

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**



**“INFLUENCIA DEL TIPO DE SECADO Y ALTITUD EN LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y
TECNOFUNCIONALES DE LA HARINA OBTENIDA A PARTIR
DE LA PULPA DE CAFÉ VARIEDAD CATIMOR (*Coffea arabica*)”**

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Autores: Bach. Correa Tocto Josseline Milagros
Bach. Díaz Vásquez Flor Aleli

Asesor: Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán

Línea de investigación: LIIA-02 Desarrollo y caracterización de
producto

JAÉN - PERÚ, JULIO, 2026

Correa Tocto Josseline M Y Díaz Vásquez Flor A.

INFLUENCIA DEL TIPO DE SECADO Y ALTITUD EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y...

 Quick Submit
 Quick Submit
 Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3622602577

65 páginas

Fecha de entrega

4 ago 2026, 1:13 p.m. GMT-5

11.342 palabras

Fecha de descarga

4 ago 2026, 1:19 p.m. GMT-5

66.786 caracteres

Nombre del archivo

quez_-Josseline_Milagros_Correa_Tocto_-_INFORME_-_JOSSELINE.pdf

Tamaño del archivo

3.0 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

6% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

Dra. María Marteni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 30 de julio de 2026, siendo las 15:30 horas, se reunieron de manera **presencial**, los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

Secretario: Dr. Gary Charly García Guevara

Vocal: Mg. Julio Elit Oliva Guevara, para evaluar la Sustentación del:

- () Informe de Plan de Trabajo de Investigación
(**X**) informe Final de Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"INFLUENCIA DEL TIPO DE SECADO Y ALTITUD EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y TECNOFUNCIONALES DE LA HARINA OBTENIDA A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ VARIEDAD CATIMOR (*Coffea arabica*)"**, presentado por los bachilleres, Josseline Milagros Correa Tocco y Flor Aleli Díaz Vásquez, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Jaén.

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 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | (12) |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 16:30 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmado su participación con la suscripción de la presente.



Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Presidente de Jurado Evaluador



Dr. Gary Charly García Guevara
Secretario de Jurado Evaluador



Mg. Julio Elit Oliva Guevara
Vocal de Jurado Evaluador

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Flor Aleli Díaz Vázques, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 7227715.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“Influencia del tipo de secado y la altitud sobre las propiedades de harina de pulpa de café variedad Catimor (*Coffea arabica*)”.

Asesorado por Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán.

El mismo que presento bajo la modalidad de Bachiller para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

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, día, mes y año.

Bach. Josseline Milagros Correa Tocto.

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

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

Yo, Josseline Milagros Correa Tocto, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75923879.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

“Influencia del tipo de secado y la altitud sobre las propiedades de harina de pulpa de café variedad Catimor (*Coffea arabica*)”.

Asesorado por Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán.

El mismo que presento bajo la modalidad de Bachiller para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero de Industrias Alimentarias.

8. 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.
9. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
10. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
11. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
12. 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, día, mes y año.



Bach. Flor Aleli Díaz Vázquez.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	12
II.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1.	Población muestra y muestreo	16
2.1.1.	Población.....	16
2.1.2.	Muestra.....	16
2.1.3.	Muestreo.....	16
2.2.	Metodología.....	17
2.1.2.	Descripción del proceso para la elaboración de la harina de pulpa de café	17
a)	Recepción y selección de materia prima	17
2.1.3.	Métodos y técnicas	21
2.1.4.	Diseño de investigación.....	31
2.1.5.	Análisis de datos.....	33
III.	RESULTADOS	34
IV.	DISCUSIÓN.....	39
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	DEDICATORIA.....	52
	AGRADECIMIENTO	51
	ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características fisicoquímicas de la harina de pulpa de café según tipo de secado y altitud.	34
Tabla 2 Recuento microbiológico (UFC/g $\times 10^{-3}$) de mohos y levaduras en harina de pulpa de café según tipo de secado y altitud.	36
Tabla 3 Características tecnofuncionales de la harina de pulpa de café según tipo de secado y altitud.	37
Tabla 4 <i>Prueba de normalidad de los residuos para las propiedades fisicoquímicas</i> .	66
Tabla 5 Homogeneidad de varianzas	66
Tabla 6 Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades fisicoquímicas.....	67
Tabla 7 <i>Normalidad para los residuos de las variables microbiológicas</i>	68
Tabla 8 Homogeneidad de varianzas para las propiedades microbiológicas	68
Tabla 9 Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades microbiológicas.	69
Tabla 10 Prueba de normalidad de los residuos para las propiedades tecnofuncionales.	69
Tabla 11 Homogeneidad de varianzas para las propiedades tecnofuncionales.	69
Tabla 12 Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades tecnofuncionales.	70
Tabla 13 Condiciones de temperatura durante el secado solar de la pulpa de café	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Flujograma de la elaboración de harina	20
Figura 2	Esquema experimental de la investigación.....	32
Figura 3	Recolección del café catimor rojo	54
Figura 4	Recolección de la pulpa de café	54
Figura 5	Lavado de la pulpa de café.....	54
Figura 6	Traslado de la pulpa de café.....	54
Figura 7	Color de las muestras	55
Figura 8	Pesado de la pulpa de café	55
Figura 9	Vista frontal del método de secado	56
Figura 10	Pulpa de café deshidratada	56
Figura 11	Molienda de la pulpa deshidratada	56
Figura 12	Tamizado y almacenado de la harina	56
Figura 13	Recolección del café catimor rojo	57
Figura 14	Recolección de la pulpa de café	57
Figura 15	Lavado de la pulpa de café.....	57
Figura 16	Traslado de la pulpa de café.....	57
Figura 17	Color de la muestra	58
Figura 18	Pesado de la pulpa de café	58
Figura 19	Pulpa de café deshidratada	58
Figura 20	Vista frontal del prototipo de secado.....	58
Figura 21	Secador solar con la pulpa de café	58
Figura 22	Molienda de la pulpa seca	58
Figura 23	Tamizado de la harina	59
Figura 24	Almacenamiento de las muestras de	59
Figura 25	Medidor de humedad	59
Figura 26	Humedad de la harina	59
Figura 27	Determinación de pH de la harina.....	60
Figura 28	Calcinado de las muestras en mufla	60
Figura 29	Muestras en el desecador	60
Figura 30	Determinación de cenizas	60
Figura 31	Preparación de diluciones de extractos metanólicos.....	60
Figura 32	Mezcla de extractos metanólicos con extractos de DPPH	60

Figura 33	Medición de absorbancia (capacidad Antioxidante).....	61
Figura 34	Curva de calibración de DPPH.....	61
Figura 35	Homogenización de muestras con extractos metanólicos.....	61
Figura 36	Centrifugación de muestras.....	61
Figura 37	Curva de calibración de flavonoides	61
Figura 38	Curva de calibración de fenoles	61
Figura 39	Muestras en tubos de digestión	62
Figura 40	Tubos en el sistema de digestión.....	62
Figura 41	Destilación automática en destilador de nitrógeno	62
Figura 42	Titulación para determinar proteínas.....	62
Figura 43	Equipo de medición de actividad de agua	62
Figura 44	Muestra de harina.....	62
Figura 45	Mezcla de los reactivos	63
Figura 46	Preparación de las muestras	63
Figura 47	Autoclavado de medio de cultivo	63
Figura 48	Siembra en cabina de flujo laminar	63
Figura 49	Capacidad de retención de agua	64
Figura 50	Capacidad de retención de aceite	64
Figura 51	Mezcla de muestra con agua destilada	64
Figura 52	Incubación de muestras	64
Figura 53	Capacidad de solubilidad	64
Figura 54	Capacidad de hinchamiento	64
Figura 55	Homogenización de muestras	65
Figura 56	Volumen y estabilidad de espuma.....	65
Figura 57	Diluciones a diferentes concentraciones	65
Figura 58	Muestras homogeneizadas	65
Figura 59	Medición de la capacidad emulsionante.....	66

RESUMEN

La pulpa de café, subproducto del beneficiado del café, representa un problema ambiental por su inadecuada disposición, aunque posee compuestos bioactivos con potencial para su valorización como ingrediente funcional. El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia del tipo de secado (solar y estufa) y la altitud (1300 y 1600 m s. n. m.) sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y tecnofuncionales de la harina de pulpa de café variedad Catimor (*Coffea arabica*). Se empleó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, analizando humedad, pH, cenizas, proteínas, compuestos fenólicos, flavonoides, capacidad antioxidante, actividad de agua, mohos y levaduras, así como propiedades tecnofuncionales. Los resultados evidenciaron efectos significativos ($p < 0.05$) del tipo de secado y la altitud en la mayoría de variables, incluyendo interacción en propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales. El secado solar a 1600 m s. n. m. favoreció la conservación de proteínas y compuestos bioactivos, mientras que el secado en estufa redujo la humedad y la carga microbiológica, mejorando la estabilidad del producto. Se concluye que ambos factores condicionan la calidad final de la harina, permitiendo su aprovechamiento sostenible en la industria alimentaria.

Palabras clave: pulpa de café, secado, altitud, harina, propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales.

SUMMARY

Coffee pulp, a by-product of coffee processing, represents an environmental concern due to its inadequate disposal; however, it contains bioactive compounds with potential for valorization as a functional ingredient. The objective of this study was to evaluate the influence of drying method (solar and oven) and altitude (1300 and 1600 m a.s.l.) on the physicochemical, microbiological, and technofunctional properties of coffee pulp flour from the Catimor variety (*Coffea arabica*). A completely randomized block design with four treatments and three replicates was applied. Parameters analyzed included moisture, pH, ash, protein, phenolic compounds, flavonoids, antioxidant capacity, water activity, molds and yeasts, and technofunctional properties. Results showed significant effects ($p < 0.05$) of drying method and altitude, as well as interactions in several physicochemical and technofunctional variables. Solar drying at 1600 m a.s.l. enhanced the preservation of proteins and bioactive compounds, whereas oven drying reduced moisture content and microbial load, improving product stability. It is concluded that the interaction of both factors determines the final quality of the flour, enabling process optimization according to its intended application in the food industry and supporting sustainable use.

Keywords: coffee pulp, drying, altitude, flour, physicochemical properties, technofunctional properties.

I. INTRODUCCIÓN

La provincia de Jaén, en Cajamarca, forma parte de las principales zonas productoras de café del departamento, donde se concentra una proporción significativa de la producción regional (Gobierno Regional de Cajamarca, 2023). No obstante, el desarrollo de esta actividad ha generado un incremento considerable en la cantidad de residuos orgánicos, principalmente durante el proceso de despulpado del café, etapa en la que se produce la mayor proporción de desechos sólidos sin tratamiento. Cajamarca, responsable de aproximadamente el 25 % de la producción cafetalera nacional (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2023), enfrenta un desafío ambiental derivado de la falta de manejo adecuado de la pulpa de café, un subproducto con alto potencial de aprovechamiento. Según Hu et al. (2023), la disposición inadecuada de esta biomasa ocasiona la acidificación de suelos y cuerpos de agua, además de generar lixiviados que deterioran la fertilidad del terreno y producen malos olores por su rápida descomposición.

A pesar de estos impactos negativos, la pulpa de café constituye también una oportunidad relevante desde el punto de vista económico y ambiental, dado que contiene compuestos bioactivos de interés industrial, como polifenoles, cafeína y antioxidantes, que podrían ser aprovechados para el desarrollo de productos con valor agregado. Bajo una gestión adecuada, este residuo podría transformarse en un insumo funcional que aporte a la sostenibilidad de la cadena productiva del café y, a su vez, al bienestar de los productores locales. La conversión de la pulpa en harina representa una alternativa viable, ya que puede utilizarse tanto en la alimentación humana, como animal. Sin embargo, su alto contenido de humedad la hace susceptible al deterioro microbiano y químico (Torres

et al., 2019), por lo que resulta esencial aplicar métodos de conservación adecuados, siendo el secado uno de los más eficaces por su practicidad y bajo costo.

En ese sentido, la selección del método de secado más apropiado es un aspecto determinante para mantener la calidad fisicoquímica, microbiológica y tecnofuncional de la harina obtenida. Diferentes estudios han demostrado que los parámetros de secado, como la temperatura, el tiempo y la altitud del lugar, influyen directamente en la estabilidad y en el contenido de compuestos bioactivos del producto final (Torres et al., 2019). Esta relación cobra especial relevancia en una zona como Jaén, donde las variaciones de altitud generan microclimas con condiciones térmicas y de humedad particulares, capaces de modificar las propiedades del secado y, por consiguiente, las características del producto resultante.

El café no solo constituye uno de los cultivos de mayor valor económico a nivel mundial, sino que además representa una fuente importante de empleo e ingresos para miles de familias. En el Perú, este producto es el principal bien agrícola de exportación, con presencia en dieciséis regiones, entre ellas Cajamarca, Junín, San Martín, Cusco, Amazonas, Huánuco y Pasco, que en conjunto suman alrededor de 427 000 hectáreas cultivadas y sostienen a más de 223 000 familias (MINAGRI, 2023). Se estima que unas 550 000 hectáreas corresponden a producción orgánica, lo que posiciona al país como un actor relevante en los mercados internacionales. En este contexto, la pulpa de café ha empezado a cobrar importancia como subproducto comercializable, especialmente en su forma seca, cuya demanda internacional se ha incrementado desde 2016. Según Agraria (2023), el precio de la cáscara seca alcanza valores de entre 6 y 7 dólares por kilogramo, superando incluso el valor del grano verde tostado, lo que evidencia un mercado emergente con potencial para diversificar los ingresos de los caficultores.

El aprovechamiento de la pulpa para la elaboración de harina constituye una estrategia innovadora y sostenible frente a los problemas de contaminación derivados del beneficiado del café, proceso que genera residuos equivalentes al 60 % del peso total del grano. Se estima que, anualmente, se producen cerca de 400 000 toneladas de pulpa, la mayoría de las cuales termina desechada sin tratamiento (Arguedas, 2014). Transformar este residuo en harina no solo mitigaría los impactos ambientales, sino que también permitiría obtener un producto con alto valor nutricional, rico en antioxidantes, proteínas y polifenoles, con potencial para incorporarse en diversas formulaciones alimentarias.

Diversas investigaciones respaldan la importancia de seleccionar el método de secado adecuado para preservar las propiedades funcionales de la pulpa. Jiamjariyatam et al. (2022) demostraron que la liofilización permite conservar niveles óptimos de humedad y actividad del agua, además de mantener un alto contenido de compuestos fenólicos y antioxidantes. De manera similar, Kieu et al. (2020) hallaron que el secado al vacío a 110 °C favorece la conservación de polifenoles y cafeína, mientras que Torres et al. (2019) observaron que el secado en estufa mejora la concentración de cafeína y ácido clorogénico, aunque puede modificar la coloración del producto. Por su parte, Arango et al. (2023) confirmaron que la pulpa de café seca conserva una alta capacidad antioxidante y una concentración significativa de cafeína, lo que refuerza su potencial para ser utilizada en alimentos funcionales. Otros estudios, como los de Arya et al. (2022), Alza y Aurora (2019), y Mirón et al. (2021), resaltan que la composición nutricional y el contenido de fibra de la pulpa de café permiten su uso en procesos fermentativos y en la formulación de productos enriquecidos.

En regiones como Jaén, donde las condiciones climáticas favorecen el secado solar, resulta esencial analizar cómo la variación de temperatura y altitud puede afectar la

calidad de la harina resultante. El Gobierno Regional de Cajamarca (2024) reporta que las temperaturas promedio en los procesos de secado oscilan entre 19.8 °C y 30.2 °C, rangos que influyen directamente en la reducción de humedad y en la preservación de los compuestos bioactivos.

Bajo este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de los métodos de secado (solar y por estufa) y de la altitud sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y tecnofuncionales de la harina obtenida a partir de la pulpa de café variedad *Catimor* (*Coffea arabica*). Se plantea la hipótesis de que estos factores influyen significativamente en la composición y calidad final del producto. Asimismo, el estudio busca contribuir a la valorización de este subproducto agroindustrial, promoviendo alternativas tecnológicas sostenibles que favorezcan el desarrollo económico local y la reducción del impacto ambiental de la actividad cafetalera en Jaén.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Población muestra y muestreo

2.1.1. Población

La población del estudio estuvo conformada por pulpa de café de la variedad Catimor rojo, recolectada en dos caseríos del departamento de Cajamarca. El primer punto de muestreo correspondió al caserío La Tranca (Chirinos-San Ignacio), ubicado a 1,600 m s. n. m., donde cada campaña de café genera 0.5 toneladas de pulpa cafetalera. El segundo punto fue el caserío Tomaque (San Ignacio), situado a 1,300 m s. n. m., con una producción similar por campaña. Ambas zonas fueron seleccionadas debido a su relevancia en la actividad cafetalera y a la diferencia altitudinal, lo cual permitió evaluar su influencia sobre las características de la pulpa de café.

2.1.2. Muestra

La muestra estuvo formada por la pulpa de café de la variedad Catimor rojo obtenida de los dos caseríos mencionados. Del caserío La Tranca (1,600 m s. n. m.) se recolectaron 15 kg de pulpa de café de una producción total de media tonelada, asegurando que la muestra representara las condiciones generales de la finca. Del caserío Tomaque (1,300 m s. n. m.) también se seleccionaron 15 kg de pulpa de café de una producción similar, siguiendo los mismos criterios para mantener la representatividad. En total, se trabajó con 30 kg de pulpa de café Catimor rojo para realizar las evaluaciones correspondientes.

2.1.3. Muestreo

El muestreo se realizó por conveniencia, eligiendo la pulpa de café según la fecha de cosecha en cada caserío. La recolección dependió de la disponibilidad del fruto al momento de la cosecha y se seleccionaron las muestras que mejor representaban las condiciones de producción de cada zona. En total, se recolectaron 30 kilogramos de pulpa de café Catimor rojo cuando el fruto alcanzó su punto óptimo de madurez, identificado por el color rojo brillante de la cereza, su firmeza al tacto y la presencia de un grano verde claro o blanco en su interior. Estos criterios permitieron asegurar la calidad y uniformidad de las muestras utilizadas en la investigación.

2.2. Metodología

2.2.1. Descripción del proceso para la elaboración de la harina de pulpa de café

a) Recepción y selección de materia prima

La materia prima utilizada en este proceso provino de la variedad Catimor rojo, y se seleccionó exclusivamente la pulpa más fresca y libre de daños visibles. La pulpa estuvo libre de daños visibles, contaminantes o signos de descomposición. Asimismo, se consideraron criterios de calidad como el color rojo característico del fruto en su punto óptimo de madurez, su firmeza al tacto y la ausencia de fermentación no deseada.

b) Lavado (preparación) y refrigeración

La pulpa de café fue sometida a un lavado por inmersión con agua potable, con la finalidad de eliminar impurezas y material extraño adherido. Posteriormente, fue almacenada en refrigeración a una temperatura de 4 °C, con el objetivo de preservar sus características fisicoquímicas y limitar la actividad microbiana, evitando así la degradación de los azúcares presentes.

c) Transporte y recepción

La pulpa refrigerada fue transportada en un cooler con bolsas de hielo, manteniendo un rango de temperatura entre 2 °C y 5 °C. El tiempo de traslado fue de 3 horas para las muestras provenientes del caserío La Tranca y de 2 horas para las provenientes de Tomaque, con la finalidad de limitar la actividad microbiana y enzimática. Al llegar al lugar de secado, se realizó una inspección en el área de acopio para verificar la integridad de la materia prima y descartar posibles alteraciones durante el traslado.

d) Secado

Secado solar: La pulpa de café se extendió de forma ordenada sobre la superficie de secado. Este proceso se llevó a cabo utilizando un secador solar tipo túnel, con dimensiones de 2 m de ancho, 6 m de largo y 2 m de altura, ubicado en un área bien ventilada y protegida de contaminantes. El secador solar estuvo diseñado para aprovechar la energía solar directa, manteniendo un rango de temperatura entre 15°C y 35°C, como se muestra en la Tabla 13. La pulpa fue sometida durante 5 días consecutivos.

Durante el secado, la pulpa fue removida periódicamente para favorecer una deshidratación homogénea y evitar la proliferación de mohos. El proceso continuó hasta alcanzar un contenido de humedad final aproximado de 4–7 %, adecuado para la conservación del producto.

Secado en estufa: La pulpa de café se distribuyó uniformemente sobre bandejas de secado y se sometió a deshidratación en una estufa previamente estabilizada a 60 °C. Durante el proceso, se realizó un monitoreo periódico hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado para la conservación de harinas (aproximadamente 4–7 %). Este método permitió un mayor control de las

condiciones de secado, favoreciendo una reducción uniforme de la humedad en menor tiempo.

e) Molienda

Se utilizó un molino de bolas (RETSCH, PM 100, Alemania) para realizar la molienda de las muestras, con el fin de obtener una textura homogénea en la harina de pulpa de café.

f) Tamizado

Después de la molienda y de haber obtenido partículas uniformes, se emplearon tres tamices de 850 μm (N°20), 600 μm (N°30) y 1.4 mm (N°14) para separar las partículas más finas y obtener una harina homogénea y de tamaño controlado.

g) Envasado

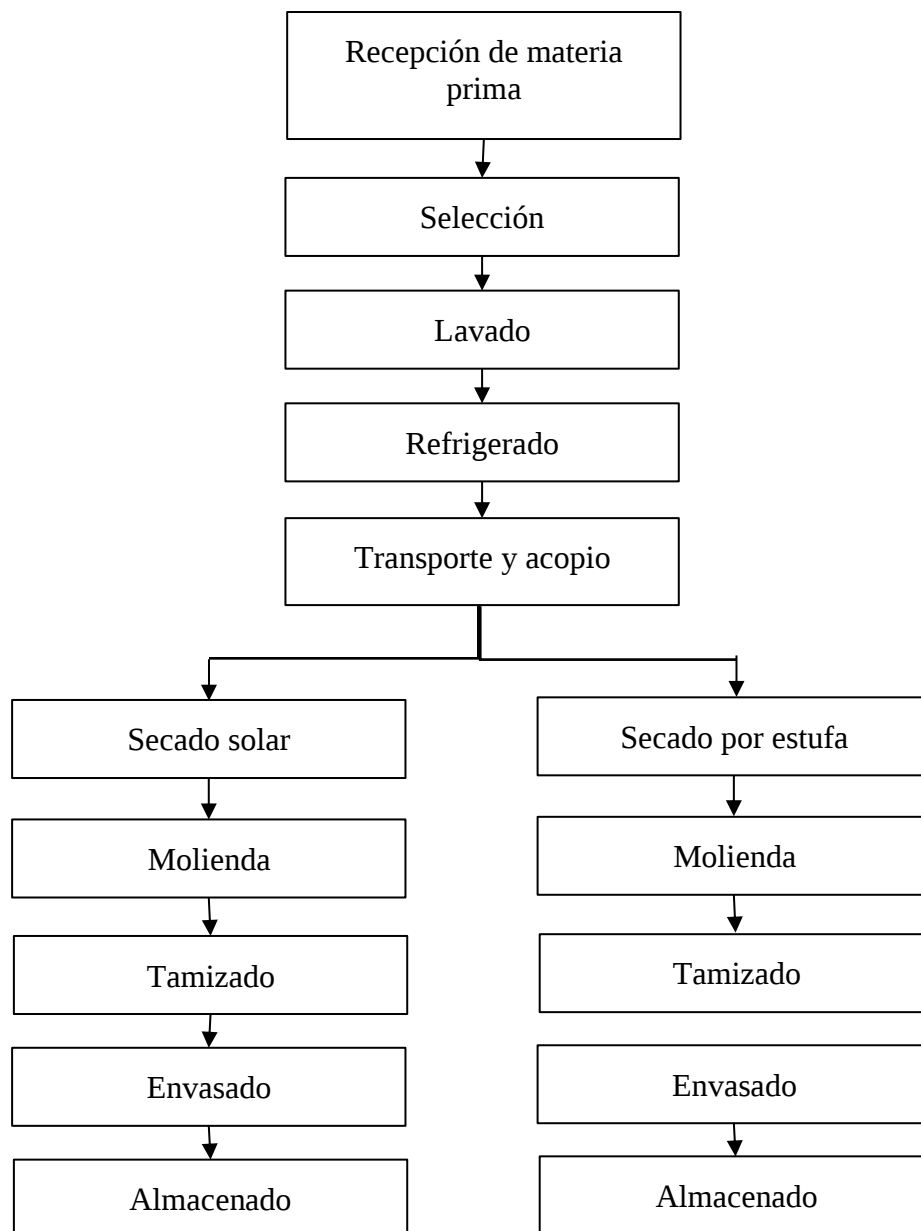
La harina de pulpa de café se envasó en envases de vidrio herméticos, con el propósito de protegerla de la humedad y de cualquier tipo de contaminación externa.

h) Almacenado

Finalmente, los envases de vidrio se almacenaron en un lugar fresco y seco, protegido de la luz solar directa y de cambios bruscos de temperatura, con el fin de conservar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la harina.

Figura 1

Flujograma de la elaboración de harina de pulpa de café



2.1.3. Métodos y técnicas

Evaluación fisicoquímica

- **Humedad:** Para determinar la humedad, se utilizó una balanza analítica (Ohaus, Pioneer PA214, EE.UU.) y una estufa (Mettler, UN55, Alemania), según la metodología establecida. Se colocaron 2 g de muestra en la bandeja y se inició el análisis. La lámpara halógena calentó la muestra hasta que el agua se evaporó, mientras la balanza registraba la pérdida de peso. Cuando el peso se mantuvo constante, el equipo mostró automáticamente el porcentaje de humedad presente en la muestra.

- **pH:** Se determinó mediante el método potenciométrico, según la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC, 2005). La medición del pH se realizó utilizando un medidor de pH (Hanna Instruments, HI2211, Rumania), previamente calibrado con buffer de pH 4.0, 7.0 y 10.0. Se pesó 5 g de muestra, se diluyó en 45 mL de agua destilada y finalmente se llevó al potenciómetro para realizar la medición.

- **Cenizas:** El método de incineración en mufla, basado en AOAC 2000: 942.05, se utilizó para calcular el contenido de cenizas. Este procedimiento implicó la calcinación de la muestra a alta temperatura (500–600 °C) en presencia de oxígeno, lo que provocó la combustión de la materia orgánica y la conversión de los componentes minerales en cenizas. Para la determinación de cenizas se utilizó una mufla (JSB, N-92, China), precalentada a 550 ± 20 °C.

Primero, se lavaron, secaron y pesaron los crisoles de porcelana con una precisión de 0.0001 g. Luego, se pesaron 5 g de pulpa de café en cada crisol y se

registró el peso total. La mufla se precalentó a 550 ± 20 °C, y una vez estabilizada, se introdujeron los crisoles con las muestras, incinerándolas entre 3 y 5 horas hasta obtener cenizas blancas o grisáceas, sin restos de materia orgánica. Finalmente, las cenizas se enfriaron en un desecador durante al menos 45 minutos antes de pesarlas nuevamente. El porcentaje de cenizas se calculó utilizando la fórmula correspondiente.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{(W - w)}{M} \times 100 \quad \dots (1)$$

Donde: M será el peso de la muestra en gramos, W será el peso en gramos del crisol más la ceniza y w es el peso en gramos del crisol vacío.

Este protocolo se adaptará específicamente para la pulpa de café, basado en los métodos oficiales de análisis de la (AOAC, 2000).

- **Capacidad antioxidante:** La capacidad antioxidante fue evaluada mediante el método DPPH, siguiendo la metodología propuesta por Brand-Williams et al. (1995). Se preparó una solución de metanol al 80% (160 mL de metanol más 40 mL de agua destilada) y se realizó una dilución de 1:10 (muestra/solvente). Las suspensiones fueron agitadas en un vortex y centrifugadas a 10,000 rpm durante 10 minutos a 22 °C.

La solución de DPPH se obtuvo disolviendo 23.6 mg en 100 mL de metanol al 80%, ajustando la absorbancia a 0.700 ± 0.02 a 517 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-Vis, EE.UU.), a 517 nm.. La solución se mantuvo protegida de la luz, envuelta en papel aluminio hasta su uso.

Con el extracto diluido 1:10 se hicieron diluciones 1:50, 1:100 y 1:150, además de una dilución intermedia 1:25 (1.2 mL de extracto + 1.8 mL de metanol al 80%). De cada dilución, se tomaron 0.1 mL que se mezclaron con 3.9 mL de la solución de DPPH en tubos Falcon de 15 mL. Las mezclas se homogeneizaron en un vortex durante 10 segundos y se incubaron en la oscuridad durante 30 minutos.

Finalmente, tomamos la dilución 1:25 y se midió la absorbancia a 517 nm en cubetas de cuarzo, utilizando como control la solución de DPPH sin extracto.

- **Fenoles:** La cuantificación de los fenoles totales se realizó mediante el método Folin-Ciocalteu, de acuerdo con AOAC 952.03 (2023). Este método se basa en la capacidad reductora de los compuestos fenólicos presentes en la muestra frente al reactivo Folin-Ciocalteu, generando una coloración azul cuya intensidad es proporcional a la concentración de fenoles totales.

Previamente, se obtuvieron los extractos etanólicos de las muestras, los cuales fueron filtrados y conservados en frascos ámbar hasta su análisis. Para la determinación, se tomó una alícuota del extracto y se adicionó el reactivo Folin-Ciocalteu previamente diluido al 10% (v/v). La mezcla se dejó reposar durante 5 minutos a temperatura ambiente.

Posteriormente, se añadió una solución de carbonato de sodio al 4% (p/v) para proporcionar el medio alcalino necesario para el desarrollo de la reacción. La mezcla fue homogenizada e incubada durante 30 minutos en ausencia de luz, a temperatura ambiente.

Finalizado el tiempo de reacción, la absorbancia fue medida a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-Vis, EE.UU.), utilizando agua destilada como blanco analítico.

La cuantificación se realizó mediante una curva de calibración ($y = 0.0006x + 0.7021$) elaborada con ácido gálico como estándar de referencia. De acuerdo con Floegel et al. (2011), el contenido de fenoles totales se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$FT = \frac{C \cdot V}{m} \quad \dots (2)$$

Donde:

FT = contenido de fenoles totales (mg EAG/g)

C = concentración obtenida de la curva de calibración (mg/mL)

V = volumen total del extracto (mL)

m = masa de muestra utilizada (g)

Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g).

- **Proteínas:** La determinación del contenido de proteínas en la harina de pulpa de café se realizó mediante el método Kjeldahl, de acuerdo el método AOAC 2001.11 (AOAC International, 2005). Para ello, se pesó con precisión 1 g de muestra, la cual fue colocada en un tubo digestor. Posteriormente, se adicionó una pastilla catalizadora y 20 mL de ácido sulfúrico concentrado.

La digestión se llevó a cabo durante aproximadamente 2 horas y 30 minutos, iniciando a 150 °C e incrementando gradualmente la temperatura hasta 450 °C, hasta obtener una solución transparente. Finalizada esta etapa, se

adicionaron 50 mL de agua destilada y el tubo fue conectado al destilador Kjeldahl.

El amoníaco liberado durante la destilación fue recolectado en un matraz Erlenmeyer de 250 mL que contenía 50 mL de ácido bórico al 4% y de 8 a 10 gotas de indicador mixto. Posteriormente, se agregaron aproximadamente 45 mL de hidróxido de sodio al 50%, recolectándose 100 mL de destilado.

Finalmente, el amoníaco retenido en la solución receptora fue valorado mediante titulación con ácido clorhídrico 0.1 N hasta observar el cambio de color del indicador.

El porcentaje de nitrógeno total se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\%N = (V \times F \times N \times 0.014 \times 100) / P \quad \dots (3)$$

Posteriormente, el porcentaje de proteína bruta se obtuvo aplicando:

$$\%PB = \%N \times 6.25 \quad \dots (4)$$

Donde:

V = *volumen de la solución de ácido gastado en la titulación (mL)*

F = *factor de la solución de ácido*

N = *normalidad de la solución de ácido*

P = *peso de la muestra analizada (g)*

0.014 = *miliequivalente gramo de nitrógeno*

6.25 = *factor de conversión del nitrógeno en proteína bruta*

Los resultados fueron expresados como porcentaje de proteína bruta (%) en base seca

- **Flavonoides:** El contenido de flavonoides totales se determinó mediante el método colorimétrico con cloruro de aluminio (AlCl_3), de acuerdo con la

metodología descrita por Hasheminya y Dehghannya (2021). Este método se fundamenta en la formación de complejos entre los flavonoides presentes en la muestra y el ion aluminio, produciendo una coloración cuya intensidad es proporcional a la concentración de flavonoides totales.

Para la cuantificación, se preparó una solución patrón de catequina (1000 ppm), a partir de la cual se elaboró la curva de calibración con concentraciones comprendidas entre 50 y 1000 ppm.

En tubos de ensayo se colocaron 300 μL del extracto etanólico, adicionándose posteriormente 90 μL de nitrito de sodio al 5%, 90 μL de cloruro de aluminio al 10%, 600 μL de hidróxido de sodio 1 M y 1920 μL de agua destilada. La mezcla fue homogenizada en un agitador de tubos y mantenida en oscuridad a temperatura ambiente durante 15 minutos.

Posteriormente, la absorbancia fue medida a 415 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-Vis, EE.UU.), empleando agua destilada como blanco analítico.

La cuantificación se realizó mediante la ecuación de la recta ($y = 0.0014x + 0.0391$) obtenida en la curva de calibración elaborada con catequina como estándar.

$$FLT = \frac{C \cdot V}{m} \quad \dots (5)$$

Donde:

FT = contenido de flavonoides totales (mg catequina/g)

C = concentración obtenida de la curva de calibración (mg/mL)

V = volumen total del extracto (mL)

m = masa de muestra utilizada (g)

Los resultados fueron expresados como miligramos de catequina por gramo de muestra seca (mg catequina/g)

Evaluación microbiológica

En primer lugar, las placas Petri y pipetas se esterilizaron en estufa a 180 °C durante 2 horas, asegurando la eliminación de posibles contaminantes.

Posteriormente, se pesaron el agar papa dextrosa y el caldo peptona, los cuales se disolvieron en agua destilada en un matraz Erlenmeyer y se calentaron hasta ebullición; seguidamente, el medio se esterilizó en autoclave durante 1 hora y, al finalizar, se enfrió con agua para su posterior utilización.

A continuación, el medio estéril se distribuyó en tubos de ensayo con ayuda de pipetas previamente esterilizadas, y se adicionó caldo peptona a las muestras para la preparación de las diluciones decimales (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}). Luego, se realizaron siembras por triplicado en placas Petri, depositando 1 mL de cada dilución y vertiendo sobre ellas entre 10 y 15 mL de agar papa dextrosa fundido a 45–50 °C; inmediatamente, el inóculo se mezcló con el medio mediante movimientos de inclinación y rotación, hasta lograr una distribución homogénea.

Finalmente, una vez solidificado el agar, las placas se invirtieron y se incubaron a 30 °C durante 1 días; al término del periodo de incubación, se procedió al recuento de colonias de mohos y levaduras, expresando los resultados en unidades formadoras de colonia por gramo de muestra (UFC/g).

Evaluación tecnofuncional

- **Capacidad de retención de agua y aceite:** Siguiendo la metodología de Cortazar (2024), se determinó la capacidad de retención de agua (CRA) y aceite (CRO) de la harina de pulpa de café. Para ello, se pesaron 0.2 g de muestra utilizando una balanza analítica (Ohaus, Pioneer PA214, EE.UU.) en tubos de centrifuga previamente tarados, a los cuales se les adicionó 1 mL de agua destilada (para CRA) o 1 mL de aceite vegetal (para CRO).

La mezcla se agitó durante 20 segundos empleando un vórtex, con el fin de lograr una adecuada dispersión de la muestra, y posteriormente se dejó en reposo durante 30 minutos a temperatura ambiente (25 °C).

Luego, las muestras fueron centrifugadas a 13,800 g durante 5 minutos en una centrífuga (EPPENDORF, 5810R, Alemania). El sobrenadante no retenido fue cuidadosamente decantado y pesado.

La capacidad de retención de agua y aceite se expresó como porcentaje (%), calculándose mediante la siguiente ecuación:

$$CRA \text{ o } CRO (\%) = \frac{W_o - W_s}{W_o} \times 100 \quad \dots (6)$$

Donde:

W_o = es la masa inicial de agua o aceite añadido (g).

W_s = es la masa de agua o aceite no absorbido (g).

- **Capacidad de solubilidad:** La solubilidad en agua (WSI) se determinó siguiendo la metodología de Cabrera et al. (2023). Se pesaron 2.5 ± 0.001 g de muestra

utilizando una balanza analítica (Ohaus, Pioneer PA214, EE.UU.) y se mezclaron con 40 mL de agua destilada. La mezcla fue agitada durante 30 segundos utilizando un vórtex.

Posteriormente, las muestras fueron incubadas a 30 °C durante 30 minutos en un baño María digital, con control de temperatura. Luego, se centrifugaron a 5000 rpm durante 10 minutos en una centrífuga de laboratorio.

El sobrenadante obtenido fue transferido a vasos precipitados previamente pesadas y secado en estufa (Mettler, UN55, Alemania) a 105 °C hasta peso constante. Finalmente, se registró el peso del residuo seco.

La solubilidad se expresó como porcentaje (%), calculándose mediante la siguiente ecuación:

$$WSI = \frac{\text{Peso de residuo seco (g)}}{\text{Peso inicial de agua (g)}} \quad \dots (7)$$

- **Capacidad de hinchamiento:** La capacidad de hinchamiento se determinó según la metodología de García et al. (2012). Se pesaron 100 mg de muestra utilizando una balanza analítica (Ohaus, Pioneer PA214, EE.UU.) en tubos graduados, a los cuales se les adicionaron 10 mL de agua destilada. La mezcla se agitó suavemente para asegurar su dispersión y se dejó en reposo durante 16 horas a temperatura ambiente (25 °C), permitiendo la completa hidratación de la muestra. Posteriormente, se midió el volumen final ocupado por la muestra utilizando la escala del tubo graduado. Los resultados se expresaron como mililitros por gramo de muestra (mL/g).

- **Capacidad de formación y estabilidad de espuma:** Siguiendo la metodología de Cortazar (2024), se evaluó la capacidad de formación de espuma (CE) y la estabilidad de la espuma (EE). Se prepararon soluciones de harina al 5%, 10%, 15% y 20% (p/v) en agua destilada, utilizando caseína al 3% como control. Las soluciones fueron homogenizadas a alta velocidad (14,200 rpm) durante 1.5 minutos utilizando un homogeneizador (IKA, T25D, Alemania), con el fin de incorporar aire y generar espuma.

El volumen de espuma generado (V2) se midió inmediatamente después de la agitación y nuevamente después de 30 minutos (V30), utilizando material volumétrico. La capacidad de formación de espuma y su estabilidad se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$CE = \frac{V2 - V1}{V1} \times 100 \quad \dots (8)$$

$$EE = \frac{V30}{V1} \times 100 \quad \dots (9)$$

Donde: V1 es el volumen inicial de la solución, V2 es el volumen de espuma inmediatamente después de la agitación y V30 es el volumen de espuma después de la agitación.

- **Capacidad emulsionante y estabilidad de la emulsión:** La capacidad emulsificante (CM) y la estabilidad de la emulsión (EM) se determinaron según la metodología de Cortazar (2024). Se prepararon soluciones de harina al 5%, 10%, 15% y 20% (p/v) en agua destilada, a las cuales se añadió aceite vegetal en proporción 1:1.

Las mezclas fueron homogenizadas durante 1.5 minutos a 14,200 rpm utilizando un homogeneizador de laboratorio.

Posteriormente, se dejó reposar la mezcla y se midió la altura de la capa emulsionada y la altura total de la mezcla. La estabilidad se evaluó después de 30 minutos, registrando la separación de fases. Los resultados se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$CM (\%) = \frac{\text{Altura de la capa emulsionada}}{\text{Altura total de la mezcla}} \times 100 \quad \dots (10)$$

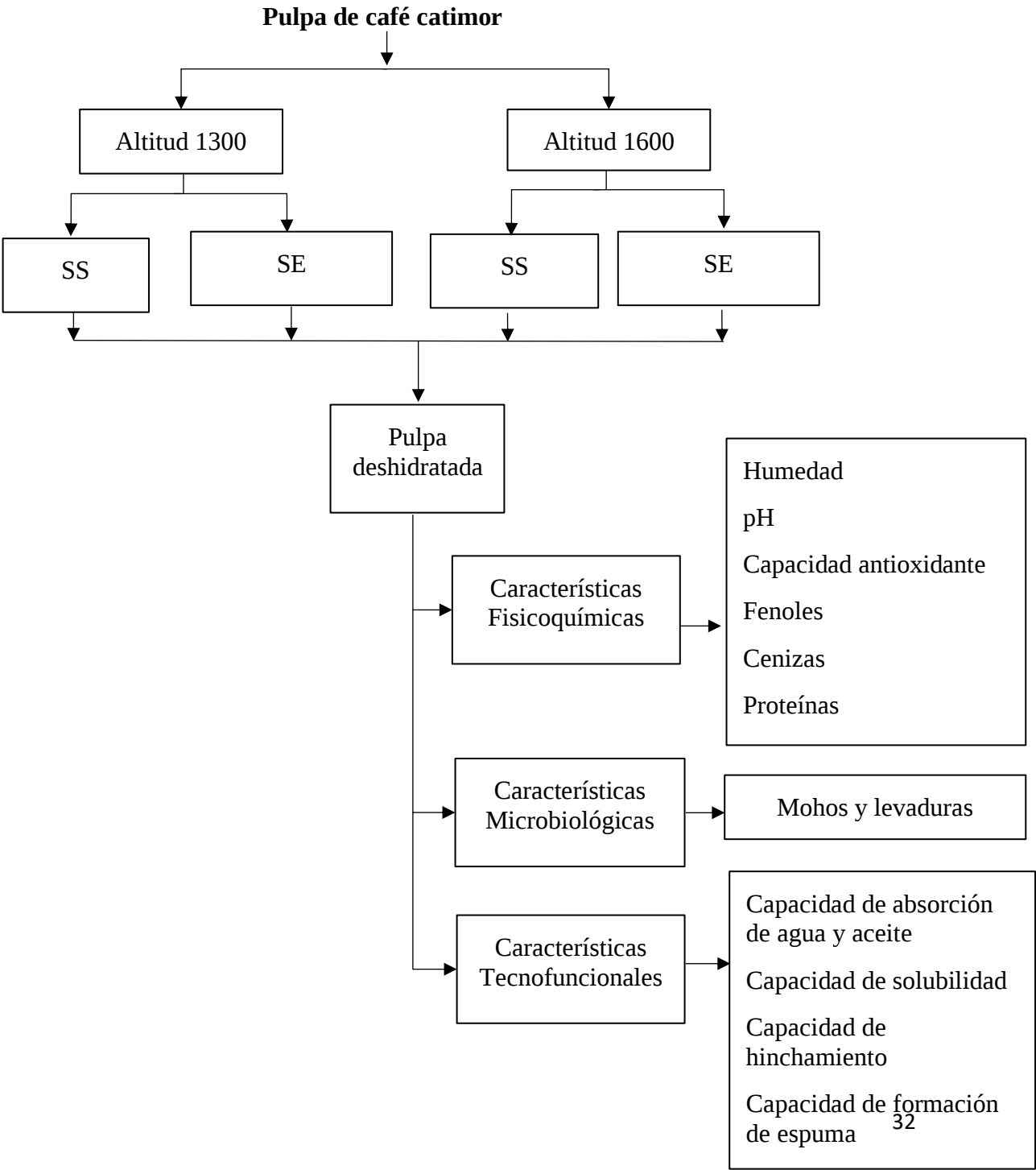
$$EM (\%) = \frac{\text{Altura de la capa emulsionada después de 30 min}}{\text{Altura inicial de la capa de la muestra}} \times 100 \quad \dots (11)$$

2.1.4. Diseño de investigación

La investigación se realizó mediante un diseño de bloques completos al azar (diferentes altitudes) se realizaron comparaciones entre cada nivel (tipos de secado: secado solar y estufa), para evaluar el efecto en las características fisicoquímicas, microbiológicas y tecnofuncionales de la harina de pulpa de café. El diseño contempló 4 tratamientos con 3 repeticiones, es decir 12 unidades experimentales que fueron evaluados.

Figura 2

Esquema experimental de la investigación



Nota: Nomenclatura de los tratamientos

SS: Secado solar, molido y en harina.

SE: Secado por estufa, molido y en harina.

2.1.5. Análisis de datos

Se empleó estadística descriptiva para analizar los datos de las variables dependientes (características fisicoquímicas, microbiológicas y tecnofuncionales). Tras recopilar estos datos, se evaluaron los supuestos necesarios para aplicar el ANOVA, lo que permitió identificar diferencias significativas entre los métodos de secado (solar y estufa). Si se detectan diferencias significativas, se realizará la prueba de comparaciones múltiples de Tukey al 95% de confianza, utilizando el software SPSS.

III.RESULTADOS

1. Características fisicoquímicas

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las propiedades fisicoquímicas de la harina de pulpa de café. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$) en las variables humedad, pH, proteínas, flavonoides, fenoles, capacidad antioxidante y actividad de agua, lo que indica la influencia del tipo de secado y la altitud. En contraste, el contenido de cenizas no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$). (ver Anexo 6).

Tabla 1

Características fisicoquímicas de la harina de pulpa de café según tipo de secado y altitud

Variable	1600–Solar	1600–Estufa	1300–Solar	1300–Estufa
Humedad (%)	4.72 ± 0.25^b	3.25 ± 0.06^c	6.44 ± 0.17^a	3.42 ± 0.05^c
pH	4.68 ± 0.03^b	4.24 ± 0.04^c	5.21 ± 0.08^a	4.25 ± 0.07^c
Cenizas (%)	11.00 ± 3.90^a	6.11 ± 0.33^a	11.03 ± 5.70^a	6.73 ± 0.25^a
Proteínas (%)	6.35 ± 0.05^a	4.64 ± 0.09^c	5.95 ± 0.09^b	4.63 ± 0.09^c
Flavonoides (mg/g)	413.81 ± 32.60^a	225.17 ± 26.09^c	197.15 ± 17.08^b	136.90 ± 0.93^c
Fenoles (mg GAE/g)	891.83 ± 4.17^b	487.60 ± 0.46^d	1431.36 ± 3.57^a	583.50 ± 38.70^c
Capacidad antioxidante	1059.61 ± 2.51^a	861.83 ± 33.34^a	727.39 ± 76.01^a	539.06 ± 101.59^a

Nota: Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La humedad presentó su valor más alto en el tratamiento 1300–Solar (6.44 ± 0.17 ; a), mientras que los tratamientos 1600–Solar (4.72 ± 0.25 ; b) y los secados en estufa mostraron valores menores. En particular, los tratamientos 1600–Estufa (3.25 ± 0.06 ; c)

y 1300–Estufa (3.42 ± 0.05 ; c) no difirieron significativamente entre sí, conformando el mismo grupo estadístico.

El pH alcanzó el valor más alto en el tratamiento 1300–Solar (5.21 ± 0.08 ; a). Por otro lado, los tratamientos 1600–Estufa (4.24 ± 0.04 ; c) y 1300–Estufa (4.25 ± 0.07 ; c) no presentaron diferencias significativas entre sí, agrupándose en el mismo conjunto estadístico.

El contenido de cenizas no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0.05$). En cuanto a las proteínas, el mayor valor se registró en el tratamiento 1600–Solar (6.35 ± 0.05 ; a), mientras que los menores valores se observaron en los tratamientos con secado en estufa, los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Asimismo, los flavonoides alcanzaron su mayor concentración en el tratamiento 1600–Solar (413.81 ± 32.60 ; a), seguido de 1300–Solar (197.15 ± 17.08 ; b), mientras que los tratamientos con secado en estufa mostraron valores inferiores, sin diferencias significativas entre ellos.

Los fenoles presentaron diferencias significativas entre todos los tratamientos, registrándose el mayor valor en 1300–Solar (1431.36 ± 3.57 ; a) y el menor en 1600–Estufa (487.60 ± 0.46 ; d), con una clara separación de grupos estadísticos. La capacidad antioxidante mostró diferencias significativas entre los factores evaluados ($p > 0.05$).

2. Propiedades microbiológicas

En la Tabla 2 se presentan los resultados microbiológicos de la harina de pulpa de café. Se evidenció efecto significativo del tipo de secado sobre la variable mohos y levaduras

($p < 0.05$), mientras que la altitud no presentó efecto significativo ($p > 0.05$) (ver Anexo 7).

Tabla 2

Recuento microbiológico (UFC/g $\times 10^{-3}$) de mohos y levaduras en harina de pulpa de café según tipo de secado y altitud

Variable	1600–Solar	1600–Estufa	1300–Solar	1300–Estufa
Mohos (UFC/g $\times 10^3$)	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Levaduras (UFC/g $\times 10^3$)	197.67 $\pm$ 12.50 ^a	89.00 $\pm$ 6.56 ^b	201.67 $\pm$ 34.03 ^a	99.33 $\pm$ 10.26 ^b

Nota. Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

La carga de levaduras presentó diferencias significativas según el tipo de secado ($p < 0.05$), con valores mayores en el secado solar y menores en el secado en estufa en ambas altitudes. La altitud no mostró efecto significativo, y no se detectó presencia de mohos en ningún tratamiento. Asimismo, la ausencia de interacción ($p > 0.05$) indica que el efecto del secado es independiente de la altitud, identificándose dos grupos homogéneos: solar (a) y estufa (b).

3. Propiedades tecnofuncionales

En la Tabla 3 se presentan las propiedades tecnofuncionales de la harina de pulpa de café. Se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), atribuibles al tipo de secado y la altitud (ver Anexo 8).

Tabla 3

Características tecnofuncionales de la harina de pulpa de café según tipo de secado y altitud

Variable	1600–Solar	1600–Estufa	1300–Solar	1300–Estufa
Retención de agua (%)	59.49 ± 1.49^b	66.31 ± 1.32^a	48.49 ± 3.17^c	71.94 ± 2.47^a
Retención de aceite (%)	26.90 ± 1.20^c	28.39 ± 0.35^b	29.40 ± 0.81^b	35.51 ± 2.54^a
Solubilidad (%)	26.33 ± 0.78^a	15.97 ± 0.07^a	20.96 ± 0.87^a	10.92 ± 0.03^a
Hinchamiento (mL/g)	7.64 ± 0.04^a	7.09 ± 0.13^c	7.60 ± 0.14^a	7.79 ± 0.02^b
Formación de espuma (%)	0.00 ± 0.00^c	4.00 ± 0.00^a	0.00 ± 0.00^c	1.91 ± 0.02^b
Actividad emulsionante (%)	100.00 ± 0.00^a	100.00 ± 0.00^a	94.68 ± 0.64^c	99.27 ± 0.63^b

Nota: Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar ($n = 3$). Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La retención de agua y de aceite presentó los valores más altos en 1300–Estufa (71.94 ± 2.47 ; a y 35.51 ± 2.54 ; a), mientras que 1600–Solar mostró los valores más bajos. En retención de aceite, 1600–Estufa (28.39 ± 0.35 ; b) y 1300–Solar (29.40 ± 0.81 ; b) no mostraron diferencias significativas entre sí.

El hinchamiento fue similar entre 1300–Estufa (7.79 ± 0.02 ; b), 1600–Solar (7.64 ± 0.04 ; a) y 1300–Solar (7.60 ± 0.14 ; a), mientras que 1600–Estufa presentó el menor

valor (7.09 ± 0.13 ; c). La formación de espuma solo se presentó en los tratamientos con secado en estufa, con mayor valor en 1600–Estufa (4.00 ± 0.00 ; a).

La actividad emulsionante fue similar en 1600–Solar y 1600–Estufa (100.00 ± 0.00 ; a), seguida de 1300–Estufa (99.27 ± 0.63 ; b), mientras que 1300–Solar presentó el menor valor (94.68 ± 0.64 ; c). En la solubilidad no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

IV. DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que el tipo de secado y la altitud influyen de manera significativa en las propiedades fisicoquímicas de la harina de pulpa de café. El contenido de humedad fue significativamente mayor en el secado solar, particularmente a menor altitud ($p < 0.001$), mientras que el secado en estufa permitió alcanzar valores más bajos y estables. Este comportamiento puede explicarse por la mayor eficiencia del secado en estufa en la eliminación de agua libre, debido a la aplicación de temperaturas constantes que aceleran la difusión de la humedad. En contraste, el secado solar depende de condiciones ambientales variables, lo que prolonga el tiempo de secado y favorece una mayor retención de agua. Estos resultados concuerdan con lo señalado por Jiamjariyatam et al. (2022) y Arya et al. (2022), quienes indican que los métodos de secado a temperaturas controladas reducen de forma más eficiente la disponibilidad de agua libre, limitando reacciones deteriorativas y el desarrollo microbiano.

El pH también fue afectado significativamente por el tipo de secado y la altitud ($p < 0.001$), observándose valores más elevados en el secado solar, lo que sugiere una mayor preservación de compuestos orgánicos sensibles al calor, tales como ácidos débiles y metabolitos secundarios, menor concentración o transformación de ácidos orgánicos durante el proceso de secado (Kieu et al., 2020). En contraste, el tratamiento en estufa puede inducir reacciones de degradación o transformación química, como la descomposición de ácidos orgánicos, generando valores de pH más bajos (Kieu et al., 2020). Por otro lado, el contenido de cenizas no presentó diferencias significativas ($p >$

0.05), lo que indica que los minerales presentes en la pulpa de café permanecen estables frente a las condiciones de secado, debido a su naturaleza inorgánica. Este resultado es consistente con lo reportado en estudios previos sobre subproductos del café, donde los minerales no se ven afectados por variaciones en temperatura o altitud (Arya et al., 2022; Jiamjariyatam et al., 2022).

Respecto al contenido de proteínas, se evidenció un efecto significativo del tipo de secado, la altitud y su interacción ($p < 0.01$), siendo el secado solar a mayor altitud el que favoreció su conservación. Este resultado se explica por la menor severidad térmica del proceso, que reduce la desnaturalización proteica y preserva la estructura funcional de las proteínas (Jiamjariyatam et al., 2022). Además, a mayor altitud, las condiciones de temperatura y radiación podrían favorecer una deshidratación más gradual, reduciendo el daño térmico acumulado (Song et al., 2026). Este comportamiento concuerda con lo descrito por Jiamjariyatam et al. (2022), quienes reportan una mayor retención de proteínas en métodos de secado menos agresivos.

De manera similar, los flavonoides y los compuestos fenólicos totales mostraron diferencias altamente significativas según el tipo de secado, la altitud y su interacción ($p < 0.001$), destacando el secado solar. Sin embargo, se observó un comportamiento diferenciado entre compuestos, donde los flavonoides alcanzaron mayores valores a mayor altitud, mientras que los fenoles totales fueron superiores a menor altitud. Esto sugiere que la síntesis, estabilidad y degradación de estos compuestos dependen de factores ambientales como la radiación solar, temperatura y disponibilidad de oxígeno durante el secado (Song et al., 2026). Estos resultados coinciden con lo reportado por Alza y Aurora (2019) y Kieu et al. (2020), quienes señalan que los tratamientos menos

agresivos preservan mejor los compuestos bioactivos, aunque su comportamiento puede variar según la naturaleza química de cada compuesto.

La capacidad antioxidante fue influenciada significativamente por el tipo de secado ($p = 0.001$) y la altitud ($p < 0.001$), sin interacción significativa, lo que sugiere un efecto independiente de ambos factores. Este comportamiento indica que tanto las condiciones térmicas como ambientales contribuyen de manera individual a la preservación o degradación de compuestos antioxidantes, lo cual ha sido reportado en estudios donde la altitud influye en la actividad antioxidante del café (Song et al., 2026). Asimismo, la relación observada entre fenoles y capacidad antioxidante refuerza la importancia de estos compuestos en la actividad antioxidante total. Estos resultados respaldan lo reportado por Arango et al. (2023), quienes destacan el alto potencial antioxidante de la pulpa de café cuando se aplican condiciones de secado adecuadas.

En conjunto, el comportamiento de las propiedades fisicoquímicas sugiere que la influencia del tipo de secado y la altitud no es uniforme, sino dependiente de la naturaleza de cada variable. La humedad y el pH, que alcanzaron sus mayores valores en 1300–Solar, evidencian una clara dependencia de la interacción entre ambos factores, lo cual puede atribuirse a un secado más lento y menos eficiente en la eliminación de agua, favoreciendo además la conservación de compuestos orgánicos sensibles (Arya et al., 2022). En el caso de las proteínas, el mayor valor en 1600–Solar indica que el tipo de secado es el factor predominante, ya que el secado solar, al ser menos agresivo, reduce la desnaturalización proteica (Jiamjariyatam et al., 2022), mientras que la altitud podría contribuir a un proceso más gradual que limita el daño térmico (Song et al., 2026). Para los flavonoides, el máximo observado en 1600–Solar sugiere un mayor efecto de la altitud, posiblemente relacionado con condiciones ambientales como radiación y

temperatura que influyen en su estabilidad (Song et al., 2026); mientras que los fenoles, con valores superiores en 1300–Solar, reflejan una mayor dependencia de la interacción entre secado y altitud. La capacidad antioxidante, cuyo mayor valor también se registró en 1600–Solar, mostró un efecto independiente de ambos factores, lo que sugiere que su comportamiento resulta de la contribución conjunta, pero no interactiva, de compuestos antioxidantes presentes. Por otro lado, la actividad de agua, con valores más altos en 1300–Estufa, evidencia que el tipo de secado es el factor dominante, probablemente debido a modificaciones estructurales inducidas por el calor (Arya et al., 2022). Finalmente, la ausencia de diferencias en cenizas confirma que los minerales no son sensibles a las condiciones de secado ni a la altitud (Arya et al., 2022).

En cuanto a las propiedades microbiológicas, el tipo de secado ejerció un efecto significativo sobre la carga de levaduras ($p < 0.001$), registrándose valores más elevados en los tratamientos con secado solar tanto en 1300 como en 1600 msnm, mientras que los valores más bajos se observaron en el secado en estufa en ambas altitudes. La ausencia de diferencias significativas entre 1300 y 1600 msnm, así como la falta de interacción entre factores ($p > 0.05$), indica que la altitud no influye de manera determinante, siendo el tipo de secado el factor predominante en el control microbiológico. Este comportamiento puede explicarse por el efecto del calor en el secado en estufa, el cual reduce la viabilidad de las levaduras mediante la desnaturalización de proteínas y la inactivación enzimática (Arya et al., 2022). En contraste, el secado solar, al ser un proceso más lento y dependiente de condiciones ambientales variables, favorece la supervivencia de estos microorganismos durante el secado, independientemente de la altitud.

Finalmente, las propiedades tecnofuncionales mostraron variaciones significativas asociadas al tipo de secado, la altitud y, en algunos casos, a su interacción.

La retención de agua, retención de aceite e hinchamiento presentaron interacciones significativas ($p < 0.001$), lo que indica que la estructura física de la harina se modifica según la combinación de factores (1300–1600 msnm y secado solar–estufa). Estos cambios pueden atribuirse a la desnaturalización de proteínas y a la modificación de polisacáridos, lo que incrementa la capacidad de interacción con agua y lípidos (Mirón et al., 2021). La solubilidad fue afectada de manera independiente por ambos factores ($p < 0.001$), evidenciando que depende tanto de la composición química como de la estructura del material. Asimismo, la formación de espuma y la actividad emulsionante mostraron efectos altamente significativos del tipo de secado, la altitud y su interacción ($p < 0.001$), lo que refleja cambios en las propiedades interfaciales de las proteínas y su comportamiento funcional en sistemas alimentarios (Mirón et al., 2021).

El análisis de comparación múltiple de Tukey permitió identificar diferencias específicas entre tratamientos. La retención de agua y aceite alcanzó sus mayores valores en 1300–Estufa, lo que indica que el tipo de secado es el factor predominante, ya que el tratamiento térmico genera modificaciones estructurales que favorecen la absorción. En cuanto al hinchamiento, los valores más altos se observaron en 1300–Estufa, evidenciando una mayor influencia de la interacción entre altitud y secado. La formación de espuma fue mayor en 1600–Estufa, lo que sugiere que el calor favorece la desnaturalización proteica y mejora esta propiedad, mientras que en los tratamientos solares (1300–Solar y 1600–Solar) fue prácticamente nula. Por otro lado, la actividad emulsionante presentó sus mayores valores en 1600–Solar, lo que indica una mayor conservación de compuestos funcionales bajo condiciones menos agresivas, evidenciando así un mayor efecto de la altitud en combinación con el secado solar (Mirón et al., 2021).

En conjunto, los hallazgos muestran que el secado solar a mayor altitud (1600–Solar) favorece la preservación de proteínas, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante ($p < 0.01$), mientras que el secado en estufa, especialmente en 1300–Estufa, permite optimizar determinadas propiedades tecnofuncionales mediante modificaciones estructurales. En consecuencia, se acepta la hipótesis planteada, confirmándose que el tipo de secado y la altitud influyen significativamente en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y tecnofuncionales de la harina de pulpa de café, lo que resalta la importancia de seleccionar adecuadamente las condiciones de procesamiento según el uso final del producto.

V.CONCLUSIONES

El tipo de secado y la altitud influyen significativamente en las características fisicoquímicas de la harina de pulpa de café. Se evidenció efecto en variables como humedad, pH, proteínas, flavonoides, fenoles, capacidad antioxidante y actividad de agua, destacando el tratamiento 1600–Solar en la conservación de compuestos bioactivos ($p < 0.01$), favoreciendo la estabilidad del producto. El contenido de cenizas no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$).

El tipo de secado y la altitud influyen en las características microbiológicas de la harina de pulpa de café, siendo el tipo de secado el factor predominante en la carga de levaduras ($p < 0.001$), con valores mayores en el secado solar (1300 y 1600 msnm) y menores en el secado en estufa. La altitud y la interacción no mostraron efecto significativo, y no se detectaron mohos en ninguna condición.

El tipo de secado y la altitud influyen significativamente en las características tecnofuncionales de la harina de pulpa de café. Se evidenció efecto en la retención de agua, retención de aceite, hinchamiento, formación de espuma y actividad emulsionante, con interacción significativa ($p < 0.05$), destacando el tratamiento 1300–Estufa en propiedades de absorción. La solubilidad fue afectada de manera independiente por ambos factores.

De manera general, el tipo de secado y la altitud influyen significativamente en las características fisicoquímicas, microbiológicas y tecnofuncionales de la harina de pulpa de café variedad Catimor. El secado solar a mayor altitud favorece la conservación de la calidad nutricional y compuestos bioactivos, mientras que el secado en estufa mejora la estabilidad e inocuidad del producto, confirmando la hipótesis planteada y el potencial de la pulpa de café como materia prima para su aprovechamiento sostenible.

VI.RECOMENDACIONES

- Evaluar la incorporación de la harina de pulpa de café en diferentes productos alimenticios, como panificados, galletas, bebidas o productos extruidos, para determinar su comportamiento tecnológico, valor nutricional y aceptación sensorial.
- Realizar estudios de vida útil de la harina de pulpa de café, evaluando los cambios fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales durante el almacenamiento bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad.
- Investigar otros métodos de secado, como liofilización, secado por aire caliente o secado al vacío, para comparar su efecto sobre la conservación de los compuestos bioactivos y las propiedades tecnofuncionales.
- Ampliar la investigación incluyendo otras variedades de café y diferentes niveles altitudinales, con el fin de determinar cómo estos factores influyen en la calidad de la harina y ampliar la aplicabilidad de los resultados.

VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agraria, (2023). *La cáscara del café ahora vale más que el grano, ¿Cómo lo está aprovechando Perú?* Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias. <https://agraria.pe/noticias/la-cascara-del-cafe-ahora-vale-mas-que-el-grano-como-lo-esta-31411>

Arango, E., Rendón, Y., Cadena, E., Santa, J., y Buitrago, R. (2023). Evaluation of Colombian Coffee Waste to Produce Antioxidant Extracts. *BioResources*, 18(3), 5703-5723. <https://doi.org/10.15376/biores.18.3.5703-5723>

Alza, A., y Aurora, Y. (2019). Efecto del secado en bandeja, liofilización y secado solar en la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa (*cynara scolymus*) var. Green globe y var. Imperial star. *Repositorio Institucional - UNS*. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3451>

AOAC. (2000). *AOAC (2000) Métodos oficiales de análisis. 17.^a edición, The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, EE. UU. Métodos 925.10, 65.17, 974.24, 992.16. - Referencias—Publicaciones de investigación científica.* <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1687699>

AOAC 980.14. (2023). AOAC Official Method 980.14Theobromine and Caffeine in Cacao Products: Liquid Chromatographic Method. En G. W. Latimer Jr. (Ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (22a ed., p. 0). AOAC Publications. <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.2920>

AOAC Official Method 952.03. (2023). AOAC Official Method 952.03. En G. W. Latimer Jr. (Ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*

(22nd ed., p. 0). Oxford University Press.

<https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.2699>

AOAC Official Method 978.18. (2023). AOAC Official Method 978.18. En G. W. Latimer Jr. (Ed.), *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL* (22nd Edition, p. 0). AOAC

Arguedas, P. (2014). Definición del proceso de elaboración de una bebida fermentada a partir de pulpa del café (broza). *Revista Tecnología en Marcha*, pág. 38-49. <https://doi.org/10.18845/tm.v0i0.1654>

Arya, S., Venkatram, R., More, P., y Vijayan, P. (2022). The wastes of coffee bean processing for utilization in food: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59(2), 429-444. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05032-5>

Asociación de Químicos Analíticos Oficiales. (2005). *Método oficial de la AOAC 981.12 pH de alimentos acidificados*. <https://doc.mbalib.com/view/71ba7f4759ab1b659d194fd1222526a3.html>

Barzola, A., Quiñones, L., Vásquez, B., Pérez, I., Díaz, M. (2020). Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú. *Tecnia*, 30(1), 107-113. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v30i1.824>

Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995) Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science & Technology*, 28, 25-30.

Cabrera, A. H., Gaytán, M., Gonzáles, E., Ramírez, A. K., Velázquez, G., Villamiel, M., y Morales, E. (2023). Flours from popped grains: Physicochemical, thermal, rheological, and techno-functional properties. *Food Hydrocolloids*, 135, 108129.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108129>

Cortazar, S. (2024). Análisis de las propiedades tecnofuncionales y bioactivas de la harina de Arsenura armida y de sus extractos proteínicos.

https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/dcl/cortazar_moya_s/

Del Aguila, E. y Fernandez, S. (2019). Obtención de Harina a Partir de Michuche (Xanthosoma spp.). *Universidad Nacional de Jaén*.

<http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/51>

García, L., y Gordillo, S. (2023). *Impacto de las prácticas sostenibles en la producción de café colombiano y su participación en el mercado mundial* [Bachelor Thesis,

Especialización en Gerencia Logística].

<https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/12348>

García, O., Aiello, C., Chirino, M., Ruíz-Ramírez, J., y Pons, I. (2012). Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (Cajanus cajan check for this species in other resources (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919-928.

Hu, S., Gil, A., Martín, M., Benítez, V., Aguilera, Y., y Martín, M. (2023). Valorization of coffee pulp as bioactive food ingredient by sustainable extraction methodologies. *Current Research*

ISO 21527-1. (2008). *ISO 21527-1:2008*. ISO. <https://www.iso.org/standard/38275.html>

Jiamjariyatam, R., Samosorn, S., Dolsophon, K., Tantayotai, P., Lorliam, W., y Krajangsang, S. (2022). Effects of drying processes on the quality of coffee pulp. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10).

<https://doi.org/10.1111/jfpp.16876>

Kieu, T., Kirkman, T., Nguyen, M., y Van, Q. (2020). Effects of drying on physical properties, phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (Coffea canephora). *Heliyon*, 6(7), e04498. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04498>

Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2023). *Gobierno Regional Cajamarca*. NOTICIAS Gobierno Regional Cajamarca. <https://www.regioncajamarca.gob.pe/portal/noticias/det/6981>

Mirón, V., Barragán, B., y Gutiérrez, P. (2021). Chapter 9 - Coffee waste: A source of valuable technologies for sustainable development. En R. Bhat (Ed.), *Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products* (pp. 173-198). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824044-1.00009-X>

Song, Q., Ding, Z., Zhang, L., Chen, T., Li, W., & Lv, Z. (2026). *Metabolomics analysis revealed the chemical mechanism of powerful antioxidant activity of Coffea arabica at high-altitude regions*. LWT - Food Science and Technology, 247, 119264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2026.119264>

Torres, L., Martínez, K., Serna, J., Hernández, M. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Jaén, institución que ha sido el pilar fundamental en nuestra formación profesional. Extendemos nuestra gratitud a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, quienes, con su enseñanza y dedicación, han contribuido al desarrollo de nuestras capacidades y a la consolidación de nuestra identidad profesional.

Agradecemos especialmente a la Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán, quien nos acompañó como asesora durante todo el proceso de esta tesis. Su orientación, sus sugerencias y su constante apoyo fueron clave para avanzar en cada etapa y lograr un mejor desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

De igual manera, reconocemos el apoyo brindado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza al permitirnos realizar los análisis experimentales en los laboratorios de Ingeniería Agroindustrial, lo cual fue fundamental para completar la parte metodológica del proyecto. Asimismo, extendemos nuestro agradecimiento al INIA Yanayacu – Jaén, por facilitarnos el uso de sus instalaciones, contribuyendo de manera importante al desarrollo de nuestra investigación.

Finalmente, dedicamos un profundo agradecimiento a nuestros padres, cuyo respaldo emocional y económico fue un pilar fundamental a lo largo de todo este proceso. Su constante apoyo y confianza hicieron posible alcanzar este importante logro académico. A ellos les debemos no solo la culminación de esta tesis, sino también la fortaleza y perseverancia que nos han acompañado durante todo este proceso formativo.

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza en los momentos en que el camino se hacía largo y exigía constancia.

A mis padres, Cristina Tocto Sembrera y Domingo Correa García, por enseñarme que el esfuerzo transforma los sueños en logros; a mis hermanos, por recordarme siempre de dónde vengo; a mi hijo, por ser el motivo que da sentido a cada paso; y a mi esposo, por acompañarme con paciencia y apoyo en cada desafío. Este trabajo es también reflejo de la perseverancia aprendida y de quienes, con su ayuda sincera y oportuna, hicieron posible culminar este proceso académico.

JOSSELINE MILAGROS CORREA TOCTO

DEDICATORIA

A Dios, por guiar cada paso de este camino y darme fortaleza en los momentos de dificultad.

A mis padres, Aurora Vásquez Mondragón y Segundo Díaz Gavidia, por su amor incondicional, sacrificio y confianza permanente; ustedes son mi base y mi mayor ejemplo.

A mi esposo, por su paciencia, comprensión y acompañamiento constante, y a mi hijo, que se convirtió en la bendición más grande de mi vida y en la motivación más profunda para seguir adelante.

A mis hermanos, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y su presencia incondicional en cada momento.

Dedico estas páginas con el corazón lleno de gratitud y emoción, ya que este logro no es únicamente mío, sino el resultado del amor, el esfuerzo, la paciencia y el apoyo constante de todas las personas que me acompañaron a lo largo de este camino.

FLOR ALELI DÍAZ VÁSQUEZ

ANEXOS

ANEXO 1

Imágenes de la recolección de la materia prima y las operaciones para la obtención de la harina obtenida de la pulpa de café catimor rojo mediante secado en estufa.

Figura 3

Recolección del café catimor rojo



Figura 4

Recolección de la pulpa de café



Figura 5

Lavado de la pulpa de café

Figura 6

Traslado de la pulpa de café



Figura 7
Color de las muestras



Figura 8
Pesado de la pulpa de café

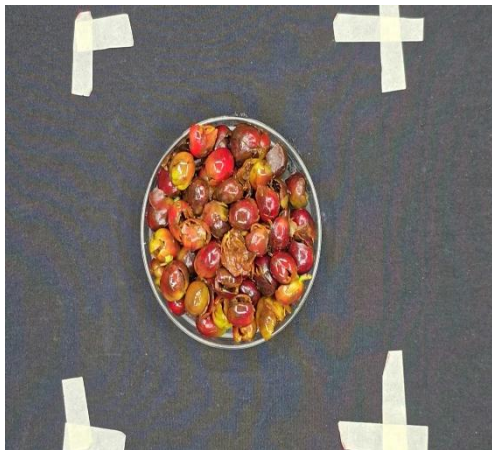


Figura 9

Vista frontal del método de secado



Figura 10

Pulpa de café deshidratada



Figura 11

Molienda de la pulpa deshidratada



Figura 12

Tamizado y almacenado de la harina



ANEXO 2

Imágenes de la recolección de la materia prima y las operaciones para la obtención de la harina obtenida de la pulpa de café catimor rojo mediante secado solar.

Figura 13

Recolección del café catimor rojo



Figura 14

Recolección de la pulpa de café



Figura 15

Lavado de la pulpa de café



Figura 16

Traslado de la pulpa de café



Figura 17

Color de la muestra



Figura 18

Pesado de la pulpa de café



Figura 20

Vista frontal del prototipo de secado



Figura 21

Secador solar con la pulpa de café



Figura 19

Pulpa de café deshidratada



Figura 22

Molienda de la pulpa seca



Figura 23

Tamizado de la harina



Figura 24

Almacenamiento de las muestras



ANEXO 3

Imágenes de los análisis físicoquímicos de la harina obtenida de la pulpa de café catimor rojo.

Figura 25

Medidor de humedad



Figura 26

Humedad de la harina



Figura 27

Determinación de pH de la harina



Figura 28

Calcinado de las muestras en mufla



Figura 29

Muestras en el desecador



Figura 30

Determinación de cenizas



Figura 31

Preparación de diluciones de extractos metanólicos

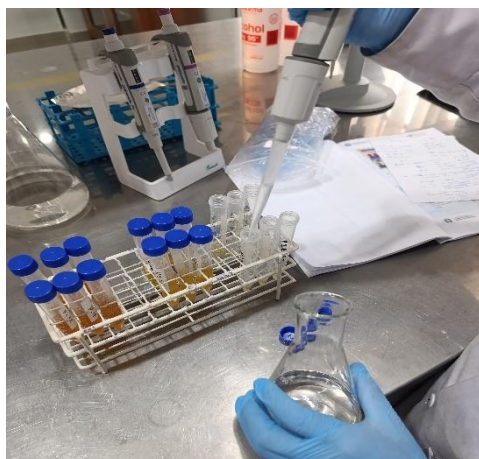


Figura 32

Mezcla de extractos metanólicos con extractos de DPPH

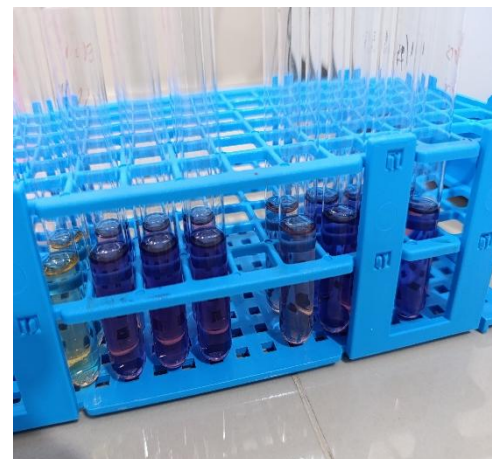


Figura 33

Medición de absorbancia (capacidad Antioxidante)



Figura 34

Curva de calibración de DPPH

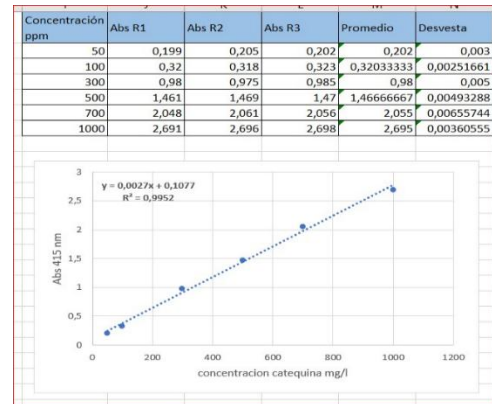


Figura 35

Homogenización de muestras con extractos metanólicos



Figura 36

Centrifugación de muestras



Figura 37

Curva de calibración de flavonoides

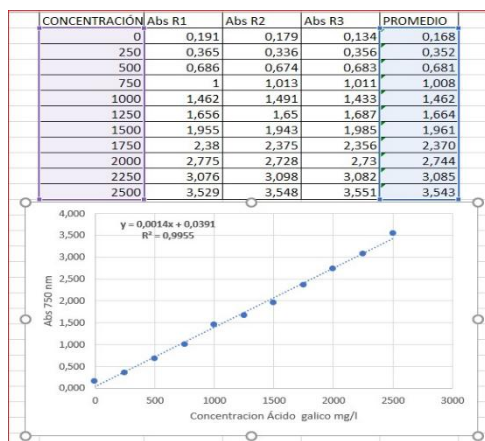


Figura 38

Curva de calibración de fenoles

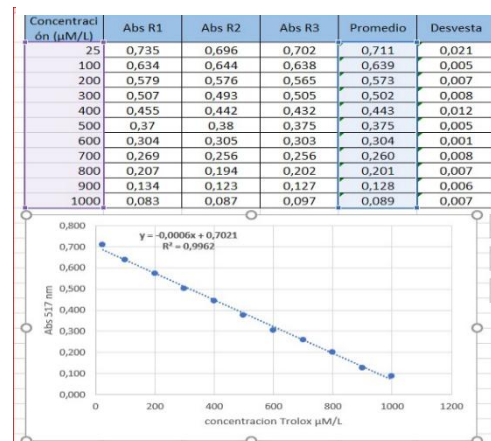


Figura 39

Muestras en tubos de digestión

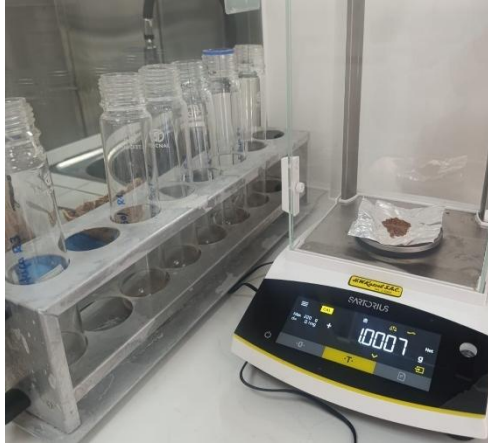


Figura 40

Tubos en el sistema de digestión



Figura 41

Destilación automática en destilador de nitrógeno



Figura 42

Titulación para determinar proteínas

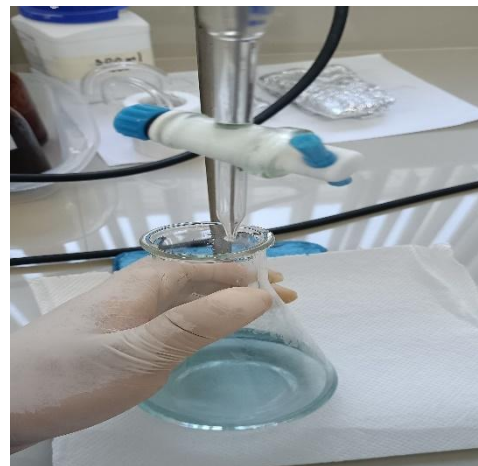


Figura 43

Equipo de medición de actividad de agua

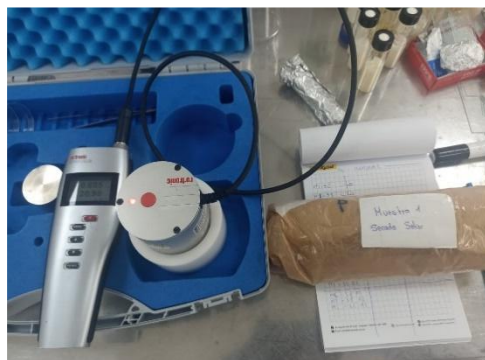
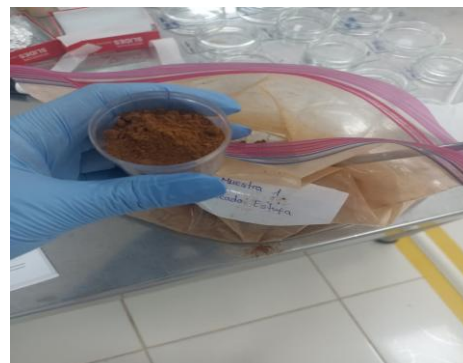


Figura 44

Muestra de harina



ANEXO 4

Imágenes de los análisis microbiológicos de la harina de pulpa de café catimor rojo.

Figura 45

Mezcla de los reactivos



Figura 46

Preparación de las muestras



Figura 47

Autoclavado de medio de cultivo



Figura 48

Siembra en cabina de flujo laminar



ANEXO 5

Imágenes de los análisis tecnofuncionales de la harina de pulpa de café catimor rojo.

Figura 49

Capacidad de retención de agua



Figura 50

Capacidad de retención de aceite

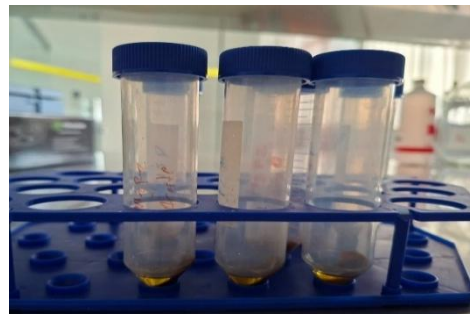


Figura 51

Mezcla de muestra con agua destilada

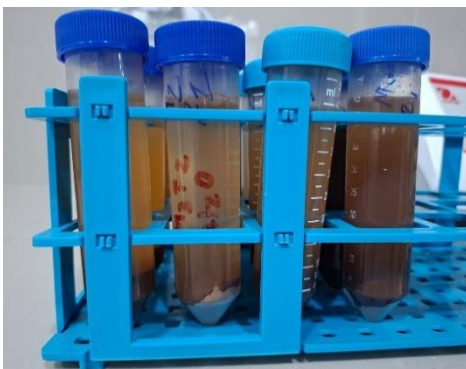


Figura 52

Incubación de muestras



Figura 53

Capacidad de solubilidad



Figura 54

Capacidad de hinchamiento



Figura 55

Homogenización de muestras



Figura 56

Volumen y estabilidad de espuma



Figura 57

Diluciones a diferentes concentraciones



Figura 58

Muestras homogeneizadas



Figura 59

Medición de la capacidad emulsionante



ANEXO 6

Resultados estadísticos de las características fisicoquímicas:

Tabla 4

Prueba de normalidad de los residuos para las propiedades fisicoquímicas

	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		gl	Sig.
Residuo para Humedad	0.953	12	0.682
Residuo para pH	0.971	12	0.918
Residuo para Cenizas	0.874	12	0.074
Residuo para Proteínas	0.89	12	0.116
Residuo para Flavonoides mg	0.959	12	0.774
Residuo para Fenoles mg GAEg	0.767	12	0.004
Residuo para Capacidad antioxidante	0.941	12	0.509
Actividad de agua	0.950	12	0.524

Tabla 5

Homogeneidad de varianzas

Variable	F Levene	gl1	gl2	p-valor
Humedad	2.91	3	8	0.102
pH	1.47	3	8	0.296
Cenizas	4.85	3	8	0.053
Proteínas	0.89	3	8	0.486
Flavonoides	9.72	3	8	0.055
Fenoles	12.64	3	8	0.062
Capacidad antioxidante	7.83	3	8	0.056
Actividad de agua	3.66	3	8	0.062

Tabla 6

Análisis de varianza (ANOVA) de las propiedades fisicoquímicas

Variable	Tipo de secado (F; p)		Altitud (F; p)		Interacción (F; p)	
Humedad (%)	585.9	0.00	102.78	0.00	70.22	0.00
pH	419.02	0.00	61.75	0.00	57.26	0.00
Cenizas (%)	4.72	0.06	0.02	0.88	0.02	0.89
Proteínas (%)	1090.09	0.00	19.96	0.00	18.68	0.00
Flavonoides (mg/g)	90.69	0.00	136.13	0.00	24.13	0.00
Fenoles (mg GAE/g)	3029.58	0.00	780.26	0.00	380.31	0.00
Capacidad antioxidante	26.11	0.00	75.15	0.00	0.02	0.90
Actividad de agua	2935.7	0.00	2840.7	0.00	39.38	0.00

ANEXO 7

Resultados estadísticos de las características microbiológicas:

Tabla 7

Normalidad para los residuos de las variables microbiológicas

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Mohos y levaduras (UFC/g)	0.936	12	0.448

Tabla 8

Homogeneidad de varianzas para las propiedades microbiológicas

Variable	F Levene	gl1	gl2	p-valor
Mohos y levaduras	2.64	3	8	0.119

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades microbiológicas.

Variable	Tipo de secado (F; p)		Altitud (F; p)		Interacción (F; p)	
Mohos y levaduras (UFCg)	91.29	0.00	0.42	0.53	0.08	0.78

ANEXO 8

Resultados estadísticos de las características tecnofuncionales:

Tabla 10

Prueba de normalidad de los residuos para las propiedades tecnofuncionales.

	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		Gl	Sig.
Residuo Retención agua	0.942	12	0.518
Residuo Retención aceite	0.966	12	0.864
Residuo Solubilidad	0.917	12	0.258
Residuo Hinchamiento	0.986	12	0.997
Residuo Formación de espuma	0.961	12	0.624
Residuo Actividad emulsionante	0.921	12	0.580

Tabla 11

Homogeneidad de varianzas para las propiedades tecnofuncionales.

Variable	F Levene	gl1	gl2	p-valor
Retención de agua (%)	1.98	3	8	0.196
Retención de aceite (%)	3.72	3	8	0.061
Solubilidad (%)	5.94	3	8	0.062
Hinchamiento (mL/g)	0.84	3	8	0.507
Formación de espuma (%)	18.52	3	8	0.101
Actividad emulsionante (%)	9.47	3	8	0.066

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para las propiedades tecnofuncionales.

Variable	Tipo de secado (F; p)		Altitud (F; p)		Interacción (F; p)	
Retención de agua (%)	136.52	0.00	4.30	0.07	41.21	0.00
Retención de aceite (%)	19.90	0.00	31.79	0.00	7.34	0.03
Solubilidad (%)	892.91	0.00	233.11	0.00	0.22	0.65
Hinchamiento (mL/g)	9.84	0.01	32.26	0.00	42.60	0.00
Formación de espuma	229859.54	0.00	28643.28	0.00	28643.28	0.00
Actividad emulsionante (%)	90.32	0.00	151.47	0.00	90.32	0.00

Tabla 13

Condiciones de temperatura durante el secado solar de la pulpa de café.

Día de secado	Temperatura mínima (°C)	Temperatura máxima (°C)	Condición climática
Día 1	17	32	Parcialmente nublado

Día 2	19	34	Soleado
Día 3	15	33	Luvia ligera
Día 4	18	35	Soleado
Día 5	17	32	Soleado
