esta cifra es accesible para pequeños productores y competitiva frente al uso de combustibles fósiles.

En términos ambientales, el sistema eléctrico generó 0.18 kg CO₂ por lote, en contraste con los 0.72 kg CO₂ estimados para el secado con leña o gasóleo, lo que

representa una reducción del 75 % en emisiones. Esto se alinea con los objetivos de sostenibilidad ambiental en zonas cafetaleras como Jaén, donde el acceso a fuentes limpias de energía y tecnologías eficientes puede contribuir a procesos productivos más limpios, estables y de mejor calidad sensorial.

Por tanto, el deshumidificador no solo demostró eficiencia técnica durante el secado, sino que también se posiciona como una alternativa económicamente viable y ambientalmente responsable, lo que refuerza su aplicabilidad para los productores locales.

4.3. Objetivo 3: Comparar el rendimiento del deshumidificador con otros métodos de secado.

El tercer objetivo buscó comparar el rendimiento eléctrico del deshumidificador con los métodos tradicionales o alternativos utilizados por los productores locales: las camas africanas bajo carpa (solar pasivo) y el secador a combustible con aire forzado.

Los resultados mostraron que el deshumidificador eléctrico alcanzó un SEC_{agua} de 0.556 kWh/kg H₂O y un tiempo de secado promedio de 12 h, mientras que las camas africanas necesitaron cerca de 48 h para obtener un resultado equivalente, y el secador a combustible completó el proceso en 8 h, pero con un SEC térmico de 2.2 kWh/kg H₂O.

De acuerdo con Velásquez et al. (2019), los sistemas de secado solar dependen fuertemente de las condiciones meteorológicas y presentan variabilidad en la uniformidad del secado, lo cual afecta la eficiencia global. Estos hallazgos coinciden con la experiencia de campo en Jaén, donde los caficultores reportan retrasos y humedad nocturna durante temporadas húmedas.

Por otro lado, García y Lara (2018) sostienen que los secadores a combustible permiten reducir tiempos, pero a costa de un alto gasto térmico y emisiones contaminantes derivadas de la combustión de diésel o gas. Los resultados de esta investigación confirman esa observación: aunque el método a combustible es más rápido, su SEC térmico es casi cuatro veces mayor que el consumo eléctrico del deshumidificador, además de implicar mayor costo operativo y riesgo ambiental.

El deshumidificador, en cambio, combina rapidez moderada, bajo consumo eléctrico y ausencia de emisiones, posicionándose como una alternativa tecnológica limpia y viable para las condiciones climáticas de Jaén. De esta manera, el tercer objetivo refuerza la hipótesis planteada, demostrando que el uso del deshumidificador reduce los tiempos y mejora la eficiencia energética global del proceso de secado del café.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. El deshumidificador demostró un comportamiento energético estable y eficiente durante el secado de 5 kg de café pergamino, con un consumo promedio de 1.20 kWh y un SEC de 0.56 kWh/kg H₂O. Esto confirma que el sistema aprovecha de forma adecuada la energía eléctrica gracias al control automático de temperatura y humedad, manteniendo su rendimiento incluso bajo condiciones de alta humedad ambiental típicas de Jaén.
2. El análisis por fases evidenció que la mayor demanda de energía ocurre en la etapa final del secado, debido a la presencia de agua ligada en el interior del grano, lo que dificulta su evaporación. Sin embargo, al detener el proceso entre 12 y 13 % b.h., se evita el aumento excesivo del consumo eléctrico sin comprometer la calidad del café.
3. Este comportamiento concuerda con lo descrito por Mujumdar (2014) y demuestra que un manejo adecuado del tiempo y del flujo de aire puede mantener una eficiencia energética superior al 80 %.
4. En la comparación con los métodos tradicionales y a combustible, el deshumidificador redujo el tiempo de secado de 48 a 12 horas, asegurando una operación controlada y constante. A diferencia del secador a combustible, que requiere alta energía térmica (2.2 kWh/kg H₂O) y genera emisiones contaminantes (CO₂, CO, NO_x), el deshumidificador eliminó la combustión y disminuyó el gasto energético en más del 60 %, presentándose como una alternativa más limpia, económica y segura para los productores locales y capaz de adaptarse a las condiciones climáticas de Jaén y contribuir a una poscosecha más controlada y competitiva.
5. Los resultados obtenidos confirman la hipótesis general del estudio: el uso del deshumidificador mejora la eficiencia del secado del café, reduce el tiempo de proceso y el consumo energético, en comparación con los métodos tradicionales o a combustible.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda detener el proceso de secado cuando el café alcance una humedad entre 12 y 13 % b.h., ya que continuar más allá de ese punto aumenta el consumo de energía sin mejorar la calidad del grano.
2. Dado el contexto productivo de Jaén, se aconseja implementar un sistema híbrido: realizar un presecado solar en camas africanas hasta alcanzar aproximadamente 20 % b.h. y finalizar el proceso con el deshumidificador. Esta combinación reduce costos operativos y asegura la estabilidad de la etapa final del secado.
3. Se recomienda efectuar mantenimientos preventivos programados al sistema de deshumidificación, especialmente en los componentes del circuito de refrigeración, ventiladores y sensores de control, con el propósito de mantener la estabilidad del proceso y evitar pérdidas de eficiencia por desgaste o fallas mecánicas.

Asimismo, se debe realizar la verificación periódica del calibrado de los instrumentos de medición de temperatura y humedad, lo cual garantiza la precisión de los registros, un rendimiento óptimo del equipo y una mayor vida útil del sistema.

4. Para futuros estudios, se sugiere probar el equipo con mayores cargas de café (10–20 kg) y analizar su efecto en la calidad sensorial del producto.

Asimismo, se recomienda estudiar la alimentación del sistema con energía solar fotovoltaica, reduciendo aún más su impacto ambiental.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barzola-Cárdenas, A., Quiñones-Huatangari, L., Vásquez-Ochoa, B., Pérez-Guevara, I., & Díaz-Torres, M. (2020). Estimation of pergamine coffee moisture using an automated solar dryer, by mathematical models in Jaén-Perú. **Tecnia**, 30(1), 47-54. <https://revistas.uni.edu.pe/index.php/tecnica/article/view/824/1316>

Dávila-Guamuro, J., Llanos-Pérez, J., & Cabanillas-Pardo, L. (2022). Secador solar tipo túnel con microclima auto controlado para Café (Coffea arabica) Honey de alto valor en taza. *Revista agrotecnológica amazónica*, 2(1), e227–e227. <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.227>

(S/f-b). Researchgate.net. Recuperado el 18 de septiembre de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/376494848_Coffee_Dryer_with_Dehydrated_Air#:~:text=traditional%20drying,more%20quality%20than%20the%20dried

Deshumificador.org. (2024, 18 diciembre). Comfee MDDP-50DEN7 | Deshumificador industrial potente y económico. <https://deshumificador.org/comfee-mddp-50den7/#:~:text=Sencillo%2C%20potente%20y%20relativamente%20barato,116m%C2%B2%20consumiendo%20menos%20de%201000W>

Coronel Andrade, P., & Damián Vallejo, A. (2022). Propuesta de deshumidificación para optimizar el consumo energético en un supermercado de Guayaquil utilizando simulaciones energéticas y técnicas de eficiencia energética. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52857/1/T-111173%20Coronel%20Andrade%2C%20Pa%C3%BAI%20%26%20Dami%C3%A1n%20Vallejo%2C%20Andrea.pdf>

La Torre Sagua, E. & Chinchay Ramos, R. L. A. (2021). Diseño e implementación de un dispositivo electrónico para la estimación de la humedad en el café pergamino. Universidad Nacional de Jaén. https://unj.edu.pe/wp-content/uploads/2021/09/LaTorre_SE_Chinchay_RLA.pdf

Moseley, Q., Colindres, O., Caballero, C., Serrano, A., Gallardo, J., Moreno, I., & Serracín, J. (2024). Procesos de secado del café y su impacto en la industria. I+D Tecnológico, 20(2), 63-74. <https://doi.org/10.33412/idt.v20.2.4059>

Municipalidad provincial de Cajamarca (2023)
<https://www.gob.pe/institucion/regioncajamarca/noticias/935885-descubre-la-ruta-del-cafe-en-jaen>

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAEN (2023)

<https://www.gob.pe/institucion/munijaen/noticias/882610-mpj-expone-proyecto-ruta-del-cafe-en-el-ministerio-de-comercio-exterior-y-turismo>

Secado de Café Al Sol y Mecánico. (2024). Scribd. Recuperado el 15 de mayo de 2025, de <https://es.scribd.com/document/411794866/Secado-de-Cafe-Al-Sol-y-Mecanico>

MINAGRI. (2018). Evaluación de los impactos del cambio climático en la agricultura peruana. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.

Economía, R. (2024, febrero 26). Región Cajamarca lidera la revolución del café sostenible y carbono neutro en Perú. Revista Economía. <https://www.revistaeconomia.com/region-cajamarca-lidera-la-revolucion-del-cafe-sostenible-y-carbono-neutro-en-peru/>

De la O Manzano, M. S. (2021, julio 14). ASÍ SE PRODUCE EL CAFÉ DE EL SALVADOR. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.mag.gob.sv/2021/07/14/asi-se-produce-el-cafe-de-el-salvador/>

JNC: Oferta peruana de café representa cerca del 2.5% del consumo global; para mantener esa participación en 2050, se deberá producir 122.500 toneladas más. (2024, noviembre 25). Junta Nacional del Café - JNC. <https://juntadelcafe.org.pe/jnc-oferta-peruana-de-cafe-representa-cerca-del-2-5-del-consumo-global-para-mantener-esa-participacion-en-2050-debera-producir-122-500-toneladas-mas/>

Por: Marketing Bry-Air. (2023, abril 5). Cómo puede afectar la humedad, la calidad del café y cómo controlarla en la producción. Bry-Air Brasil. <https://www.bryair.com.br/es/blog/como-puede-afectar-la-humedad-del-cafe/>

Prawiranto, K., Carmeliet, J., & Defraeye, T. (2021). Physics-Based Digital Twin Identifies Trade-Offs Between Drying Time, Fruit Quality, and Energy Use for Solar Drying. *Frontiers In Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.606845>

Mgnm. (s. f.). 04 - Secado de granos y secadoras - Energia y combustion. Scribd. <https://es.scribd.com/document/365679803/04-Secado-de-Granos-y-Secadoras-Energia-y-Combustion?v=0.932>

Secadora con deshumidificador - JM Estrada. (2021). <https://www.jmestrada.com/tienda/cafe/secadoras-automaticas/secadora-con-deshumidificador/#:~:text=,Sin%20residuos%20contaminantes>

CAJAMARCA REGISTRÓ US\$ 240 MILLONES DÓLARES EN EXPORTACIÓN DE CAFÉ. (s/f). NOTICIAS Gobierno Regional Cajamarca. Recuperado el 16 de mayo de 2025, de <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/3290>

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Jaén y a su plana docente, por brindarme la oportunidad de enriquecer mi formación académica, demostrando constantemente su compromiso con la excelencia educativa.

A Dios y a todas las personas que hicieron realidad este logro, acompañándome en cada etapa del camino y siendo sostén y aliento en los momentos más exigentes.

Mi gratitud y agradecimiento al Dr. Edwin Carlos Lenin Félix Poicón, por su invaluable guía a lo largo de este trabajo y que por su apoyo han hecho posible la culminación de este proyecto

A nuestros padres, por siempre estar ahí, contar siempre con su amor incondicional y sacrificio.

DEDICATORIA

A Dios, por siempre guiar mis pasos, bríndame salud y poder permitirme este paso muy importante en mi vida para cumplir mis logros.

A mis padres, Americo Sempertegui Guevara y Deysi Santos Troyes que siempre han sido mi fuente de inspiración y ejemplo de esfuerzo. Sus consejos, enseñanzas y sacrificios han moldeado la persona que soy

A mi hermana Liz Katherine Sempertegui Santos, por su compañía, constante apoyo y ánimo a lo largo de este logro.

A todos ustedes, dedico con profundo agradecimiento y sincero cariño este logro, como reflejo del esfuerzo compartido y del compromiso con los valores que me han formado desde mis primeros pasos.

Ghino Alessandro Sempertegui Santos

A Dios, por iluminar mi camino, concederme fortaleza y salud, y por permitirme alcanzar este peldaño significativo en la realización de mis objetivos.

A mis padres, Esgar Mendoza Castillo y Yanina Becerra Arevalo, por ser mi mayor motivación, mi fortaleza constante y el faro que ha guiado cada uno de mis pasos.

Les agradezco profundamente por su amor incondicional, por su apoyo firme y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del trabajo y la perseverancia.

A mi familia, por acompañarme con cariño y estar presente en cada momento de este proceso.

Edgar Renato Mendoza Becerra

VII. ANEXOS.

Anexos 1.

Figura 17. Muestra de Café con humedad 50%



Anexos 2.

Figura 18. Calibración y manipulación del aparato de precisión (deshumidificador) antes del proceso del secado de café



Anexo 3.

Figura 19. Calibración y manipulación del aparato de precisión (deshumidificador) antes del proceso del secado de café.



Anexos 4.

Figura 20. Inicio en el proceso de secado del café pergamino.



Anexos 5.

Figura 21. Proceso del secado de café pergamino en el ensayo D1.



Anexos 6.

Figura 22. Proceso del secado de café pergamino en el ensayo D2.



Anexo 7.

Figura 23. Proceso del secado de café pergamino en el ensayo D2.



Anexo 8.

Figura 24. Proceso del secado del café pergamino en el ensayo D3.



Anexo 9.

Figura 25. Proceso del secado del café pergamino en el ensayo D3



Anexos 10.

Figura 26. Proceso final de secado con una humedad del 12%



Anexos 11.

Figura 27. Ficha técnica de la balanza digital con temporizador



Catálogo Balanzas y utensilios medidores



Balanza Digital con Temporizador 5kg/0.1g
Balanza para Café y más
GENÉRICO 1001396663



Presione el botón "Unit" para seleccionar. Si mantiene presionado durante tres segundos, se activa la cuenta regresiva. Al final, selecciona el tiempo entre 1, 4, 5, 6, 7 y 8 minutos. Una vez seleccionado el tiempo, presione "Start/Stop" para confirmar e iniciar la cuenta regresiva. Al finalizar el tiempo, sonará una alarma.



FICHA TÉCNICA

Color Negro	Color principal Negro
Modelo Balanza para Café	Incluye 1 balanza y un par de pila

Anexos 12.

Figura 28. Termohigrómetro y reloj digital de interior-exterior.



TERMOHIGRÓMETRO Y RELOJ DIGITAL DE INTERIOR-EXTERIOR



Especificaciones:

- Muestra la temperatura interior y la humedad, la temperatura exterior y la hora.
- Registra la temperatura y humedad máxima y mínima.
- Cambio entre grados °C y °F.
- Rango de medición de temperatura: Interior: -10°C-+50°C(+14°F-+122°F)
Exterior: -50°C-+70°C(-58°F-+158°F)
- Rango de medida de humedad: 20-99% RH.
- Precisión: +/-1°C entre 0°C-50°C, de lo contrario +/-2°C, +/-5%RH.
- Funciona con 1,5 V (1 pieza AAA). Congela desde -1°C a +4°C. Gran pantalla LCD.

Botón:

- MAX/MIN: muestra la temperatura y la humedad máximas y mínimas. En el modo de configuración, puede agregar 1.
- MODE/SET/CLEAR: para configurar la hora y alarma. Borrar la memoria máxima y mínima.
- IN/OUT: cambie la visualización de temperatura interior y exterior.
- °C/°F: cambia la presentación entre Celsius y Fahrenheit.
- FZ. ALERTA: alerta de congelación activada o desactivada.

Descripción de la operación:

- Presione <MODE/SET/CLEAR>, la línea superior de la pantalla LCD puede cambiar entre reloj y alarma. En el modo reloj, mantenga presionada la tecla 2 segundos para entrar al modo de configuración de tiempo, presione <MAX/MIN> para configurar la hora; en el modo de alarma, mantenga presionada la tecla durante 2 segundos para entrar al modo de configuración de alarma, use la misma manera para ajustar la hora de la alarma. En el modo de alarma, mantenga presionado <FZALERT> 2 segundos para encender o apagar la alarma.
- Presione <°C/°F>, la temperatura cambiará entre °C y °F
- Presione <IN/OUT>, la temperatura que se muestra cambia entre interior y exterior.
- Presione <MAX/MIN>, se mostrará la temperatura y humedad máxima y mínima en la memoria; En este modo, presione <MODE/SET/CLEAR> para borrar la memoria.
- Mantenga <FZ.ALERT> durante 2 segundos, se mostrará el icono de nieve en la pantalla, cuando la temperatura exterior sea de -1°C a +4°C, sonará la alarma.
- Cuando la humedad <40%, muestra el icono "Seco"; Cuando la humedad es superior al 70 %, muestra el icono "húmedo". Cuando la humedad está entre el 40 % y el 70 % y la temperatura interior está entre +20 °C y +25 °C, muestra el icono "Comfort".

Anexos 13.

Figura 29. Multitester Multímetro Digital AC DC 600V 10A UNI-T UT33A+.



Catálogo Multímetros



**Multitester Multímetro Digital AC DC 600V 10A
UNI-T UT33A+**
Unit 1000507658



FICHA TECNICA

Color Rojo c/ Negro	Color principal Rojo
Peso 150g	Garantía 06 meses
Modelo UT33A+	Material Plástico Abs
Marca UNI-T	Alto 134 mm
Ancho 77 mm	Tipo de medidas Varios
Tipo de uso Comercial, Doméstico, Doméstico/Comercial, Doméstico/Exterior, Doméstico/Interior, Doméstico Interior y Exterior, Profesional, Semi-Profesional, Protección antideslizante, Interior/Exterior, Interior, Industrial, General, Exterior	Incluye 01 Multímetro, 02 Puntas de Prueba, 02 Pilas AAA

Anexos 14.

Tabla 15. Ficha técnica del deshumidificador modelo Pro Breeze PB-06-EU-FBA

Ítem	Especificación Del Equipo
Tipo	Deshumidificador por condensación (bomba de calor, circuito frigorífico con recuperación de calor)
Marca/Modelo	Pro Breeze PB-06-EU-FBA
Capacidad de deshumidificación	Intermedia (10 – 20 L/día) referida a 30 °C y 80% H.R.
Rango de operativo de cámara	30 – 40 °C; HR de cámara controlada 45 – 50%
Flujo de aire efectivo	≈1,200 m ³ /h
Potencia eléctrica	Promedio ≈0.10 kW (100 W); pico 0.25–0.35 kW
Consumo medido	1.20 kWh en 12 h
Indicadores energéticos	SEC≈0.56 kWh/kg H ₂ O; SMER≈1.8 kg/kWh; COP≈1.2
Alimentación eléctrica	220 V AC monofásico, 60 Hz
Refrigerante	R134a
Dimensiones / peso	Portátil; compacto
Drenaje	Continuo a desagüe

Anexo 14.1.

Figura 30. Características del Aparato de precisión DESHUMIDIFICADOR



Anexo 15.

Tabla 16. Proyección del rendimiento energético del deshumidificador para cargas de 10kg a 50kg de café a partir de los resultados obtenidos con 5kg.

Carga (kg)	Tiempo (h)	Energía (kWh)	Agua removida (kg)	Potencia (kW)	SEC (kWh/kg H₂O)	SMER (kg/kWh)	COP
10	24	2.40	4.32	0.100	0.556	1.799	1.207
20	48	4.80	8.64	0.100	0.556	1.799	1.207
30	72	7.20	12.96	0.100	0.556	1.799	1.207
40	96	9.60	17.28	0.100	0.556	1.799	1.207
50	120	12.00	21.60	0.100	0.556	1.799	1.207

Nota: elaboración propia (2025)

La siguiente tabla proyectiva permite estimar el comportamiento del sistema de secado para cargas mayores de café pergamino (de 10 kg hasta 50 kg), manteniendo las mismas condiciones técnicas observadas en el ensayo experimental de 5 kg. Se ha considerado constante la potencia promedio del deshumidificador (0.100 kW), así como la eficiencia energética (SEC = 0.556 kWh/kg H₂O, SMER = 1.799 kg/kWh y COP = 1.207), a fin de modelar el desempeño del sistema de manera proporcional.

Estos resultados permiten anticipar un crecimiento lineal en el consumo energético y la cantidad de agua removida, lo cual demuestra la escalabilidad del sistema y su potencial aplicación con mayores volúmenes de carga.

Anexo 16.

Para asegurar el rendimiento estable del deshumidificador utilizado en el proceso de secado de café, se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo básico, adaptado a las condiciones operativas rurales de Jaén. Este plan puede ser aplicado por los propios productores o con apoyo técnico mínimo, y debe contemplar los siguientes puntos:

Tabla 17. Plan de Mantenimiento Preventivo del Deshumidificador.

Actividad	Frecuencia	Observación Técnica
Limpieza de filtros de aire	Semanal	Evita la obstrucción del flujo de aire y mejora la eficiencia térmica.
Verificación del cableado eléctrico	Mensual	Revisa conexiones sueltas, oxidación o falsos contactos.
Limpieza de bandeja de condensado	Quincenal	Previene acumulación de humedad o moho.
Revisión del nivel de gas refrigerante	Cada 6 meses	Solo debe ser realizado por técnico autorizado.
Medición del consumo eléctrico	Mensual	Controla posibles incrementos en el uso de energía.
Calibración del termohigrómetro	Cada 3 meses	Asegura que las mediciones de temperatura y humedad relativa sean precisas.

Nota: Elaboración propia (2025).

Permite prolongar su vida útil, mejorar su desempeño energético y reducir costos operativos a largo plazo.

Anexo 17.

Lineamientos para la Transferencia Tecnológica a Productores de Café


Con base en los resultados obtenidos y el potencial de replicabilidad del sistema, se proponen los siguientes lineamientos para facilitar la adopción del deshumidificador por parte de pequeños y medianos productores de Jaén:

1. **Capacitación práctica local:** Implementación de talleres en alianza con cooperativas cafetaleras o programas de extensión agrícola.
2. **Guía simplificada de uso:** Desarrollo de un manual gráfico y en lenguaje accesible que detalle instalación, operación y mantenimiento.
3. **Validación con lotes reales:** Realización de demostraciones en campo con cargas mayores a 10 kg.
4. **Evaluación sensorial post-secado:** Análisis de taza para evidenciar impacto sobre la calidad del grano.
5. **Esquema de cofinanciamiento:** Promoción de compras compartidas o mediante apoyo institucional.
6. **Adaptabilidad local:** Evaluación del sistema con fuentes alternativas como energía solar o híbrida.

Estos lineamientos permitirán que los beneficios del secado con deshumidificador en términos de calidad, eficiencia y sostenibilidad puedan difundirse más allá del entorno experimental, generando valor agregado directo a las familias productoras de café.

Anexos 18.

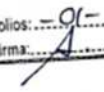
Figura 31. Carta de autorización al responsable de la Escuela Profesional De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica con la solicitud del préstamo del equipo del Deshumidificador

 UNJ UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	FACULTAD DE INGENIERÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica "Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"
---	---

Jaén, 09 de setiembre del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
RECIBIDO

09 SEP 2025

Ex. N.º: Folios: 01-
Hora: 11:05 Firma: 

CARTA N° 002- 2025 /GASS

SEÑOR:
Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Responsable de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN.
Presente. -


ASUNTO: SOLICITO APOYO CON PRÉSTAMO DE EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DE PRECISIÓN (TIPO PORTÁTIL).
REFERENCIA: RESOLUCIÓN N° 612-2025-UNJ/FI

De mi mayor consideración:

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y, mediante el presente, solicitar su apoyo con el préstamo de un equipo de aire acondicionado de precisión (tipo portátil), para ejecución de proyecto de tesis denominado: "ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DEL DESHUMIDIFICADOR EN EL SECADO DE CAFÉ DE USO DE LOS PRODUCTORES EN LA PROVINCIA DE JAÉN - PERÚ" a ser utilizado desde el miércoles 10 de setiembre hasta el lunes 16 de setiembre de 2025, fecha en la que será devuelto al área correspondiente de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (EPIME).

Sin otro particular, quedo de usted, reiterándole las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,


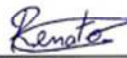
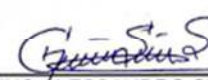
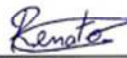
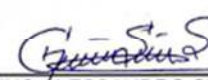
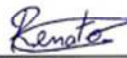
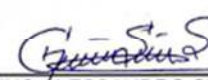


NOMBRES Y APELLIDOS:
Ghino Alessandro Sempertegui Santos
DNI: 72541727
Cel.: 966696026

<small>SOLIDARIA - SALUDABLE - SOSTENIBLE</small> www.unj.edu.pe	<small>CONTACTO</small> 972726182	<small>EMAIL</small> escuela.lme@unj.edu.pe
	<small>DIRECCIÓN</small> Carretera Jaén San Ignacio Km. 24 - Yanuyacu	

Anexos 19.


Figura 32. Solicitud de certificación del café pergamino en parámetros y valor de calidad al responsable de la Escuela Profesional De Ingeniería Mecánica Y Eléctrica

 UN UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	FACULTAD DE INGENIERÍAS Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica		
"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"><p style="text-align: center; margin: 0;">UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA RECIBIDO</p><p style="text-align: center; color: red; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">24 OCT 2025</p><p>Exp. N°: Folios: <u>01</u> Hora: <u>9:45</u> Firma: <u>[Firma]</u></p></div>	Jaén, 24 de octubre de 2025		
SOLICITO: CERTIFICACIÓN DEL CAFÉ PERGAMINO EN PARAMETROS Y VALOR DE CALIDAD			
<p>Dr. EDWIN CARLOS LENIN FELIX POICON Responsable de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica – UNJ Presente. -</p> <p>Yo, EDGAR RENATO MENDOZA BECERRA, identificado con DNI N° 74133200 y GHINO ALESSANDRO SEMPETEGUI SANTOS, identificado con DNI N° 72541727, bachilleres de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén; nos presentamos ante usted y exponemos lo siguiente:</p> <p>Qué mediante RESOLUCIÓN N°612-2025-UNJ/FI, de fecha, 17 de julio de 2025, donde se aprueba el proyecto de Tesis denominado: "ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ELÉCTRICO DEL DESHUMIDIFICADOR EN EL SECADO DE CAFÉ DE USO DE LOS PRODUCTORES EN LA PROVINCIA DE JAÉN – PERÚ".</p> <p>En ese sentido, SOLICITO a través de su despacho se derive a la empresa CASTILLO COFFE PERU, que certifique que el café pergamino cumple los parámetros y valor obtenido de calidad.</p> <p>Por lo expuesto, ruego a usted acceder a nuestra petición.</p> <p style="text-align: center;">Atentamente,</p> <table style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50%; text-align: center;"> EDGAR RENATO MENDOZA BECERRA DNI: 74133200 CEL: 991 495 508</td><td style="width: 50%; text-align: center;"> GHINO ALESSANDRO SEMPETEGUI SANTOS DNI: 72541727 CEL: 966696026</td></tr></table>		 EDGAR RENATO MENDOZA BECERRA DNI: 74133200 CEL: 991 495 508	 GHINO ALESSANDRO SEMPETEGUI SANTOS DNI: 72541727 CEL: 966696026
 EDGAR RENATO MENDOZA BECERRA DNI: 74133200 CEL: 991 495 508	 GHINO ALESSANDRO SEMPETEGUI SANTOS DNI: 72541727 CEL: 966696026		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.8em;"><div>SOLIDARIA - SALUDABLE - SOSTENIBLE www.unj.edu.pe</div><div>CONTACTO 998 900 231</div><div>EMAIL Imagen@unj.edu.pe</div><div>DIRECCIÓN Carretera Jaén - San Ignacio Km 24 Sector Yanuyacu</div></div>			

Anexos 20.

Figura 33. Solicitud de recepción de certificación de calidad del café pergamino a la empresa de CASTILLO COFFE PERU

CARGO

 **UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

Jaén, 24 de octubre del 2025.

EXP. N° 01103535

OFICIO N° 592 - 2025 /UNJ/ FI/ EPIME

SEÑOR:
NEXAR CASTILLO TROYES
Gerente
CASTILLO COFFE PERU
Jaén – Cajamarca
Presente. –

ASUNTO: Agradece y acusa recepción de certificación de calidad del café pergamino.
REFERENCIA: Solicitud S/N, de fecha 24 de octubre de 2025.

De mi especial consideración:

Me dirijo a usted para expresarle un cordial saludo y, a la vez, agradecer la valiosa colaboración de CASTILLO COFFE PERU en la certificación del café pergamino utilizado en el proyecto de tesis titulado:


"Análisis del rendimiento eléctrico del deshumidificador en el secado de café de uso de los productores en la provincia de Jaén – Perú", realizado por los bachilleres: Edgar Renato Mendoza Becerra y Ghino Alessandro Sempertegui Santos, de Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.


Asimismo, se acusa recepción del documento de certificación emitido, en el cual se detallan los parámetros de calidad obtenidos del proceso de deshumidificación, los mismos que serán incorporados como evidencia técnica en el informe de resultados de la tesis mencionada.


La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica expresa su reconocimiento a su empresa por el apoyo brindado a la investigación universitaria y por su compromiso con la mejora continua de la calidad del café de la región.

Sin otro particular, reitero las muestras de mi especial consideración y estima.

Atentamente,


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Edgardo Carlos Luna Félix Polanco
RESPONSABLE DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA


CASTILLO COFFE PERU
GERENCIA


46966728
NEXAR CASTILLO TROYES

C.c/archivo
Mavilla S. /Sec.

SOLIDARIA - SALUDABLE - SOSTENIBLE
www.unj.edu.pe


CONTACTO
914339217

EMAIL
escuela.ime@unj.edu.pe

DIRECCIÓN
Carretera Jaén San Ignacio
Km. 24 - Yanuyacu

Anexos 21.

Figura 34. Certificación de calidad del café secado con el deshumidificador



CASTILLO COFFE PERU
COMPRA Y VENTA DE CAFÉ Y CACAO
CERTIFICACIÓN DE CALIDAD DEL CAFÉ SECADO CON
DESHUMIDIFICADOR

A quien corresponda:

La empresa CASTILLO COFFE PERU, dedicada a la compra y venta de café y cacao, certifica que el café pergamino utilizado en el proyecto de investigación titulado: "Análisis del rendimiento eléctrico del deshumidificador en el secado de café de uso de los productores en la provincia de Jaén – Perú", realizado por los bachilleres Edgar Renato Mendoza Becerra, identificado con DNI N°: 74133200 y Ghino Alessandro Sempertegui Santos, identificado DNI N°: 72541727 de la Carrera Profesional Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén,

corresponde a café pergamino húmedo de origen local, procesado bajo control de calidad en las instalaciones de nuestra empresa.

Parámetros de calidad y evaluación.

PARÁMETRO	VALOR OBTENIDO	MÉTODO / OBSERVACIÓN
Humedad inicial	50 % b.h.	Medida con higrómetro digital de precisión
Humedad final (después del secado con deshumidificador)	12 % b.h.	Conforme a norma NTP 209.027 / SCA 2021
Rendimiento en taza (puntaje SCA)	83 puntos	Evaluado por catadores Q-Grader certificados
Rendimiento físico	83 %	Determinación por control de beneficio seco

Defectos primarios y secundarios	Dentro de límites aceptables	Cumple con estándares de exportación
Color y fragancia del grano seco	Homogéneo, sin sobresecado	Resultado del proceso controlado de deshumidificación

Conclusión técnica

El café secado con el sistema de deshumidificación experimental mantiene niveles óptimos de humedad (12 %) y conserva sus características físicas y organolépticas, alcanzando un rendimiento en taza de 83 puntos, lo que lo clasifica como café de calidad superior según los estándares de la Specialty Coffee Association (SCA).

Por lo tanto, CASTILLO COFFE PERU garantiza que el café utilizado en dicha investigación cumple con las condiciones de calidad requeridas para la validación de los resultados de la tesis mencionada.

Jaén, 24 de OCTUBRE del 2025

Atentamente,



[Handwritten signature]

46966728

Representante NEXAR CASTILLO TROYES

Cargo: Gerente

Teléfono: 945692482

REC: 20610770143