

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE
MERMELADA A BASE DE PULPA DE CAFÉ, PANELA Y
ESPRESSO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Autores: Egres. Axvier Arohon Huamán Cabrera

Bach. Alex Alberto Pintado Fernández

Asesor: Dr. Ralph Stein Rivera Botonares

Co – asesor: Mg. Hans Himbler Minchan Velayarce

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: LI_IIA_02 Desarrollo y caracterización de productos

JAÉN – PERÚ

2026

Axvier A. Huamán Cabrera - Alex A. Pintado Fernán...

OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE MERMELADA A BASE DE PULPA DE CAFÉ, PANELA Y ESPRESSO

 Quick Submit Quick Submit Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3615137624

74 páginas

Fecha de entrega

21 jul 2026, 3:47 p.m. GMT-5

17.932 palabras

Fecha de descarga

21 jul 2026, 3:50 p.m. GMT-5

98.265 caracteres

Nombre del archivo

ROHON_HUAMAN_CABRERA_INFORME_-_ALEX_ALBERTO_PINTADO_FERNNDEZ.pdf

Tamaño del archivo

4.1 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

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

12% 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

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 11%  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. Marta Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 08 de julio del año 2026, siendo las 16:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente : Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Secretario : Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Vocal : Mg. Julio Elit Oliva Guevara

para evaluar la Sustentación de:

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

Titulado: "OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE MERMELEDA A BASE DE PULPA DE CAFÉ, PANELA Y ESPRESSO" presentado por los tesisas Axviero Arohon Huamán Cabrera y Alex Alberto Pintado Fernández 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

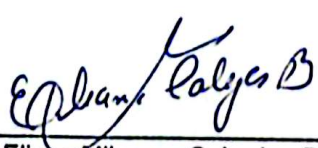
Con la siguiente mención:

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

Siendo las 17:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 08 de julio de 2026


Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano
Presidente


Dra. Eliana Milagros Cabrejos Barrios
Secretario


Mg. Julio Elit Oliva Guevara
Vocal

"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, **Axxvier Arohon Huamán Cabrera y Alex Alberto Pintado Fernández**, 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 **76321601** y **76976325**.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE MERMELADA A BASE DE PULPA DE CAFÉ, PANELA Y ESPRESSO”.

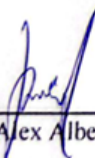
Asesorado por Dr. Ralph Stein Rivera Botonares y Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce.

El mismo que presento bajo la modalidad de Bachiller para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero en 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, 15 de setiembre del 2026.


Bach. Alex Alberto Pintado Fernández


Egres. Axxvier Arohon Huamán Cabrera

ÍNDICE

RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. MATERIAL Y MÉTODOS	11
2.1. Lugar de ejecución	11
2.2. Materiales	11
2.3. Métodos.....	12
2.3.1. Metodología para obtención de la pulpa de café	12
2.3.2. Producción de mermelada	13
2.3.3. Métodos de análisis	16
2.3.4. Diseño de investigación.....	23
2.3.5. Análisis de datos.....	27
III. RESULTADOS	29
3.1. Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos de la pulpa de café, panela, espresso y mermeladas formuladas.....	29
3.2. Optimización del diseño de mezclas	32
3.2.1. °Brix	33
3.2.2. Humedad.....	35
3.2.3. pH	37
3.2.4. Acidez titulable.....	37
3.2.5. Contenido fenólico total (CPT)	37
3.2.6. Capacidad antioxidante.....	39
3.2.7. Optimización multirrespuesta integral.....	41
3.2.8. Validación de la optimización multirrespuesta integral	42
3.3. Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las formulaciones seleccionadas	43
IV. DISCUSIÓN.....	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones.....	54
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
VII. ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variables para elaboración de mermelada de pulpa de café, panela y espresso....	23
Tabla 2	Factores y niveles de diseño para la optimización de mermelada.....	24
Tabla 3	Diseño de mezclas Simplex Lattice para la elaboración de mermelada a base de pulpa de café, panela y espresso.....	25
Tabla 4	Resultados de las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos	29
Tabla 5	Resultados de análisis de perfil de textura de las combinaciones sometidas a análisis sensorial.....	31
Tabla 6	Ecuaciones de regresión de los modelos ajustados para cada variable respuesta en el diseño de mezclas Simplex-Lattice	32
Tabla 7	Criterios y restricciones empleados en la optimización	41
Tabla 8	Validación experimental del punto óptimo	42
Tabla 9	Recuento de aerobios mesófilos UFC/g	43
Tabla 10	Recuento de levaduras osmófilas UFC/g.....	44
Tabla 11	Recuento de hongos osmófilos UFC/g	44
Tabla 12	Descriptores sensoriales obtenidos mediante asociación libre de palabras para la mermelada de pulpa de café, panela y espresso	46
Tabla 13	Puntajes promedio de aceptación de evaluación sensorial mediante escala hedónica de nueve puntos	49
Tabla 14	Comparaciones múltiples significativas mediante prueba de Wilcoxon con corrección de Bonferroni.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Flujograma de proceso para obtener pulpa de café seco.....	13
Figura 2 Flujograma de elaboración de mermelada de pulpa de café	14
Figura 3 Esquema experimental para la elaboración y evaluación de mermelada de pulpa de café, panela y espresso.....	26
Figura 4 Gráfico de residuos para sólidos solubles totales (°Brix)	33
Figura 5 Superficie de contornos para °Brix	34
Figura 6 Gráfico de residuos para % humedad	36
Figura 7 Superficie de contornos para la humedad (%)	36
Figura 8 Gráfico de residuos para contenido fenólico total (CPT)	38
Figura 9 Superficie de contornos del CPT	39
Figura 10 Gráfico de residuos para capacidad antioxidante.....	40
Figura 11 Superficie de contornos para la capacidad antioxidante.	40
Figura 12 Perfiles de valores predichos y función de deseabilidad.....	42
Figura 13 Frecuencia de mención de descriptores sensoriales	47
Figura 14 Significancia estadística.....	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Recolección de granos de café.....	63
Anexo 2 Recolección de pulpa de café	63
Anexo 3 Lavado y desinfección de pulpa de café	64
Anexo 4 Secado y envasado de pulpa de café.....	64
Anexo 5 Panel de control de la cámara de secado	65
Anexo 6 Licuado de pulpa de café	65
Anexo 7 Mezclado y preparación de la mermelada	65
Anexo 8 Esterilización de envases y envasado	66
Anexo 9 Análisis fisicoquímico	66
Anexo 10 Análisis de compuestos bioactivos	67
Anexo 11 Análisis microbiológico.....	67
Anexo 12 Análisis sensorial	68
Anexo 13 Selección de modelo ANOVA para brix	69
Anexo 14 Selección de modelo ANOVA para % humedad.....	69
Anexo 15 Selección de modelo ANOVA para pH.....	69
Anexo 16 Selección de modelo ANOVA para Acidez titulable	69
Anexo 17 Selección de modelo ANOVA para CPT	69
Anexo 18 Selección de modelo ANOVA para capacidad antioxidante	70
Anexo 19 Curva de calibración DPPH.....	70
Anexo 20 Curva de calibración de ácido gálico.....	70
Anexo 21 Consentimiento informado para aplicar análisis sensorial	71
Anexo 22 Ficha de evaluación sensorial	72
Anexo 23 Constancia de aprobación de proyecto para evaluación sensorial.....	74

RESUMEN

La pulpa de café es un subproducto agroindustrial con alto contenido de compuestos bioactivos cuyo aprovechamiento es limitado, generando impactos ambientales. La presente investigación tuvo como objetivo optimizar la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total (CPT) en una mermelada elaborada a base de pulpa de café, panela y espresso. Se empleó un diseño experimental de mezclas tipo Simplex Lattice con tres componentes y trece tratamientos evaluados por triplicado, determinándose parámetros fisicoquímicos, compuestos funcionales y aceptabilidad sensorial en 146 consumidores. Los sólidos solubles variaron entre 40.37 y 66.40 °Brix, la humedad entre 9.80 % y 44.09 %, el contenido fenólico total alcanzó hasta 31.653 mg de ácido gálico por gramo y la capacidad antioxidante hasta 20.046 μ mol de Trolox por gramo. La optimización mediante función de deseabilidad identificó una formulación óptima con proporciones de 0.500 Pulpa de café, 0.326 Panela y 0.174 Espresso, con valores validados de 56.90 °Brix, 21.267 % de humedad, 32.266 mg de ácido gálico por gramo de CPT y 20.407 μ mol de Trolox por gramo de capacidad antioxidante. Se concluye que el diseño de mezclas permite maximizar simultáneamente las propiedades funcionales del producto, demostrando el potencial de la pulpa de café en el desarrollo de alimentos funcionales y su valorización sostenible.

Palabras clave: actividad antioxidante, optimización multivariable, alimentos funcionales, valorización de subproductos.

ABSTRACT

Coffee pulp is an agroindustrial byproduct with a high content of bioactive compounds; however, its utilization is limited, leading to environmental impacts. The objective of this study was to optimize the antioxidant capacity and total phenolic content (TPC) in a jam made from coffee pulp, panela, and espresso. A Simplex Lattice mixture design with three components and thirteen treatments evaluated in triplicate was used, determining physicochemical parameters, functional compounds, and sensory acceptability among 146 consumers. Soluble solids ranged from 40.37 to 66.40 °Brix, moisture content from 9.80% to 44.09%, total phenolic content reached up to 31.653 mg of gallic acid per gram, and antioxidant capacity up to 20.046 µmol of Trolox per gram. Optimization using a desirability function identified an optimal formulation with ratios of 0.500 coffee grounds, 0.326 brown sugar, and 0.174 espresso, with validated values of 56.90 °Brix, 21.267% moisture, 32.266 mg of gallic acid per gram of CPT, and 20.407 µmol of Trolox per gram of antioxidant capacity. It is concluded that mixture design allows for the simultaneous maximization of the product's functional properties, demonstrating the potential of coffee pulp in the development of functional foods and its sustainable valorization.

Keywords: antioxidant activity, multivariate optimization, functional foods, by-product valorization.

I. INTRODUCCIÓN

La agroindustria cafetalera constituye una actividad económica relevante a nivel global y nacional, generando importantes volúmenes de subproductos durante el procesamiento del café. Entre ellos, la pulpa de café representa aproximadamente el 40 % del peso fresco del fruto (Pérez et al., 2023), lo que implica una elevada generación de residuos en zonas productoras. La disposición inadecuada de este subproducto ocasiona impactos ambientales significativos, incluyendo la contaminación de suelos y cuerpos de agua debido a la liberación de compuestos orgánicos, cafeína y taninos, los cuales incrementan la demanda biológica y química de oxígeno (DBO y DQO) hasta valores de 15 g/L y 25 g/L, respectivamente (Takal, 2021; Thamaraiselvi et al., 2024).

A pesar de estos impactos, la pulpa de café presenta un alto contenido de compuestos bioactivos, principalmente polifenoles, ácidos clorogénicos y otros metabolitos secundarios con actividad antioxidante (Hu et al., 2023; Santos et al., 2024). Se ha reportado la presencia de ácido clorogénico (~1011 µg/g) y ácido gálico (~469 µg/g), compuestos asociados directamente a la capacidad antioxidante (Cañas et al., 2023). Asimismo, estudios indican contenidos fenólicos de hasta 46.6 mg/g y capacidades antioxidantes cercanas a 102.3 mg TE/g en pulpa de café, evidenciando su potencial como ingrediente funcional (Cañas et al., 2020).

En matrices alimentarias, la incorporación de pulpa de café ha demostrado incrementar significativamente el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en función de condiciones de procesamiento (Hu et al., 2025). Adicionalmente, procesos como la fermentación pueden potenciar estos compuestos en comparación con la pulpa fresca (Rahmawati et al., 2025). No obstante, durante el procesamiento térmico, pueden presentarse pérdidas de compuestos bioactivos entre 15 % y 40 %, debido a reacciones de oxidación y degradación (Zhang et al., 2022). Desde una perspectiva tecnológica y de sostenibilidad, la valorización de subproductos agroindustriales mediante su incorporación en alimentos funcionales representa una estrategia alineada con la economía circular. En este contexto, las mermeladas constituyen una matriz adecuada debido a su alta aceptabilidad sensorial y facilidad de formulación. Sin embargo, la incorporación de ingredientes funcionales puede modificar propiedades fisicoquímicas críticas como pH, humedad y sólidos solubles, afectando la estabilidad y vida útil del producto (Liu et al., 2021).

Para abordar estas interacciones complejas, el uso de herramientas estadísticas como el diseño experimental de mezclas resulta fundamental. El diseño Simplex Lattice permite evaluar simultáneamente los efectos individuales y las interacciones entre los componentes, optimizando múltiples variables de respuesta en sistemas multicomponente (Montgomery, 2017).

Diversos estudios han explorado el uso de subproductos del café en alimentos. (Zhang et al., 2022) reportaron contenidos de polifenoles de 56.52 mg/100 g y alta capacidad antioxidante en mermeladas elaboradas con pericarpio de café, mientras que (Suriati et al., 2023) evidenciaron mejoras en propiedades sensoriales y funcionales al incorporar pulpa de café. Asimismo, investigaciones sobre sustitución de azúcar por panela han demostrado incrementos en compuestos fenólicos y actividad antioxidante en productos alimentarios (Cervera-Chiner et al., 2021; Dubey et al., 2023).

A pesar de estos avances, existe limitada evidencia científica sobre la optimización de formulaciones de mermeladas que integren simultáneamente pulpa de café, panela y espresso, particularmente orientadas a maximizar la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total mediante diseño de mezclas. Esta brecha limita el desarrollo de productos funcionales innovadores y sostenibles.

Oblitas-Delgado et al., (2026) evaluaron las características fisicoquímicas de infusiones de nueve variedades de café. Los resultados mostraron que el pH varió de 5.36 a 6.42, y la acidez titulable de 0.06 a 0.08 g/100 mL, lo que indica un perfil ligeramente ácido. En un estudio previo reportó valores de pH entre 4.18 y 4.22 en infusiones de cáscara de arábica preparadas con 2 g/100 mL. Estos hallazgos confirman la naturaleza ácida de las infusiones de cáscara e indican que la acidez está influenciada por la cantidad de cáscara utilizada durante la preparación.

Cañas et al., (2023) evidenciaron que la pulpa de café constituye una fuente importante de compuestos fenólicos, los cuales presentan un comportamiento dinámico durante el proceso de digestión gastrointestinal. En este sentido, se ha reportado que la pulpa de café no digerida contiene elevadas concentraciones de ácidos fenólicos, particularmente ácidos hidroxibenzoicos (62.5%) e hidroxicinámicos (31.1%), además de flavonoides como flavonoles y flavonas. Entre los compuestos más representativos destacan los ácidos clorogénicos (CQA), el ácido cafeico, el ácido gálico y el ácido protocatecuico, los cuales presentan diferentes patrones de liberación y transformación a lo largo de las fases digestivas.

Wu et al., (2022) en su investigación evidenciaron que los compuestos fenólicos presentes en los granos de café contribuyen tanto al perfil sensorial como a la actividad antioxidante, siendo esta última fuertemente influenciada por el grado de tueste. En investigaciones realizadas en *Coffea arabica*, se evaluaron diferentes niveles de tueste (ligero, medio y oscuro), observándose que los granos con tueste ligero presentaron el mayor contenido de compuestos fenólicos totales (TPC), con valores de 23.97 ± 0.60 mg GAE/g en la fracción libre y 19.32 ± 1.29 mg GAE/g en la fracción ligada, además de mayores capacidades antioxidantes medidas mediante DPPH y FRAP.

Wanyonyi et al., (2025) aplicaron metodologías de optimización multivariable como el diseño de mezclas D-óptimo para evaluar la interacción entre componentes como jugo de frutas (40–70%), yogur probiótico (20–40%) e ingredientes funcionales (10–30%). Mediante un modelo de segundo orden, se analizaron variables de respuesta como sabor, textura y percepción de beneficios para la salud, identificándose que la mezcla de jugos fue el factor más influyente, seguida del yogur probiótico. Asimismo, la aplicación de funciones de deseabilidad permitió determinar proporciones óptimas de 0.7 para jugo, 0.5 para yogur y 0.5 para el ingrediente funcional, maximizando simultáneamente las respuestas evaluadas. Estos resultados evidencian la utilidad de integrar múltiples criterios en un solo proceso de optimización, permitiendo obtener formulaciones equilibradas.

En este contexto, se plantea el siguiente problema de investigación: ¿Qué proporciones de pulpa de café, panela y espresso maximizarán la capacidad antioxidante y el contenido de fenólico total (CPT) de la mermelada de pulpa de café, panela y espresso?

La presente investigación tuvo como objetivo general optimizar la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total de una mermelada elaborada a base de pulpa de café, panela y espresso. Como objetivos específicos se plantearon: (i) Determinar las características fisicoquímicas de la pulpa de café, el espresso y mermeladas de cada tratamiento; (ii) Determinar el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante de la mermelada en función de las diferentes formulaciones. (iii) Determinar mediante diseño de mezclas la combinación de ingredientes (pulpa de café, panela y espresso) que maximice la capacidad antioxidante y el contenido fenólico total del producto final. (iv) Evaluar los mejores tratamientos de las proporciones de pulpa de café, panela y espresso en la aceptabilidad sensorial de la mermelada, mediante panelistas consumidores.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La elaboración de la mermelada y los análisis fisicoquímicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de Jaén. Asimismo, el análisis sensorial se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología y Control de Calidad de la misma institución.

Por otro lado, los análisis de capacidad antioxidante, compuestos bioactivos y microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Ingeniería y Postcosecha de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM). Adicionalmente, se realizó análisis de perfil de textura (TPA) en el laboratorio de Ingeniería y análisis del contenido de fibra bruta (%) en el laboratorio de Tecnología Agroindustrial de la misma UNTRM.

2.2. Materiales

Para la elaboración de la mermelada se utilizó pulpa de café (*Coffea arabica* L.) variedad Catuai, obtenida de la finca El Pino, ubicada en el caserío La Tranca, distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, región Cajamarca (Perú), correspondiente a la cosecha del mes de mayo de 2025. Se emplearon un total de 40 kg de pulpa de café recién despulpada, los cuales fueron sometidos a un proceso de deshidratación, obteniéndose 11.8 kg de pulpa de café seca, de la cual 5 kg fue utilizado en las formulaciones experimentales.

Como edulcorante se empleó panela certificada, adquirida de la Cooperativa Agraria Agrolatina (Piura, Perú), mientras que el espresso fue proporcionado por la cafetería My Coffee (Jaén, Perú). Asimismo, se utilizó pectina al 95% (Mitú, Perú), ácido cítrico al 99% (Mitú, Perú), sorbato de potasio (Mitú, Perú), etanol al 96% (Spectrum Chemical, Estados Unidos), Folin Ciocalteu (Sigma-Aldrich, Alemania), metanol (Spectrum Chemical, Estados Unidos), DPPH (Merck Millipore, Alemania), agar Plate Count (Himedia, India), agar Sabouraud (Merck Millipore, Alemania), agar YGC (Merck Millipore, Alemania), carbonato de sodio (Spectrum Chemical, Estados Unidos), ácido gálico (Merck Millipore, China), agua Pectona (Merck Millipore, Alemania).

2.3. Métodos

2.3.1. Metodología para obtención de la pulpa de café

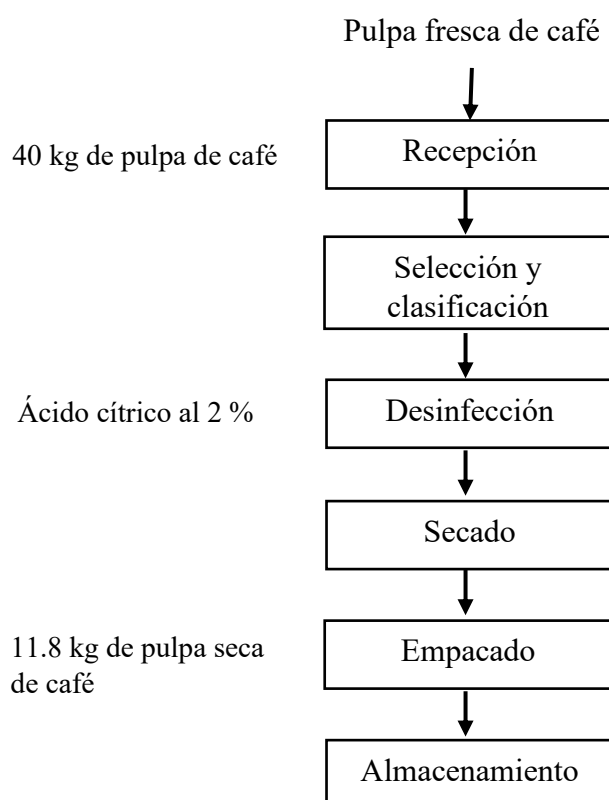
La pulpa de café, obtenida inmediatamente después del proceso de despulpado del fruto, fue recolectada en condiciones higiénicas y acondicionada para su posterior traslado desde el caserío La Tranca hasta la cámara de secado de la empresa Industria Selva (Av. Fernando Belaúnde Km 183 – carretera Chamaya – Bagua). El traslado se realizó en contenedores térmicos (coolers) con capacidad máxima de 20 kg, manteniendo una temperatura aproximada de 8 °C para preservar sus características fisicoquímicas.

- a. **Recepción:** La pulpa de café se recepcionó en recipientes plásticos previamente higienizados, bajo condiciones adecuadas de manipulación.
- b. **Selección y clasificación:** El grano de café pasó por un proceso de rebalse para retirar granos secos y granos afectados por la broca. Posteriormente, se utilizó una malla para separar los granos de menor tamaño y obtener granos homogéneos que fueron despulpados.
- c. **Desinfección:** Para desinfectar la pulpa de café, se preparó una solución de ácido cítrico en un recipiente con capacidad de 50 litros. Se agregaron 35 litros de agua potable y se añadió ácido cítrico al 2 %. La mezcla se agitó cuidadosamente hasta obtener una solución homogénea, asegurando el enrase adecuado.
- d. **Modo de empleo:** La pulpa de café fue lavada previamente con agua potable, a fin de eliminar impurezas superficiales, seguida de una desinfección por inmersión durante 5 minutos en la solución preparada. Posteriormente, se eliminó el exceso de solución.
- e. **Secado:** El secado se realizó en una cámara de deshidratación (Wecon, China), operando a una temperatura de 63 °C durante 2 horas (Anexo 5). Luego de ello, se dejó enfriar la cámara 2 horas y 30 minutos hasta temperatura ambiente.
- f. **Envasado:** La pulpa fue recogida de las bandejas y envasada en una bolsa Grainpro de 25 kg sellada al vacío.
- g. **Almacenamiento:** Finalmente, la pulpa fue almacenada en un ambiente limpio, con una humedad relativa de 65 % y temperatura ambiente.

Con la finalidad de describir de manera sistemática el proceso de obtención de la pulpa de café deshidratada, se elaboró un flujograma que integra las operaciones unitarias aplicadas desde la recepción hasta el almacenamiento. En la Figura 1 se presenta el diagrama de flujo del proceso, donde se detallan las etapas de selección, desinfección, secado, envasado y almacenamiento de la pulpa de café.

Figura 1

Flujograma de proceso para obtener pulpa seca de café

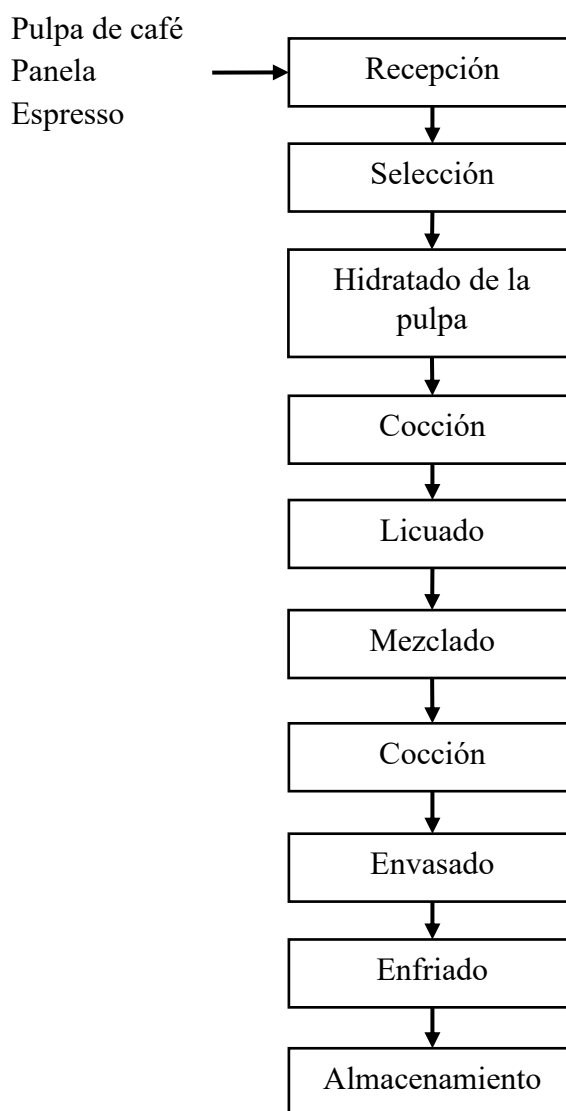


2.3.2. Producción de mermelada

Para estandarizar el proceso de elaboración de las formulaciones de mermelada, se diseñó un diagrama de flujo que integra las operaciones térmicas y de mezcla involucradas. En la Figura 2 se muestra el flujograma de producción de la mermelada a base de pulpa de café, panela y espresso, incluyendo las etapas de rehidratación, cocción, licuado, mezclado y envasado.

Figura 2

Flujograma de elaboración de mermelada de pulpa de café



- **Recepción de materia prima:** La pulpa seca de café (*Coffea arabica* L.) fue recibida en un ambiente fresco y ventilado; posteriormente, se pesó en una balanza electrónica (Henkel, BC40G, China) para determinar la cantidad exacta de materia prima a utilizar.
- **Selección:** Se realizó una inspección visual utilizando bandejas de acero inoxidable para seleccionar la pulpa de café seca, descartando aquellas que presentaban signos de hongos, moho o impurezas como cascarilla o granos de café.
- **Rehidratación:** La pulpa seleccionada fue rehidratada sumergiéndola en una olla de acero inoxidable con agua, empleando una proporción de 1:6 (pulpa seca: agua) durante 3 horas.

- **Cocción 1:** Para suavizar la pulpa hidratada, esta fue sometida a tratamiento térmico en una olla de acero inoxidable a 90 °C durante 40 minutos en una cocina industrial (Fadic, FSI03-23, Perú). Se añadieron cuatro litros de agua por cada kilogramo de pulpa seca previamente pesada en la etapa de recepción.
- **Licuada:** Una vez cocida, la pulpa fue licuada junto con el agua resultante de la cocción, utilizando una licuadora industrial (Metvisa, LQL – 25, Brasil), con una relación 1:1 (pulpa seca: agua).
- **Mezclado:** Se incorporó la pulpa de café licuada con el espresso, y se midió el pH utilizando un pHmetro (Metrohm, 913 pH Meter, Suiza). Cuando fue necesario, se corrigió la acidez con ácido cítrico hasta alcanzar un pH de 3.5.
- **Cocción 2:** La mezcla fue sometida a una segunda cocción en la que se añadieron los insumos restantes, correspondientes a cada combinación según se especifica en la Tabla 3. Para esto se siguió la siguiente secuencia:
 1. La mezcla se llevó a ebullición durante 10 a 15 minutos, agitando constantemente.
 2. Posteriormente, se añadió una primera parte de panela y se continuó mezclando de manera suave y constante durante otros 10 a 15 minutos.

Las cantidades de pulpa de café, panela y espresso correspondieron a lo indicado en el diseño experimental presentado en la Tabla 3.

3. A continuación, se incorporó la pectina al 0.6%, previamente mezclada con una parte de panela y sorbato de potasio al 0.03%. Esta mezcla se añadió lentamente y con agitación suave para evitar la formación de grumos.
 4. Al alcanzar el punto de ebullición, se agregó el resto de panela y se agitó suavemente hasta alcanzar una concentración de 67 °Brix.
- **Envasado y enfriado:** La mermelada se envasó en frascos de vidrio de 150 gramos, a una temperatura mayor o igual a 85 °C para asegurar el cierre hermético y generar vacío. Posteriormente, los frascos se enfriaron rápidamente hasta alcanzar una temperatura de 20 °C, provocando un shock térmico.
 - **Almacenamiento:** Los envases fueron almacenados en un lugar fresco y ventilado para garantizar una conservación adecuada del producto.

2.3.3. Métodos de análisis

2.3.3.1. Propiedades fisicoquímicas

- Determinación de pH en mermelada (AOAC 981.12, 2005)

Para la determinación del pH, se utilizó un pH-metro (ANNA, Edge, Alemania), previamente calibrado con soluciones buffer patrón de pH 4.0, 7.0 y 10.0, a fin de asegurar la exactitud del instrumento. Posteriormente, se introdujo el electrodo en un vaso de precipitado de 50 mL que contenía 1 gramo de muestra de mermelada diluida en 20 mL de agua destilada, registrándose el valor de pH en la pantalla del equipo.

- Determinación de °Brix de mermelada (AOAC 931.12, 2005)

Los °Brix se determinaron utilizando el método refractométrico descrito por la (Horwitz, 2005). El refractómetro digital (Atago PAL-1, Japón) fue calibrado previamente con agua destilada a 20 °C, asegurando una lectura de 0 °Brix. Posteriormente, se prepararon 3 gramos de muestra y se aplicó una gota directamente sobre el prisma del equipo, procurando cubrir completamente su superficie. Se presionó el botón “STAR” y se realizó la lectura observando la pantalla del equipo; luego se registró el valor correspondiente en la línea de demarcación. Finalmente, se limpió el prisma con agua destilada y un paño seco, garantizando así la precisión de mediciones posteriores.

- Determinación de acidez titulable de mermelada

La acidez titulable de la mermelada de pulpa de café se determinó siguiendo el método AOAC 924.15 (2005). En primer lugar, se homogeneizó la muestra para garantizar su uniformidad y se pesaron 1 gramo en un vaso de precipitados, añadiendo 50 mL de agua destilada para disolverla completamente mediante agitación. Luego, se llenó una bureta con solución estándar de NaOH 0.1 N, asegurándose de eliminar las burbujas. La solución de mermelada disuelta se transfirió a un matraz Erlenmeyer limpio, donde se añadieron 2 a 3 gotas de fenolftaleína como indicador. A continuación, se tituló con la solución de NaOH 0.1 N mientras se agitaba constantemente, observando el cambio de color a rojo claro persistente durante al menos 30 segundos. Finalmente, se registró el volumen de NaOH consumido, y el porcentaje de acidez titulable se calculó utilizando la ecuación 1 (Adeoti et al., 2021).

$$\% \text{ Acidez titulable} = \left(\frac{N * V * PM}{\text{Peso de la muestra (g)}} \right) * 100 \dots \dots (1)$$

Donde:

N: Normalidad de la solución de NaOH al 0.1 N.

V: Volumen de NaOH consumido (en mL).

100: factor de conversión para expresar el resultado en porcentaje (%).

PM: Peso molecular del ácido predominante (ácido cítrico: 192.13 g/mol).

Peso de la muestra: Cantidad de mermelada pesada (en g).

- **Determinación de humedad (AOAC 934.06, 2005)**

La humedad de la mermelada se determinó utilizando un analizador de humedad (Mettler Toledo, HX204, Suiza). El equipo se configuró con los parámetros de temperatura (105 °C) y tiempo (40 minutos) establecidos por pruebas preliminares para optimizar el procedimiento y la fidelidad de los datos obtenidos. La muestra analizada consistió en 1 g de mermelada; primero se colocó la bandeja de aluminio dentro del equipo para tarar su peso. A continuación, se colocó la muestra de mermelada en la bandeja para registrar su peso, se distribuyó de manera uniforme y se inició el análisis. Finalmente, se realizó la lectura del resultado proporcionado por el dispositivo.

- **Determinación de cenizas (AOAC 942.05, 2005)**

La determinación de cenizas se realizó utilizando una mufla (Nabertherm, serie VHT, Alemania). En primer lugar, se pesaron los 39 crisoles vacíos para obtener su masa inicial. Posteriormente, se colocaron 5 gramos de muestra en cada crisol, y se sometieron a incineración en la mufla a una temperatura de 550 ± 20 °C durante 20 horas, hasta obtener cenizas de color blanco o ligeramente grisáceo.

Finalizado el proceso de incineración, los crisoles fueron enfriados en una campana de desecación hasta alcanzar la temperatura ambiente y luego se procedió a su pesado final. El contenido de cenizas se calculó por diferencia de masas y se expresó en términos porcentuales, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_c - P_0}{P_m} \times 100 \dots \dots (2)$$

Donde:

P_c = Peso del crisol con las cenizas obtenidas.

P_0 = Peso del crisol vacío.

P_m = Peso de la muestra de la mermelada.

- **Determinación de textura**

La textura de la mermelada de pulpa de café fue determinada mediante el análisis de perfil de textura (TPA), utilizando un texturómetro (PERTEN Instruments, TVT 6700, Australia). Se evaluaron los parámetros de elasticidad, firmeza, adhesividad, gomosidad y masticabilidad.

Para garantizar condiciones uniformes durante el análisis, se colocó una cantidad fija de mermelada en un recipiente de plástico para alimentos, manteniendo una temperatura constante. La muestra presentó un espesor de 40 mm y fue comprimida mediante una sonda cónica de 35 mm de diámetro, hasta una profundidad de 30 mm. El ensayo se realizó a una velocidad de desplazamiento de 10 mm/min, con un ángulo de 45° y una fuerza de activación del disparador de 0.005 kg.

2.3.3.2. Determinación de capacidad antioxidante y contenido fenólico total (CPT)

- **Capacidad antioxidante: método DPPH**

La capacidad antioxidante fue determinada mediante el método del radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), siguiendo la metodología descrita por Baliyan et al., (2022); Miljkovic et al., (2022); Samaniego, (2016):

Se disolvió 47.2 mg de radical DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) en 200 ml de metanol acuoso al 80%, y se dejó reposar durante 15 minutos en oscuridad. Luego, se ajustó la solución mediante dilución con etanol al 96% hasta obtener una absorbancia de 0.700 ± 0.02 a 517 nm, medida en un espectrofotómetro UV-visible (THERMO SCIENTIFIC, GENESYS 150, Inglaterra).

Se preparó una solución patrón de Trolox (1 mM) disolviendo 15 mg del estándar en 60 mL de metanol acuoso al 80%. A partir de esta solución, se elaboraron soluciones de trabajo con concentraciones comprendidas entre 25 y 1000 μ M, mediante diluciones con metanol. Para la curva de calibración, se pipetearon 100 μ L de cada solución estándar en tubos de ensayo, a los cuales se adicionaron 3.9 mL de la solución DPPH. Las mezclas se homogeneizaron en un agitador vortex (OHAUS, VXMNAL, Estados Unidos) por 1 min a 300 rpm y se mantuvieron en oscuridad durante 30 minutos. Posteriormente, se midió la absorbancia a 517 nm.

Preparación de los extractos

Se pesó 1 g de mermelada de cada muestra y se transfirió a los tubos Falcon. A continuación, se enrasó con metanol y la mezcla se agitó en un agitador vortex (OHAUS, VXMNAL, Estados Unidos) durante 30 segundos. Posteriormente, se centrifugó a 10000 rpm durante 10 minutos para separar las fases. El sobrenadante obtenido fue filtrado utilizando papel Whatman N.º1, recolectando lo extraído en nuevos tubos Falcon.

Para el análisis, se tomaron 100 µL del extracto de mermelada y se les añadieron 3.9 mL de DPPH, que se homogenizó en un agitador de tubos. La mezcla se dejó reposar en la oscuridad durante 30 minutos. El cálculo del contenido de antioxidantes se realizó con la ecuación de la recta obtenida de la curva de calibración (anexo 18), donde se despejó x. Los resultados se expresaron en µmol de Trolox/gramo de muestra.

$$x = \frac{y - 0.7021}{-0.0006} \dots \dots (3)$$

- Contenido Fenólico Total (CPT)

Para cuantificar el CPT, se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, basado en la oxidación de compuestos fenólicos presentes en la pulpa de café, panela, espresso y en las muestras de mermelada, siguiendo la metodología descrita por Floegel et al., (2011); Hasheminya & Dehghannya, (2021).

El reactivo Folin-Ciocalteu al 10% (v/v) se preparó mediante dilución en agua destilada, mientras que la solución de carbonato de sodio al 4% (p/v) se obtuvo por disolución directa en el mismo solvente; ambas soluciones se dejaron reposar durante 15 minutos antes de su uso.

La curva de calibración se elaboró a partir de una solución patrón de ácido gálico (250 mg en 50 mL de metanol acuoso al 80%). A partir de esta solución madre, se prepararon diluciones en un rango de 0 a 250 mg/L (ppm). Para ello, se mezclaron 500 µL de cada estándar con 2.5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu y 2 mL de carbonato de sodio por 1 min a 300 rpm en un agitador vortex (Ohaus, VXMNAL, Estados Unidos), incubándose en oscuridad durante 2 horas a temperatura ambiente.

La absorbancia se midió a una longitud de onda de 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Scientific, GENESYS 150, Inglaterra). A partir

de los datos obtenidos, se construyó la curva de calibración, obteniéndose la ecuación de regresión lineal (Anexo 19):

$$x = \frac{y - 0.0391}{0.0014} \dots \dots \dots (4)$$

El contenido de fenoles totales en las muestras se determinó siguiendo el mismo procedimiento, empleando 500 µL del extracto. La concentración se calculó a partir de la ecuación de la recta, expresándose los resultados como mg de ácido gálico equivalentes por gramo de muestra (mg GAE/g).

2.3.3.3. Evaluación sensorial

Análisis microbiológicos pre-sensorial

Se prepararon un total de 234 placas de Petri y 195 tubos de ensayo, así como ocho matraces de 1 litro, un matraz de 350 mL y dos probetas. Cada uno de los materiales fue debidamente rotulado para su correcta identificación. Se emplearon distintos medios de cultivo según el tipo de microorganismo a evaluar: agar YGC para levaduras, agar Sabouraud para hongos y agar PCA para aerobios mesófilos.

En seis de los matraces destinados a la preparación de los medios (YGC, Sabouraud y PCA), se vertieron 780 mL de agua destilada; en los dos matraces restantes, se añadieron 800 mL de agua destilada.

Posteriormente, se pesaron 24 g de cada medio deshidratado (YGC, Sabouraud y PCA) y se incorporaron en los matraces correspondientes; luego se llevaron a cocción para asegurar una disolución homogénea. Una vez disueltos, los matraces con agar se colocaron en una estufa a temperatura constante de 50 °C para su conservación hasta el momento de la siembra. Por su parte, el caldo de agua peptona fue almacenado bajo refrigeración.

Numeración de microorganismos aerobios mesófilos

El recuento de microorganismos aerobios mesófilos en mermeladas se realizó utilizando la técnica de recuento en placa, de acuerdo con el procedimiento establecido por el ICMSF – 2000 (ReNaLOA, 2000).

Se tomaron 1 g de la muestra de mermelada y se mezcló con agua peptona estéril en un frasco estéril, agitando adecuadamente para asegurar una mezcla homogénea. A

partir de esta mezcla inicial, se realizaron diluciones seriadas decimales de 10^{-1} a 10^{-5} , transfiriendo 1 mL de la mezcla a 9 mL de diluyente estéril en cada paso.

Posteriormente, se vertieron 1 mL de cada dilución en placas de Petri que contenían medio de cultivo adecuado. Las placas se incubaron a $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 72 horas, bajo condiciones aerobias.

Finalizado el período de incubación, se procedió al conteo de las colonias visibles, registrando los resultados como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por gramo de muestra.

Levaduras osmófilas (ufc/g) y hongos osmófilos (ufc/g)

Se siguió el procedimiento establecido por la norma (ISO, 2008) para la enumeración de mohos y levaduras. Se pesó una cantidad representativa de muestra (mínimo 10 g) y se mezcló con 90 mL de caldo de agua peptona al 0.1 %, con el fin de obtener una suspensión inicial. A partir de esta, se realizaron cinco diluciones sucesivas para el posterior recuento.

Para la inoculación, se sembraron 0.5 mL de la muestra o de las diluciones en placas que contenían medio de cultivo agar YGC para levaduras y agar Sabouraud para mohos. Las placas se incubaron a $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante un período de 24 horas para levaduras y 48 horas para mohos.

Se contó el número de colonias desarrolladas en las placas, seleccionando aquellas que presentaron colonias para ser etiquetadas. Los recuentos se llevaron a cabo entre las 24 y 72 horas de incubación; los resultados se expresaron como el número de Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por gramo de muestra analizada.

La mermelada fue sometida a evaluación sensorial por 146 panelistas no entrenados, de 137 panelistas marcaron correctamente y 9 panelistas no fueron contabilizado para el análisis estadístico. Para evaluar la aceptación y atributos de cada muestra de mermelada, se utilizó la escala hedónica categórica de 9 puntos, que abarcó desde "me disgusta extremadamente" hasta "me gusta extremadamente" (González et al., 2014). Antes de iniciar la evaluación, se proporcionó a los panelistas un consentimiento informado aprobado por el comité de ética de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ), el cual fue leído y firmado por los participantes. Este documento garantizó la comprensión

y aceptación de los procedimientos y objetivos del estudio. La evaluación se estructuró en dos fases.

Fase 1: Identificación de descriptores sensoriales

Se realizó una sesión con 54 panelistas, conforme a lo recomendado por Ares et al., (2014). Se aplicó la técnica de asociación libre de palabras, siguiendo las pautas establecidas por Jauregui-García et al., (2024). Se solicitó a los participantes que escribieran palabras o frases cortas que describieran mejor la muestra. Posteriormente, se seleccionaron las 20 palabras más mencionadas por los consumidores, las cuales se emplearon para elaborar una ficha sensorial utilizada en la segunda fase.

Fase 2: Evaluación CATA y escala hedónica

Los 146 panelistas evaluaron la aceptación y los atributos de cada muestra de mermelada mediante la técnica Marque Todo lo que se Aplica (Check-All-That-Apply, CATA), que incluyó los 20 términos generados en la primera fase. Cada panelista marcó todos los atributos que percibió en cada muestra de mermelada, de acuerdo con lo indicado por (Meyners y Castura, 2014).

Las muestras se presentaron en envases PET de 2 oz con codificación alfanumérica, a temperatura ambiente. El orden de presentación se aleatorizó para cada participante. Entre cada muestra, los panelistas limpiaron su paladar con galletas saladas y agua a temperatura ambiente. La recopilación de datos se realizó mediante un formulario de Google Forms en dispositivos electrónicos proporcionados a cada panelista. Cada participante firmó un consentimiento informado (anexo 20), el cual garantizó su privacidad y participación voluntaria. El protocolo fue aprobado por el comité de ética en investigación de la Universidad Nacional de Jaén (anexo 22).

Criterios de inclusión: estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad Nacional de Jaén, pertenecientes a diversos grupos etarios y de ambos sexos, que participaron de manera voluntaria en este estudio.

Criterios de exclusión: estudiantes, docentes y personal administrativo de la Universidad Nacional de Jaén que presentaron alergias alimentarias relacionadas con la mermelada de pulpa de café o alguno de sus ingredientes, así como aquellos con restricciones dietéticas que pudieran interferir en la evaluación. Asimismo, no se consideró a personas que no quisieron o no pudieron firmar el consentimiento informado.

También se excluyeron menores de 18 años y participantes que manifestaron una fuerte aversión hacia productos de café o mermeladas, debido a su posible influencia en los resultados.

Cada panelista evaluó 5 muestras de mermelada correspondientes a las corridas seleccionadas: C2 (50% A + 48% B + 2% C), C7 (56% A + 36% B + 8% C), C8 (50% A + 30% B + 20% C), C10 (59% A + 30% B + 11% C) y una muestra comercial utilizada como control. Estas corridas correspondieron a combinaciones con contenido de CPT y capacidad antioxidante en niveles bajo, medio y alto.

2.3.4. Diseño de investigación

Se realizó una investigación de tipo experimental, en la cual se empleó un diseño de mezcla Simplex Lattice para investigar la relación en mezcla de pulpa de café, espresso y panela. Este diseño permitió explorar todas las posibles combinaciones de los ingredientes y determinar la mezcla con los mejores resultados en la evaluación de análisis sensorial.

Con la finalidad de estructurar el diseño experimental y definir las variables de estudio, se establecieron las variables independientes y dependientes, así como sus respectivos indicadores. En la Tabla 1 se presentan las variables consideradas en la elaboración de la mermelada de pulpa de café, panela y espresso.

Tabla 1

Variables para elaboración de mermelada de pulpa de café, panela y espresso

Variable Independiente	
Relación en mezcla	Indicadores
	Porcentaje de: Pulpa de café, panela y espresso.
Variables dependientes	
Características sensoriales	• Aroma • Sabor • Color • Apariencia
Propiedades fisicoquímicas	• pH • Brix • Textura • Humedad • Cenizas
Capacidad antioxidante	
Contenido fenólico total	

Las variables independientes consideradas en el diseño experimental para la optimización de mermelada, así como los rangos de niveles establecidos para cada una, se presentaron en la Tabla 2, donde se mostraron los factores evaluados: Pulpa de café (A): Componente principal, con un nivel mínimo de 50 % y un máximo de 68 %. Panela (B): Fuente de azúcar natural, con un rango entre 30 % y 48 %, que aseguró la dulzura y estabilidad del producto final y Espresso (C): Aportó notas amargas y compuestos bioactivos, incorporados en proporciones entre 2 % y 20 %.

Los rangos se establecieron en función de estudios preliminares y criterios tecnológicos para garantizar la viabilidad sensorial y funcional del producto final, maximizando la contribución de cada factor a las propiedades antioxidantes y de polifenoles. La elección de estos límites también consideró restricciones prácticas de procesamiento y compatibilidad con los ingredientes.

Tabla 2

Factores y niveles de diseño para la optimización de mermelada

Indicador	Mínimo	Máximo
A	50	68
B	30	48
C	2	20

El proceso de elaboración de la mermelada se desarrolló conforme a los criterios fisicoquímicos establecidos en la NTP 203.047 (INACAL, 2017), considerando un contenido mínimo de 65 °Brix y un rango de pH entre 3.0 y 3.8.

La Tabla 3 presenta las 13 corridas experimentales del diseño de mezclas Simplex Lattice, que se implementó para evaluar el efecto de las proporciones de pulpa de café, panela y espresso en la formulación de la mermelada. Cada corrida representó combinaciones específicas de los ingredientes, categorizadas según el tipo de punto experimental: Central, que exploró proporciones intermedias; Central Edge, que examinó bordes intermedios en el espacio experimental; y Vértice, que correspondió a extremos o predominancia de un componente.

Tabla 3

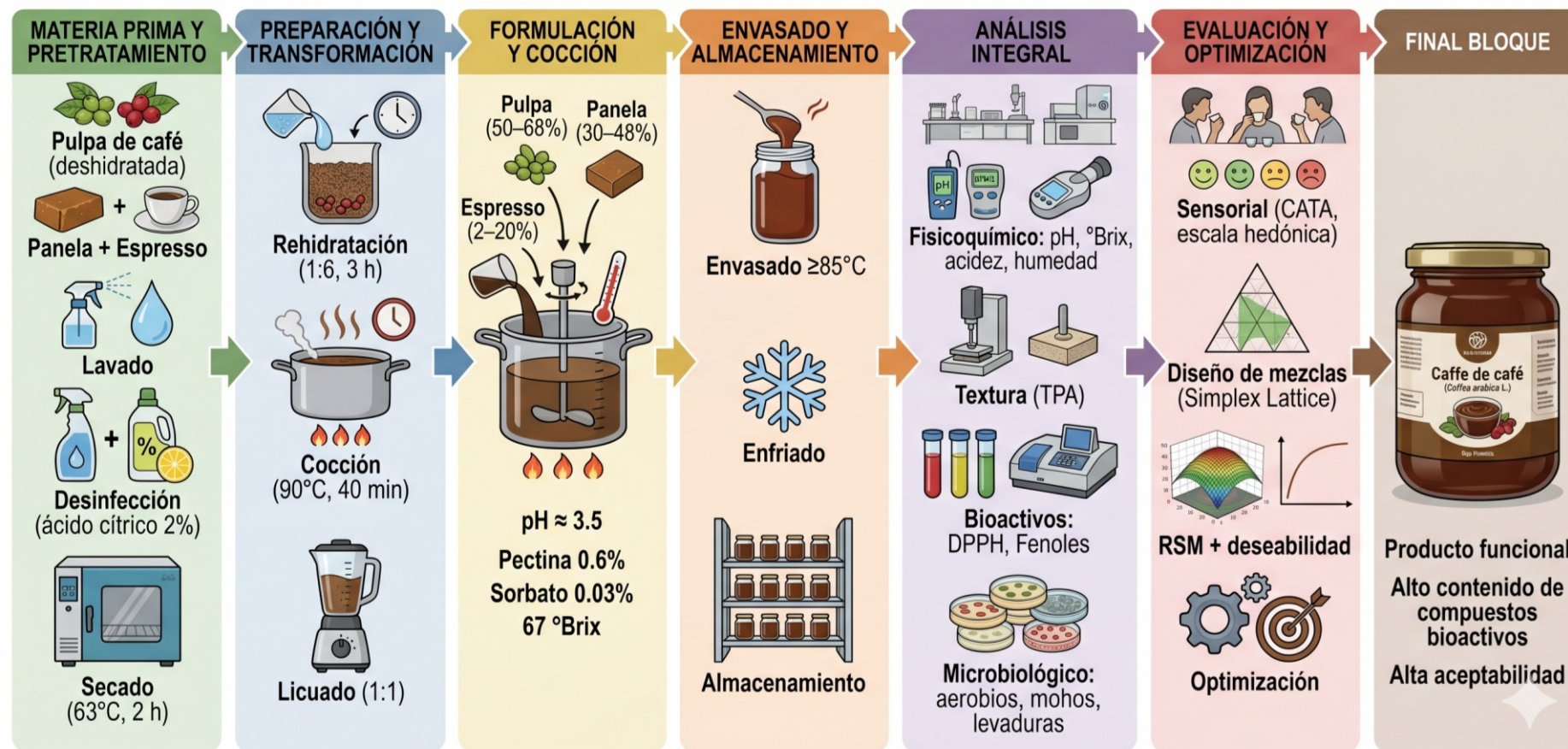
Diseño de mezclas Simplex Lattice para la elaboración de mermelada a base de pulpa de café, panela y espresso

Corrida	Tipo de punto	Variables independientes		
		Pulpa de café: A	Panela: B	Espresso: C
7	Central	56	36	8
9	Vértice	53	33	14
11	Vértice	53	42	5
12	Vértice	62	33	5
3	Central Edge	59	39	2
10	Central Edge	59	30	11
13	Central Edge	50	39	11
1	Vértice	68	30	2
2	Vértice	50	48	2
4	Vértice	50	30	20
5	Vértice	68	30	2
6	Vértice	50	48	2
8	Vértice	50	30	20

Con el objetivo de representar de manera integral el diseño experimental aplicado, se estructuró un esquema que relaciona las variables independientes, los análisis realizados y el proceso de optimización. En la Figura 3 se presenta el esquema experimental del estudio, incluyendo las etapas de formulación, evaluación fisicoquímica, análisis de compuestos bioactivos, análisis microbiológico y evaluación sensorial.

Figura 3

Esquema experimental para la elaboración y evaluación de mermelada de pulpa de café, panela y espresso



Nota. El esquema presentó el diseño experimental aplicado en la elaboración de mermelada a partir de pulpa de café deshidratada, panela y espresso. En este se incluyeron las variables independientes evaluadas (proporciones de los ingredientes), los análisis realizados (fisicoquímicos, de compuestos bioactivos, microbiológicos y sensoriales) y la optimización del producto final mediante herramientas de diseño experimental.

2.3.5. Análisis de datos

Los datos experimentales obtenidos para las variables respuesta (humedad, pH, °Brix, capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales) fueron analizados mediante estadística descriptiva y modelamiento de superficie de respuesta bajo un enfoque de diseño experimental de mezclas.

Las propiedades sensoriales (aroma, sabor, color y apariencia), evaluadas mediante una escala hedónica ordinal de 1 a 9 puntos, fueron analizadas exclusivamente mediante procedimientos no paramétricos, en coherencia con la naturaleza ordinal de los datos y la posible ausencia de normalidad. Se aplicó la prueba de Friedman para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones, considerando la estructura de bloques asociada a los evaluadores. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se realizaron comparaciones múltiples post hoc mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, ajustando el nivel de significancia para controlar el error tipo I acumulado. Este enfoque permitió identificar de manera robusta las diferencias específicas entre tratamientos sin asumir normalidad ni igualdad de varianzas.

Ajuste del modelo estadístico

El diseño experimental, basado en un esquema Simplex Lattice, permitió evaluar la influencia de tres factores independientes: Pulpa de café, panela y espresso, sobre dos variables respuesta: contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante. Para modelar dichas respuestas, se ajustaron modelos polinomiales de diferente orden.

Modelo lineal:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

Este modelo supone que los efectos de los factores son aditivos y no considera interacciones entre los ingredientes.

Modelo cúbico especial:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \varepsilon$$

Este modelo incluye términos cúbicos y captura interacciones de orden superior, siendo ideal para casos donde las relaciones entre factores y respuestas son altamente no lineales.

Para cada variable respuesta se ajustaron modelos polinomiales propios de diseño de mezclas, considerando inicialmente el modelo lineal y, cuando correspondió según

significancia estadística, el modelo cúbico especial que incluye términos de interacción binaria. La selección del modelo adecuado se realizó con base en:

- Significancia global del modelo ($p < 0,05$).
- Significancia individual de los coeficientes.
- Coeficiente de determinación (R^2).
- Coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado).
- Análisis de residuos (normalidad, homogeneidad y ausencia de patrones sistemáticos).

Se generaron superficies de respuesta y diagramas de contornos ternarios para visualizar el comportamiento de las variables dependientes dentro del espacio experimental definido por el simplex de mezclas.

Optimización de factores

La optimización del sistema se orientó a maximizar simultáneamente el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante. Para ello, se empleó el enfoque de función de deseabilidad, asignando a cada respuesta una función individual D_i definida en el intervalo $[0,1]$, donde el valor 1 representó el nivel óptimo deseado. El índice global de deseabilidad se calculó mediante la expresión

$$D_{Global} = (D_1 * D_2 * \dots * D_N)^{\frac{1}{N}} \dots \dots \dots (5)$$

Donde $D_1, D_2, \dots, D_n$ son las deseabilidades individuales.

El modelo seleccionado fue validado mediante tres corridas experimentales adicionales ubicadas tanto dentro como fuera de los límites del diseño experimental. Los valores experimentales obtenidos fueron comparados con los valores predichos por el modelo, evaluando su precisión y robustez mediante el cálculo del error relativo. Todo el análisis estadístico fue realizado utilizando el software Statistica, el cual permitió ejecutar los análisis de varianza, pruebas no paramétricas, ajuste de modelos polinomiales, análisis de residuales y procedimientos de optimización, garantizando rigor metodológico y reproducibilidad en la determinación de la formulación óptima de la mermelada. [OBJ]

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos de la pulpa de café, panela, espresso y mermeladas formuladas.

En la Tabla 4 se muestra la caracterización fisicoquímica y los compuestos bioactivos de las formulaciones de mermelada elaboradas a partir de pulpa de café, panela y espresso. Los parámetros evaluados incluyeron sólidos solubles (°Brix), porcentaje de humedad, pH, acidez titulable expresada como porcentaje de ácido cítrico, contenido de cenizas, capacidad antioxidante y contenido fenólico total.

Tabla 4

Resultados de las características fisicoquímicas y compuestos bioactivos

Muestra	°Brix	Humedad (%)	pH	Acidez titulable (%)	Cenizas	Contenido fenólico total (mg GAE/ g)	Capacidad antioxidante (μmol Trolox/g)	Fibra Bruta (%)
C1	43.10 ± 0.20	44.09 ± 0.48	4.90 ± 0.01	0.41 ± 0.02	1.25 ± 0.03	13.897 ± 0.22	16.671 ± 0.04	0.187 ± 0.01
C2	66.40 ± 0.17	9.80 ± 0.47	5.02 ± 0.04	0.47 ± 0.02	1.54 ± 0.07	12.772 ± 0.21	15.101 ± 0.06	0.508 ± 0.02
C3	52.50 ± 0.26	25.48 ± 0.60	4.96 ± 0.05	0.46 ± 0.02	1.56 ± 0.01	14.260 ± 0.12	16.504 ± 0.15	0.504 ± 0.00
C4	50.93 ± 0.35	34.22 ± 0.10	4.99 ± 0.02	0.52 ± 0.02	1.72 ± 0.07	22.921 ± 0.35	19.990 ± 0.09	0.453 ± 0.01
C5	40.37 ± 0.46	41.26 ± 0.66	4.83 ± 0.03	0.33 ± 0.02	1.20 ± 0.02	13.522 ± 0.66	16.365 ± 0.06	0.467 ± 0.01
C6	64.93 ± 0.15	13.59 ± 0.24	4.92 ± 0.03	0.63 ± 0.04	1.72 ± 0.05	17.939 ± 1.61	16.476 ± 0.27	0.280 ± 0.00
C7	61.37 ± 0.42	16.91 ± 0.34	4.86 ± 0.02	0.67 ± 0.03	3.78 ± 0.01	15.629 ± 0.20	17.629 ± 0.19	0.155 ± 0.01
C8	57.23 ± 0.72	20.73 ± 0.96	4.86 ± 0.02	0.61 ± 0.03	2.86 ± 0.02	31.653 ± 0.17	20.046 ± 0.26	0.638 ± 0.03
C9	54.80 ± 0.36	24.29 ± 0.48	4.85 ± 0.03	0.47 ± 0.02	1.74 ± 0.07	23.016 ± 0.49	19.685 ± 0.16	0.498 ± 0.01
C10	45.67 ± 0.06	31.93 ± 0.89	4.81 ± 0.03	0.48 ± 0.00	1.37 ± 0.03	20.201 ± 0.48	18.615 ± 0.30	0.546 ± 0.02
C11	58.57 ± 0.32	13.65 ± 0.41	4.94 ± 0.08	0.47 ± 0.02	1.58 ± 0.00	17.236 ± 0.17	16.379 ± 0.11	0.266 ± 0.01
C12	45.63 ± 0.21	32.68 ± 0.45	4.79 ± 0.04	0.41 ± 0.02	3.78 ± 0.00	16.980 ± 0.02	16.824 ± 0.30	0.165 ± 0.00
C13	56.10 ± 0.35	17.59 ± 0.30	4.84 ± 0.01	0.61 ± 0.03	1.47 ± 0.00	19.939 ± 0.55	16.282 ± 0.17	0.199 ± 0.01
A	2.97 ± 0.06	22.54 ± 1.47	4.91 ± 0.04	1.53 ± 0.02	6.74 ± 0.15	34.913 ± 2	17.435 ± 0.45	
B	5.08 ± 0.08	2.17 ± 0.16	6.25 ± 0.01	0.13 ± 0.00	1.26 ± 0.06	18.647 ± 0.31	8.06 ± 0.13	
C	6.10 ± 0.10	92.63 ± 0.15	5.57 ± 0.01	0.26 ± 0.00	0.60 ± 0.01	59.056 ± 1.08	44.017 ± 2.03	

Nota. Los valores representan el promedio ± desviación estándar de las tres repeticiones por tratamiento. La tabla muestra la caracterización fisicoquímica y el contenido de compuestos bioactivos de las distintas corridas experimentales (C1–C13), así como de las materias primas empleadas: pulpa de café (A), panela (B) y espresso (C).

Los °Brix de las corridas presentaron valores elevados, comprendidos entre 40.37 °Brix (C5) y 66.40 °Brix (C2), destacando además C6 (64.93 °Brix) y C7 (61.37 °Brix), por su parte, las materias primas exhibieron valores bajos en la pulpa de café (2.97 °Brix) y mayores en el espresso (6.10 °Brix), mientras que la panela (5.08 °Brix) presentó un valor intermedio. En cuanto a la humedad, el mayor contenido se observó en C1 (44.09 %), seguido de C4 (34.22 %) y C12 (32.68 %), mientras que C2 (9.80 %) y C6 (13.59 %) registraron los valores más bajos. Las materias primas como la pulpa de café (22.54 %) y el espresso (92.63%) por su elevado contenido de agua, en comparación con la panela (2.17 %). El pH de las formulaciones se mantuvo en un rango ácido de entre 4.79 (C12) y 5.02 (C2); las materias, como la panela, un pH de 6.25, la de mayor pH, la pulpa de café con 4.91 y el espresso con 5.57 de pH. La acidez titulable presentó valores entre 0.33 (C5) y 0.67 (C7), con niveles altos en C6 (0.63) y C8 (0.61), inferiores a A (1.53) y superiores a B (0.13) y C (0.26). El contenido de cenizas varió de 1.20 (C5) a 3.78 (C7 y C12), con valores intermedios en la mayoría de las corridas, por debajo de A (6.74) y superiores a C (0.60). Finalmente, la fibra bruta presentó valores bajos, entre 0.155% (C7) y 0.638% (C8), con variaciones leves entre corridas, reflejando principalmente el aporte de la pulpa de café.

El contenido fenólico total osciló entre 12.772 mg GAE/g (C2) y 31.653 mg GAE/g (C8), destacando también C4 (22.921 mg GAE/g) y C9 (23.016 mg GAE/g), en comparación con A (34.913 mg GAE/g), B (18.647 mg GAE/g) y especialmente C (59.056 mg GAE/g) como mayor fuente. En cuanto a la capacidad antioxidante, varió entre 15.101 µmol Trolox/g (C2) y 20.046 µmol Trolox/g (C8), con valores altos en C4 (19.990 µmol Trolox/g) y C10 (18.615 µmol Trolox/g), siendo inferiores a C (44.017 µmol Trolox/g) y cercanos a A (17.435 µmol Trolox/g).

3.1.1. Perfil de textura

El análisis de perfil de textura (TPA) se realizó únicamente en las formulaciones seleccionadas para la evaluación sensorial, correspondientes a C2, C7, C8 y C10, evaluando los parámetros de dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, índice de elasticidad, gomosidad, masticabilidad e índice de masticabilidad, cuyos resultados se presentan a continuación.

Tabla 5

Resultados de análisis de perfil de textura de las combinaciones sometidas a análisis sensorial.

Parámetros	C2	C7	C8	C10
Dureza (N)	0.12	0.12	0.12	0.12
Adhesividad (J)	0.00	0.00	0.00	0.00
Cohesividad	2.66	1.62	2.49	3.05
Elasticidad (mm)	20.27	5.42	10.25	6.74
Índice de elasticidad	0.98	0.98	1.00	0.97
Gomosidad (N)	0.33	0.28	0.42	0.38
Masticabilidad (N)	0.01	0.00	0.00	0.00

Los resultados obtenidos evidenciaron que la dureza fue constante en todas las formulaciones analizadas, registrándose un valor de 0.12 N, lo que indica una resistencia similar a la compresión inicial entre las muestras evaluadas. De igual forma, la adhesividad presentó un valor de 0.00 J en todos los tratamientos, lo que refleja una ausencia de energía requerida para despegar la muestra de la superficie de contacto durante el ensayo instrumental.

En cuanto a la cohesividad, se observaron diferencias entre las formulaciones, con valores que oscilaron entre 1.62 y 3.05. La formulación C7 presentó el valor más bajo de cohesividad (1.62), mientras que la formulación C10 registró el valor más alto (3.05). Las formulaciones C2 y C8 mostraron valores intermedios de 2.66 y 2.49, respectivamente.

Respecto a la elasticidad, los valores variaron entre 5.42 mm y 20.27 mm, siendo la formulación C2 la que presentó la mayor elasticidad (20.27 mm), seguida de C8 (10.25 mm), C10 (6.74 mm) y C7 (5.42 mm); el índice de elasticidad presentó valores cercanos a la unidad, oscilando entre 0.97 y 1.00.

La gomosidad registró valores entre 0.28 N y 0.42 N, siendo C7 la formulación con el menor valor y C8 la que presentó el mayor. La masticabilidad mostró valores muy bajos, variando entre 0.00 N y 0.01 N.

3.2.Optimización del diseño de mezclas

La tabla 6 presenta las ecuaciones de regresión obtenidas para diferentes variables de respuesta en un diseño de mezclas tipo Simplex-Lattice, junto con indicadores estadísticos que evalúan la calidad de los modelos ajustados. Para cada variable (°Brix, humedad, pH, acidez titulable, compuestos fenólicos totales —CPT— y capacidad antioxidante), se especifica el tipo de modelo utilizado (lineal, lineal no significativo o cúbico especial) y su correspondiente ecuación ajustada en función de los componentes de la mezcla (A, B y C, incluyendo interacciones cuando aplica).

Tabla 6

Ecuaciones de regresión de los modelos ajustados para cada variable respuesta en el diseño de mezclas Simplex-Lattice

Variable	Modelo	Ecuación ajustada	Prob > F	Falta de ajuste (p)	R ²	R ² adj.
°Brix	Cúbico especial	$40.84A + 64.98B + 54.25C + 204.49ABC$	0.044	Ns	0.929	0.878
Humedad (%)	Lineal	$40.72^{**} + 9.26B^{**} + 25.30C^{**}$	<0.001	Ns	0.853	0.824
pH	Lineal (ns)	...	0.17	Ns	0.299	0.159
Acidez titulable	Lineal	...	0.029	Ns	0.508	0.41
CPT (mg GAE/g)	Lineal	$13.62A^{**} + 14.93B^{**} + 26.82C^{**}$	<0.001	Ns	0.809	0.771
Cap. antioxidante	Lineal	$16.70A^{**} + 15.56B^{**} + 20.03C^{**}$	<0.001	Ns	0.852	0.822

*Nota. ns = no significativo ($p > 0.05$); * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.*

3.2.1. °Brix

Con el fin de analizar el efecto de las proporciones de los componentes sobre los sólidos solubles, se generó el gráfico de residuos correspondiente. En la Figura 4 se muestra la variación de los valores de °Brix en función de las proporciones de pulpa de café, panela y espresso

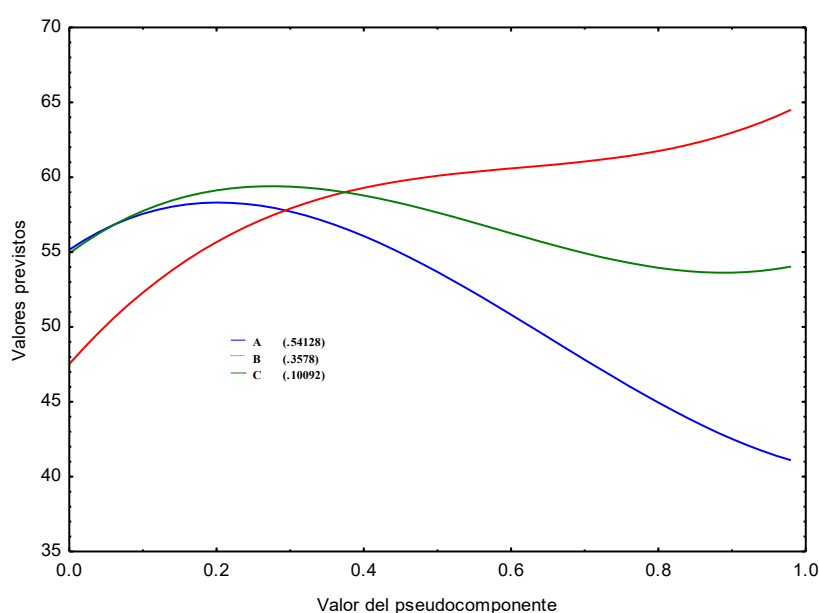
Para la determinación de los sólidos solubles totales (°Brix), el modelo cúbico especial fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales, presentando un coeficiente de determinación (R^2) de 0.929 y una significancia estadística de (p) 0.04, el mayor entre los modelos evaluados. La ecuación del modelo cúbico especial que relaciona las proporciones de los componentes de la mezcla con los valores de °Brix se presenta a continuación:

$$^{\circ}\text{Brix} = 40.836(A) + 64.981(B) + 54.247(C) + 204.489(A * B * C) \dots \dots (6)$$

Donde: A corresponde a pulpa de café, B a panela y C a espresso. La ecuación permite establecer el grado de influencia de cada componente sobre la variable respuesta. Los coeficientes positivos indican un incremento en los valores de °Brix, mientras que los coeficientes negativos reflejan una disminución de la respuesta. En este sentido, la panela (B) presenta el mayor efecto positivo, seguida del espresso (C) y la pulpa de café (A). Por otro lado, las interacciones binarias A·C y B·C presentan coeficientes negativos, mientras que la interacción ternaria A·B·C muestra un efecto positivo de mayor magnitud.

Figura 4

Gráfico de Trazas para sólidos solubles totales (°Brix)

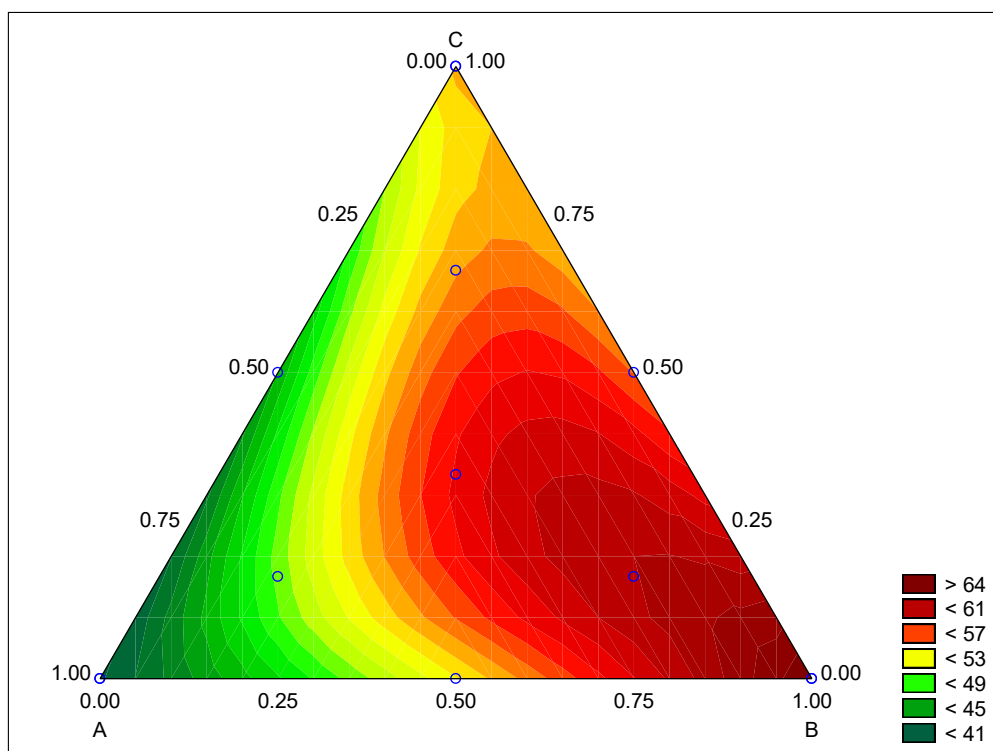


La Figura 4 plasma el gráfico de Trazas, mostrando que la panela (B) muestra un incremento progresivo en los valores predichos de °Brix a medida que aumenta su proporción, alcanzando los valores más altos del sistema. En contraste, la pulpa de café (A) presenta un comportamiento ascendente inicial hasta valores cercanos a 0.2, seguido de una disminución continua conforme aumenta su proporción. Por su parte, el espresso (C) exhibe una tendencia intermedia, con un ligero incremento inicial y posterior disminución gradual, evidenciando un efecto dependiente de su interacción con los otros componentes.

En la Figura 5 se presenta la superficie de contornos que describe la variación de los valores de °Brix; el gradiente de color evidencia claramente el efecto de cada componente, mostrando que el incremento de la proporción de panela favorece el aumento de los sólidos solubles, mientras que la pulpa de café presenta un efecto contrario cuando se encuentra en altas proporciones.

Figura 5

Superficie de contornos para °Brix



Nota. La escala de colores representa los valores predichos de sólidos solubles de menor (verde) a mayor (rojo).

3.2.2. Humedad

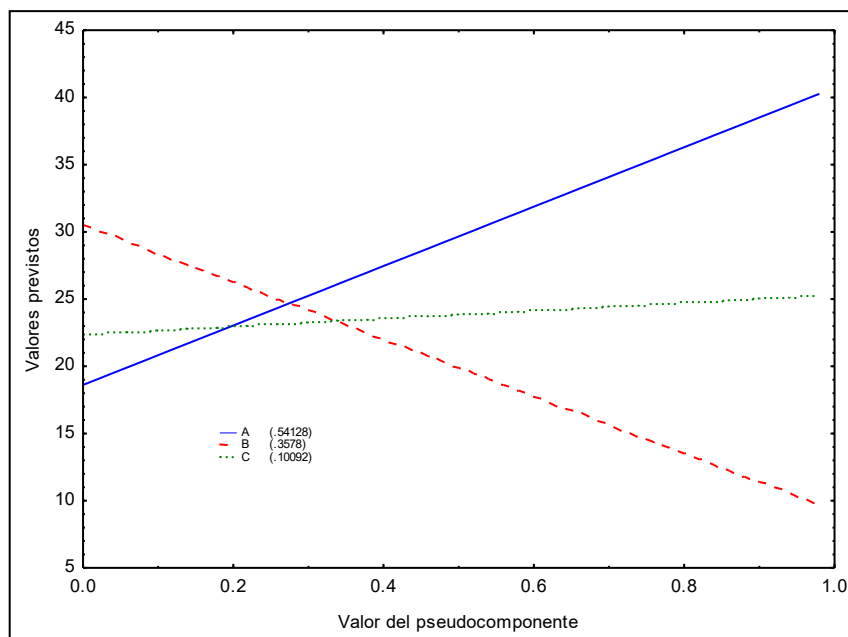
La humedad fue ajustada mediante un modelo lineal de mezclas en función de tres componentes: A (pulpa de café), B (panela) y C (espresso). El modelo presentó un coeficiente de determinación $R^2 = 0.853$ y un R^2 ajustado = 0.824, lo que indica una adecuada capacidad explicativa dentro del dominio experimental; resultó estadísticamente significativo ($p < 0.01$), evidenciando que la variación en la humedad es explicada de manera significativa por las proporciones de los componentes de la mezcla.

El modelo lineal en términos de componentes se expresa mediante la siguiente ecuación:

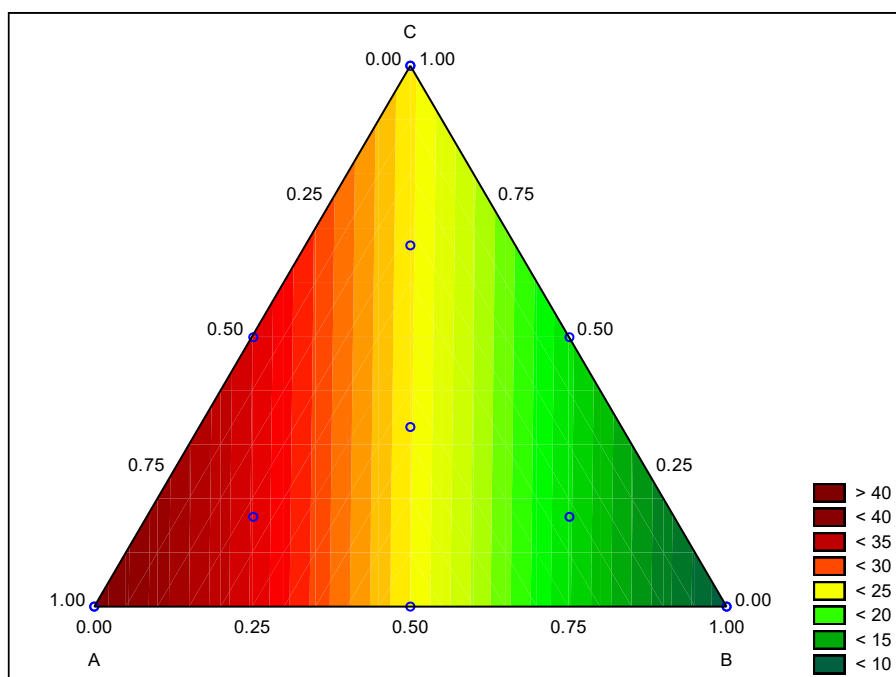
$$\% H = 40.719(A) + 9.261(B) + 25.303(C) \dots \dots (7)$$

Todos los coeficientes del modelo son positivos y estadísticamente significativos ($p < 0.01$), lo que indica que los tres componentes contribuyen al incremento de la humedad. El componente A presenta el mayor coeficiente (40.719), evidenciando el mayor efecto sobre la respuesta. El componente C muestra un efecto positivo intermedio (25.303), mientras que B presenta la menor contribución (9.261). La magnitud de los coeficientes establece el siguiente orden de influencia: $A > C > B$, confirmando que la humedad está principalmente controlada por la proporción de pulpa de café. Dado que el modelo es lineal, no se consideran efectos de interacción entre los componentes.

En la Figura 6, el gráfico de Trazas muestra el efecto individual de cada componente sobre la humedad. Se observa que A presenta una tendencia creciente marcada, indicando un incremento directo de la respuesta al aumentar su proporción. En contraste, B presenta una tendencia decreciente, evidenciando que su incremento reduce la humedad. Por su parte, C muestra una tendencia ligeramente creciente, con menor pendiente que A. Estos resultados confirman que la humedad es altamente sensible a variaciones en A, mientras que B actúa en sentido opuesto.

Figura 6*Gráfico de Trazas para % humedad*

La Figura 7 muestra el diagrama de contornos ternario correspondiente a la superficie de respuesta de la humedad en función de las proporciones de los tres componentes.

Figura 7*Superficie de contornos para la humedad (%)*

Nota. La escala de colores representa los valores de humedad, donde los colores verdes corresponden a valores bajos y los colores rojos a valores altos.

3.2.3. pH

Para la variable pH, los resultados del ANOVA mostraron que ninguno de los modelos evaluados fue estadísticamente significativo.

El modelo lineal presentó $F = 2.131$ y $p = 0.169$, con $R^2 = 0.299$ y R^2 ajustado = 0.159, explicando el 29.89 % de la variabilidad del pH. El modelo cuadrático incrementó el ajuste a $R^2 = 0.649$ y R^2 ajustado = 0.398; sin embargo, tampoco resultó estadísticamente significativo ($F = 2.327$; $p = 0.161$). El análisis global mostró $F = 2.588$ con $p = 0.124$. La prueba de falta de ajuste arrojó $F = 0.236$ y $p = 0.902$, indicando ausencia de falta de ajuste significativa. Considerando la no significancia global de ambos modelos y el principio de parsimonia, se seleccionó el modelo lineal como el más adecuado para describir el comportamiento del pH dentro del dominio experimental.

3.2.4. Acidez titulable

Para la acidez titulable, el modelo lineal presentó significancia global ($F = 5.166$; $p = 0.029$), explicando el 50.8 % de la variabilidad total ($R^2 = 0.508$) y manteniendo una capacidad explicativa ajustada del 41 % (R^2 ajustado = 0.410). En contraste, el modelo cuadrático no resultó significativo ($F = 0.157$; $p = 0.922$) y mostró una reducción del R^2 ajustado a 0.210, indicando que la incorporación de términos cuadráticos no mejoró el ajuste.

3.2.5. Contenido fenólico total (CPT)

Se ajustó el modelo lineal de mezclas para describir el CPT en función de las proporciones de los componentes. El modelo presentó un coeficiente de determinación $R^2=0.809$ y un R^2 ajustado de 0.771 y una significancia $p<0.0001$, indicando un adecuado nivel de explicación de la variabilidad experimental.

El modelo lineal ajustado en componentes originales fue:

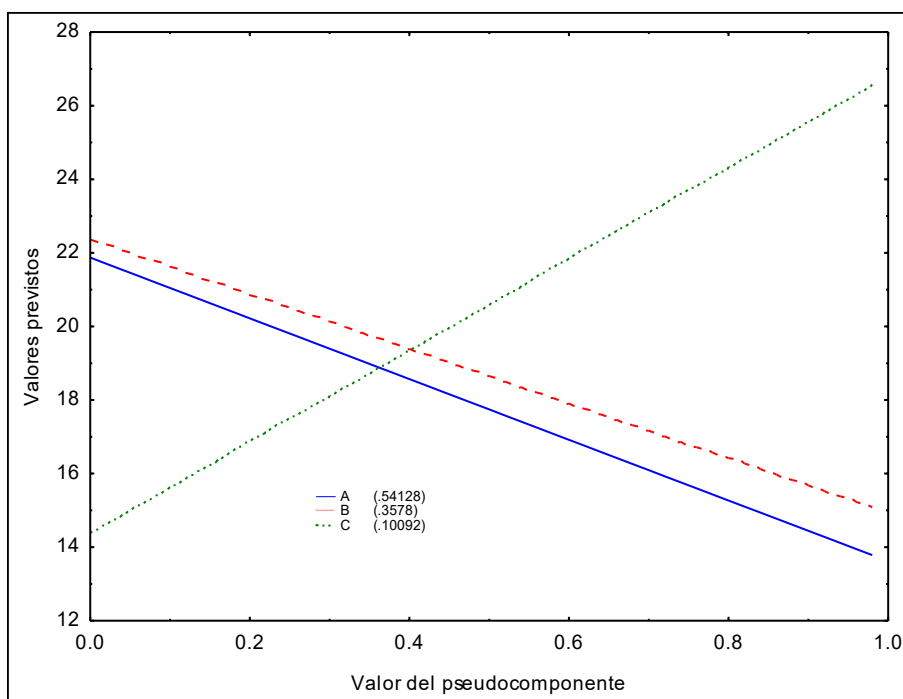
$$CPT = 13.619(A) + 14.934(B) + 26.824(C) \dots \dots \dots (8)$$

Los coeficientes presentan signo positivo y alta significancia estadística, lo que indica que los tres componentes contribuyen al incremento del CPT. No obstante, la magnitud de los coeficientes evidencia diferencias claras en su efecto. El componente C muestra el mayor coeficiente (26.824), posicionándose como el factor dominante en el sistema. En comparación, B (14.934) y A (13.619) presentan efectos positivos de menor magnitud, por lo que su contribución es secundaria.

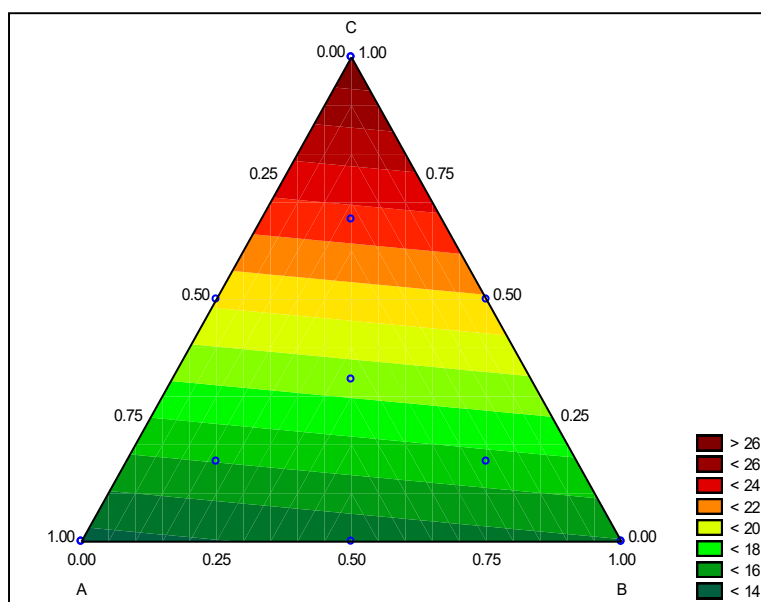
El gráfico de Trazas de la Figura 8 muestra el efecto individual de cada componente sobre el CPT. Se observa que **C** presenta una tendencia creciente marcada, evidenciando que su incremento eleva significativamente la respuesta. En contraste, **A** y **B** presentan pendientes decrecientes, lo que indica que su aumento relativo reduce el CPT frente al efecto dominante del espresso.

Figura 8

Gráfico de Trazas para contenido fenólico total (CPT)



La Figura 9 de la superficie de contornos evidencia un gradiente definido desde valores bajos (zonas verdes) hacia valores altos (zonas rojas). Las máximas respuestas se concentran en la región cercana al vértice de C, mientras que las zonas asociadas a mayores proporciones de A y B presentan menores valores de CPT.

Figura 9*Superficie de contornos del CPT*

Nota. La escala de colores representa los valores predichos del contenido fenólico total.

3.2.6. Capacidad antioxidante

Para la capacidad antioxidante, el modelo lineal resultó altamente significativo ($p = 0.00007$), explicando el 85.20 % de la variabilidad; presentó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.852$ y un R^2 ajustado = 0.822.

El modelo cuadrático incrementó el R^2 hasta 0.911 y el R^2 ajustado hasta 0.848; sin embargo, no fue estadísticamente significativo ($F = 1.551$; $p = 0.284$), evidenciando que los términos adicionales no aportan mejora estadísticamente respaldada.

El modelo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Capacidad Antioxidantes} = 16.699(A) + 15.559(B) + 20.027(C) \dots \dots (9)$$

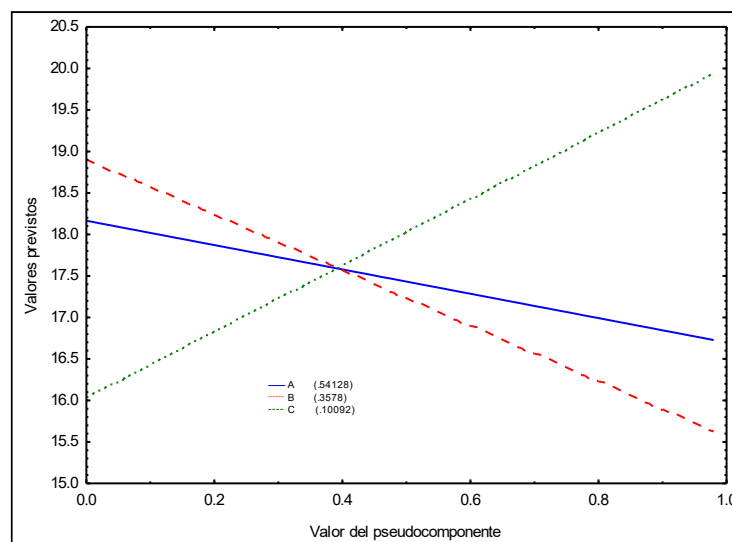
Todos los coeficientes fueron positivos y altamente significativos, indicando que los tres componentes contribuyen favorablemente a la capacidad antioxidante. El componente C (20.027) presentó el mayor coeficiente, evidenciando el efecto más influyente sobre la respuesta. En segundo lugar, se ubica A (16.699), mientras que B (15.559) mostró la menor contribución relativa.

La Figura 10, gráfico de residuos, evidencia el efecto individual de cada componente sobre la respuesta. Se observa que el componente C presenta una tendencia creciente marcada, lo que indica que su incremento eleva la capacidad antioxidante. En contraste, los

componentes A y B muestran tendencias decrecientes, reflejando una disminución relativa de la respuesta al aumentar su proporción.

Figura 10

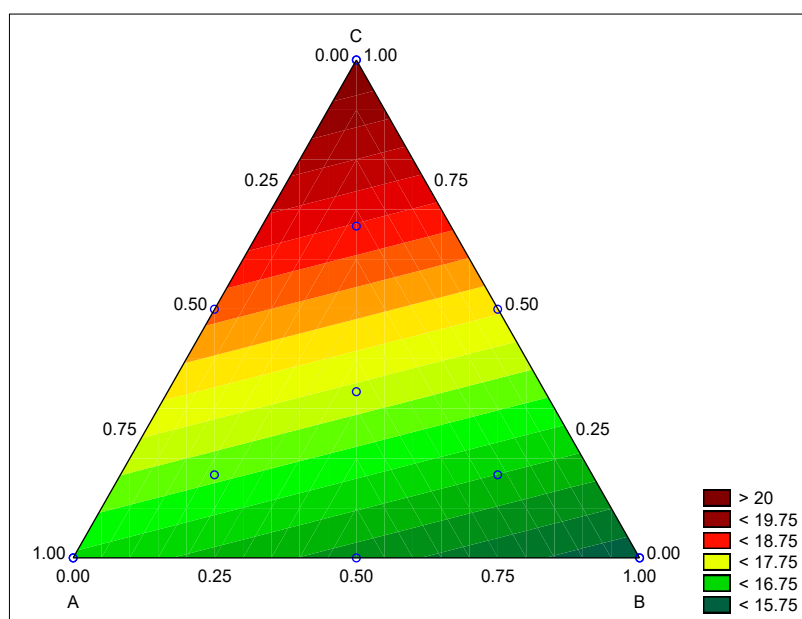
Gráfico de Trazas para capacidad antioxidante.



La superficie de contornos de la Figura 11 muestra la distribución de la capacidad antioxidante en el espacio de mezcla. Se identifica un gradiente definido, donde los valores máximos (≈ 20) se concentran hacia el vértice del componente C, mientras que los valores mínimos se ubican en regiones con mayor proporción de B.

Figura 11

Superficie de contornos para la capacidad antioxidante.



Nota. La escala de colores indica el gradiente de respuesta.

3.2.7. Optimización multirrespuesta integral

La optimización del diseño de mezclas se realizó considerando únicamente aquellas variables de respuesta cuyos modelos de superficie presentaron un coeficiente de determinación $R^2 \geq 0.75$, garantizando así una adecuada capacidad predictiva y confiabilidad estadística del modelo (Montgomery, 2017). En este sentido, fueron seleccionadas las siguientes respuestas: sólidos solubles ($^{\circ}\text{Brix}$) ($R^2 = 0.929$), % humedad ($R^2 = 0.853$), capacidad antioxidante ($R^2 = 0.852$) y CPT ($R^2 = 0.809$). Por el contrario, las variables acidez titulable ($R^2 = 0.508$) y pH (modelo no significativo) fueron excluidas del proceso de optimización debido a su bajo ajuste y limitada capacidad explicativa.

Tabla 7

Criterios y restricciones empleados en la optimización

Factor	Objetivo	Límite inferior	límite superior
A	Rango	0	1
B	Rango	0	1
C	Rango	0	1
$^{\circ}\text{Brix}$	Rango	50	62
% humedad	Rango	10	30
CPT	Maximizar	13	32
Capacidad antioxidante	Maximizar	15	20

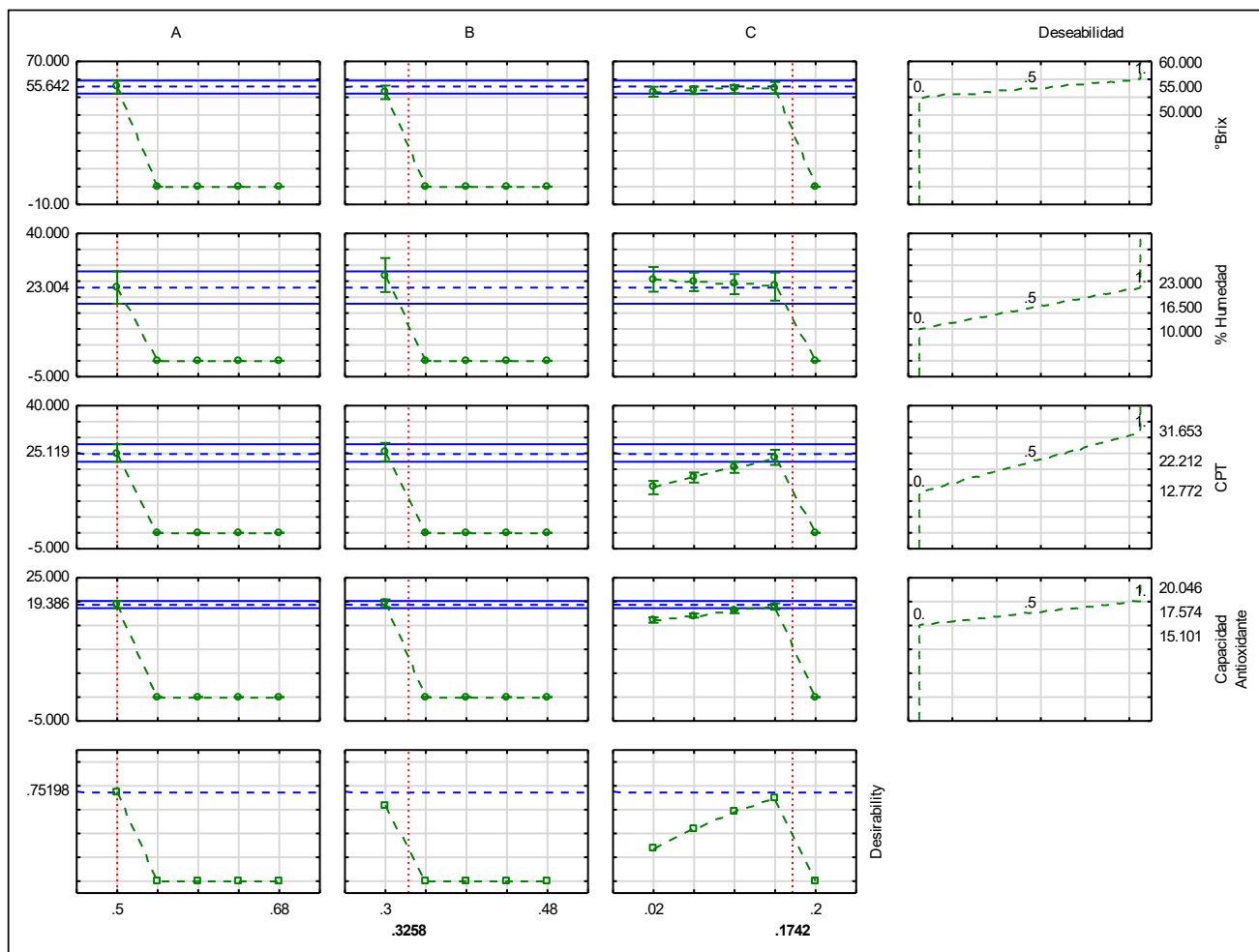
Nota. Los criterios y restricciones corresponden a los parámetros definidos para la optimización mediante función de deseabilidad. Los componentes se limitaron al intervalo 0–1 bajo la condición $A + B + C = 1$. Sólidos solubles y % humedad se establecieron en rango, mientras que CPT y capacidad antioxidante se definieron para maximización, considerando el dominio experimental.

En la Figura 12, los perfiles de valores predichos y deseabilidad, se evidencia que la solución óptima se localiza en la combinación $A = 0.500$, $B = 0.326$ y $C = 0.174$, cumpliendo la restricción estructural del diseño de mezclas y alcanzando una deseabilidad global aproximada de $D \approx 0.75$. En este punto, los modelos lineales validados predijeron 60.00 $^{\circ}\text{Brix}$ para sólidos solubles y 23.00 % de humedad, valores contenidos dentro de los rangos tecnológicos establecidos (50–62 $^{\circ}\text{Brix}$ y 10–30 %, respectivamente), mientras que las variables funcionales alcanzaron valores próximos a sus límites superiores de maximización: 31.653 para CPT (límite 32) y 20.046 para capacidad antioxidante (límite 20). La proximidad

de estas respuestas bioactivas a sus valores objetivo explica su alta contribución a la deseabilidad individual y, en consecuencia, al valor global obtenido.

Figura 12

Perfiles de valores predichos y función de deseabilidad



3.2.8. Validación de la optimización multirrespuesta integral

Tabla 8

Validación experimental del punto óptimo

Variable	Observado	Predicho	Δ %
Sólidos solubles	56.900	60	5 %
% Humedad	21.267	23	8 %
CPT	32.266	31.653	2 %
Capacidad antioxidante	20.407	20.046	2 %

Nota. Predicción: Son los resultados para cada característica estimada del modelo de optimización; Observado: Resultados obtenidos de laboratorio de la muestra optimizada. $\Delta\% = (|\text{Observado} - \text{Predicción}| / \text{Predicción}) * 100$

3.3. Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las formulaciones seleccionadas

3.3.1. Análisis microbiológicos pre sensorial

Los análisis microbiológicos se realizaron con la finalidad de evaluar la inocuidad de las formulaciones de mermelada elaboradas a base de A, B y C. Los resultados se encuentran en conformidad con lo precisado en la NTP 203.047:1991 (INACAL, 2017).

La Tabla 9 muestra que todas las muestras presentan recuentos de aerobios mesófilos dentro de los límites permitidos (0 UFC/g), cumpliendo los criterios establecidos.

Tabla 9

Recuento de aerobios mesófilos UFC/g

Muestra	Lectura	N	C	M	M	Criterio de evaluación
C2	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C3	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C5	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C7	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C8	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C9	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C10	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C11	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C12	0	5	2	10^3	10^4	Apto
C13	0	5	2	10^3	10^4	Apto

Nota. El recuento de aerobios mesófilos en las muestras fue inferior a $M = 10^4$ UFC/g), conforme al plan de muestreo ($n = 5$, $c = 2$, $m = 10^3$), por lo que todas fueron evaluadas como aptas. No se realizaron análisis microbiológicos a las formulaciones C1, C4 y C6 debido a que corresponden a réplicas de tratamientos C5, C8 y C2. n: número de muestras, c: número máximo de unidades que pueden exceder el límite, m: límite microbiológico marginal y M: límite rechazable.

La Tabla 10 muestra que todas las muestras presentan recuentos de aerobios levaduras osmófilas dentro de los límites permitidos (0 UFC/g), cumpliendo los criterios establecidos.

Tabla 10*Recuento de levaduras osmófilas UFC/g*

Muestra	Lectura	n	C	m	M	Criterio de evaluación
C2	0	5	2	10	10 ²	Apto
C3	0	5	2	10	10 ²	Apto
C5	0	5	2	10	10 ²	Apto
C7	0	5	2	10	10 ²	Apto
C8	0	5	2	10	10 ²	Apto
C9	0	5	2	10	10 ²	Apto
C10	0	5	2	10	10 ²	Apto
C11	0	5	2	10	10 ²	Apto
C12	0	5	2	10	10 ²	Apto
C13	0	5	2	10	10 ²	Apto

Nota. El recuento de levaduras osmófilas en todas las muestras fue inferior al valor máximo permitido ($M = 10^2$ UFC/g), conforme al plan de muestreo establecido ($n = 5$, $c = 2$, $m = 10$), por lo que todas fueron evaluadas como aptas. No se realizaron análisis microbiológicos a las formulaciones C1, C4 y C6 debido a que corresponden a réplicas de tratamientos C5, C8 y C2. n: número de muestras, c: número máximo de unidades que pueden exceder el límite, m: límite microbiológico marginal y M: límite rechazable.

La Tabla 11 muestra que todas las muestras presentan recuentos de hongos osmófilos dentro de los límites permitidos (0 UFC/g), cumpliendo los criterios establecidos.

Tabla 11*Recuento de hongos osmófilos UFC/g*

Muestra	Lectura	n	C	m	M	Criterio de evaluación
C2	0	5	2	1	10	Apto
C3	0	5	2	1	10	Apto
C5	0	5	2	1	10	Apto
C7	0	5	2	1	10	Apto
C8	0	5	2	1	10	Apto
C9	0	5	2	1	10	Apto
C10	0	5	2	1	10	Apto
C11	0	5	2	1	10	Apto
C12	0	5	2	1	10	Apto
C13	0	5	2	1	10	Apto

Nota. El recuento de hongos osmófilos en todas las muestras fue inferior al valor máximo permitido ($M = 10$ UFC/g), conforme al plan de muestreo establecido ($n =$

5, $c = 2$, $m = 1$), por lo que todas fueron evaluadas como aptas. No se realizaron análisis microbiológicos a las formulaciones C1, C4 y C6 debido a que corresponden a réplicas de tratamientos C5, C8 y C2. n: número de muestras, c: número máximo de unidades que pueden exceder el límite, m: límite microbiológico marginal y M: límite rechazable.

3.3.2. Evaluación sensorial

Asociación libre de palabras - ALP

A partir de los 54 formularios válidos aplicados a los participantes, se recolectaron un total de 460 palabras, las cuales reflejan una amplia diversidad de percepciones sensoriales evocadas por la mermelada elaborada a base de pulpa de café, panela y espresso. Estas asociaciones incluyeron atributos vinculados principalmente al sabor, aroma, textura y apariencia, así como a sensaciones globales percibidas durante el consumo del producto.

Posteriormente, se realizó una depuración y normalización de los términos, tomando como criterios de inclusión la frecuencia de aparición, la existencia de sinónimos, la proximidad semántica entre palabras y la manifestación implícita de los atributos sensoriales expresados por los participantes. Como resultado de este proceso, se seleccionaron 20 descriptores sensoriales, los cuales concentraron un total de 260 ocurrencias, representando los atributos más relevantes para la caracterización del producto evaluado. En la tabla 12 se muestran las palabras o términos preseleccionados que tuvieron mayor frecuencia y el promedio de importancia dado por los participantes.

Tabla 12

Descriptorios sensoriales obtenidos mediante asociación libre de palabras para la mermelada de pulpa de café, panela y espresso

Descriptor	Frecuencia
Café	28
Dulce intenso	26
Cremosa	24
Espesa	22
Café tostado	20
Caramelo	18
Panela	17
Viscosa	15
Dulce moderado	14
Agridulce	13
Suave	12
Sedosa	11
Fluida	10
Brillante	9
Panela*	8
Amaderado	7
Fermento	6
Gomosa	5
Granulosa	4
Arenosa	3
Total	260

Nota. *Descriptor de aroma

Check-All-That-Apply (CATA)

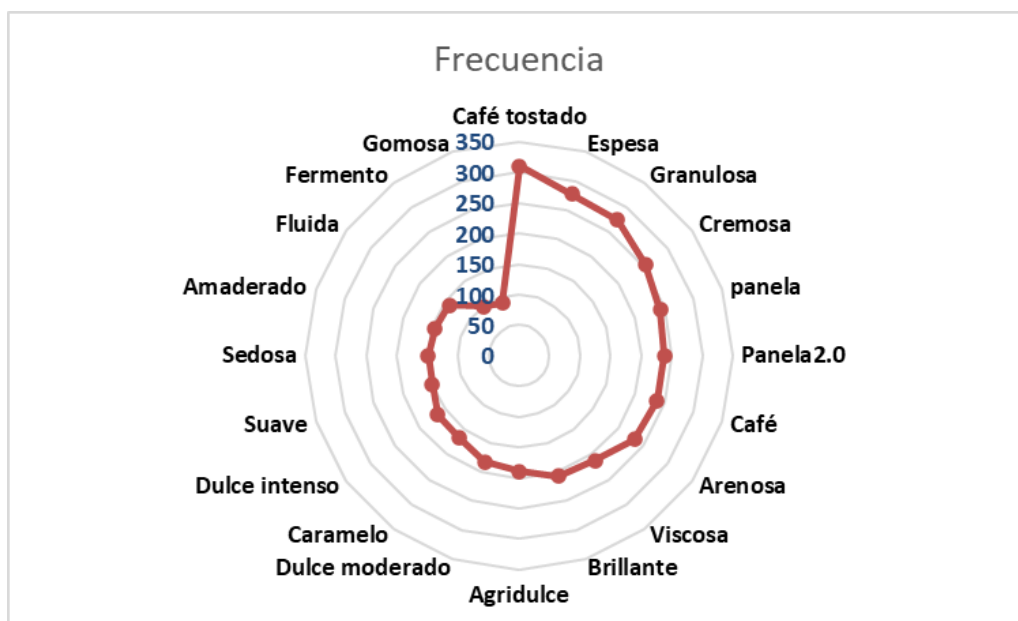
La Figura 13, el gráfico de radar muestra la mención de cada uno de los atributos encontrados por los panelistas en la prueba sensorial de mermelada a base de pulpa de café, panela y espresso, destacando café tostado (310 menciones) como el atributo con mayor frecuencia de mención, lo que evidencia que el perfil aromático característico del café fue claramente percibido por los panelistas. Del mismo modo, se puede observar una alta frecuencia en atributos relacionados con la textura, tales como espesa (278 menciones), cremosa (174 menciones) y granulosa (255 menciones), indicando que la consistencia del producto fue un aspecto sensorial relevante en la evaluación.

En el perfil de sabor, los atributos como panela, café y agridulce mostraron frecuencias intermedias a altas, lo que sugiere una percepción equilibrada entre dulzor y notas propias del café. Por otro lado, características como caramelo, dulce intenso y fermento

presentaron frecuencias moderadas, indicando que estos descriptores estuvieron presentes, pero no fueron dominantes. En contraste, el atributo como gomosa registró la menor frecuencia de mención, al igual que amaderado y fluida mostraron menor incidencia en comparación con los descriptores principales, lo que indica que estas características fueron poco percibidas por los panelistas.

Figura 13

Frecuencia de mención de descriptores sensoriales



Nota. Frecuencia de mención de atributos sensoriales obtenidos mediante metodología CATA. Los valores representan el número total de menciones por los panelistas en las 5 muestras de mermelada. Una mayor distancia del centro indica mayor frecuencia de selección del atributo.

Prueba Q de Cochran

El criterio para determinar la significancia estadística se fijó en un nivel de confianza del 95%, lo que corresponde a un valor α de 0.05. Aquellos atributos con un valor α inferior a 0.05 fueron considerados estadísticamente significativos, indicando que las diferencias observadas no se deben al azar. Por el contrario, atributos con un valor α igual o superior a 0.05 fueron considerados no significativos.

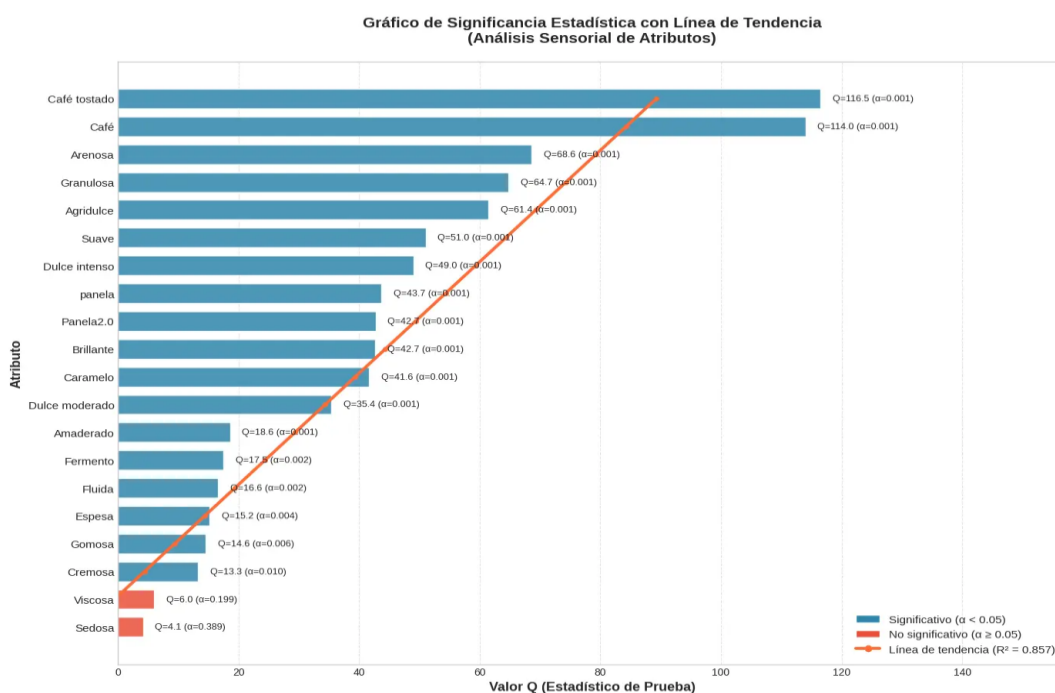
Del total de 20 atributos evaluados, una gran mayoría de 18 atributos (90%) demostró ser estadísticamente significativa. Los dos atributos que no alcanzaron el umbral de

significancia fueron 'Viscosa' ($Q = 6.008$, $\alpha = 0.199$) y 'Sedosa' ($Q = 4.130$, $\alpha = 0.389$). Estos resultados, destacados en rojo en la Figura 13, sugieren que, dentro del contexto de este estudio, estos dos descriptores de textura no contribuyen de manera significativa a la diferenciación entre las muestras evaluadas.

La Figura 14 resume los valores Q y α para todos los atributos.

Figura 14

Significancia estadística



Escala hedónica

La tabla 13 presenta los puntajes promedio de aceptación obtenidos de la evaluación sensorial mediante la escala hedónica de nueve puntos, la cual se realizó considerando los atributos apariencia, aroma, sabor y textura en boca; los resultados se analizaron mediante la prueba de Shapiro–Wilk (significancia de $\alpha = 0.05$). Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre muestras por atributo, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman ($\alpha = 0.05$) con una significancia asociada de $p < 0.001$.

Tabla 13

Puntajes promedio de aceptación de evaluación sensorial evaluado mediante escala hedónica de nueve puntos

Muestra	Apariencia	Aroma	Sabor	Textura en boca
C2	3.63 ± 1.46	3.25 ± 1.34	3.54 ± 1.5	3.64 ± 1.64
MC	2.48 ± 1.55	2.84 ± 1.71	2.82 ± 1.89	2.60 ± 1.83
C8	3.28 ± 1.70	3.30 ± 1.56	3.07 ± 1.85	3.28 ± 1.71
C7	2.99 ± 1.41	3.01 ± 1.59	2.98 ± 1.58	2.97 ± 1.60
C10	2.62 ± 1.61	2.60 ± 1.61	2.58 ± 1.65	2.51 ± 1.73

Nota. Promedio de aceptación ± desviación estándar, mediante análisis Friedman. MC = Mermelada comercial obtenida de la empresa Kaffeehaus Retail S.A.C.

Las medias de aceptación del atributo apariencia de la muestra C2 registraron la mayor puntuación media (6.82 ± 1.46), seguida de C8 (6.50 ± 1.70), C7 (6.31 ± 1.41), C10 (6.01 ± 1.61) y MC (5.88 ± 1.55). Mientras que los rangos promedio derivados de la prueba de Friedman, de mayor a menor puntuación, fueron: C2 (3.63), C8 (3.28), C7 (2.99), C10 (2.62) y MC (2.48).

Las medias hedónicas del atributo aroma de la muestra C8 presentaron la mayor media (6.53 ± 1.56), seguida de C2 (6.50 ± 1.34), C7 (6.29 ± 1.59), MC (6.10 ± 1.71) y C10 (5.98 ± 1.61). Según los rangos promedio de aceptación de la prueba de Friedman, fue: C8 (3.30) > C2 (3.25) > C7 (3.01) > MC (2.84) > C10 (2.60).

Las medias hedónicas del atributo sabor variaron entre 5.90 y 6.69. La muestra C2 obtuvo la mayor media (6.69 ± 1.50), seguida de C7 (6.32 ± 1.58), C8 (6.28 ± 1.85), MC (6.13 ± 1.89) y C10 (5.90 ± 1.65). De acuerdo con los rangos promedio de la prueba de Friedman, el orden de aceptación fue: C2 (3.54) > C8 (3.07) > C7 (2.98) > MC (2.82) > C10 (2.58).

Las medias hedónicas para el atributo textura en boca de la muestra C2 presentaron la mayor valoración (6.67 ± 1.641), seguida de C8 (6.36 ± 1.71), C7 (6.17 ± 1.6), MC (5.80 ± 1.83) y C10 (5.64 ± 1.73). Mientras que los rangos promedio obtenidos mediante la prueba de Friedman fueron: C2 (3.64) > C8 (3.28) > C7 (2.97) > MC (2.60) > C10 (2.51).

Análisis post hoc

La tabla 14 muestra las diferencias observadas mediante la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, aplicando la corrección de Bonferroni (α ajustado = 0,005).

Tabla 14

Comparaciones múltiples significativas mediante prueba de Wilcoxon con corrección de Bonferroni

Comparación	apariencia		Aroma		Sabor		Textura en boca	
	Z	p	Z	P	Z	P	Z	P
C2 – MC	-5.908 ^b	0.000	-2.633 ^b	0.008	-3.418 ^b	0.001	-4.880 ^b	0.000
C2 – C8	-2.442 ^b	0.015	-0.460 ^c	0.646	-2.651 ^b	0.008	-1.936 ^b	0.053
C2 – C7	-4.041 ^b	0.000	-1.460 ^b	0.144	-2.752 ^b	0.006	-3.511 ^b	0.000
C2 – C10	-5.343 ^b	0.000	-3.618 ^b	0.001	-4.929 ^b	0.000	-5.861 ^b	0.000
MC – C8	-4.011 ^c	0.000	-2.911 ^c	0.004	-1.038 ^c	0.299	-3.519 ^c	0.000
MC – C7	-3.361 ^c	0.001	-1.481 ^c	0.139	-1.191 ^c	0.233	-2.279 ^c	0.023
MC – C10	-0.844 ^c	0.399	-0.999 ^b	0.318	-1.456 ^b	0.146	-0.936 ^b	0.349
C8 – C7	-1.257 ^b	0.209	-1.781 ^b	0.075	-0.211 ^c	0.833	-1.540 ^b	0.124
C8 – C10	-3.553 ^b	0.000	-4.447 ^b	0.000	-2.792 ^b	0.005	-4.789 ^b	0.000
C7 – C10	-2.964 ^b	0.003	-2.531 ^b	0.011	-3.047 ^b	0.002	-3.166 ^b	0.002

Nota. a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon, b. Se basa en rangos positivos, c. Se basa en rangos negativos.

Los resultados para el atributo de apariencia mostraron diferencias significativas entre la muestra C2 y las muestras MC, C7 y C10, entre C8 y MC, así como entre C8 y C10. En contraste, no se observaron diferencias significativas entre las muestras C7 y C8, ni entre C10 y MC. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la aceptación del atributo aroma entre los siguientes pares de muestras: MC – C2, C10 – C2, C8 – MC, C10 – MC y C10 – C7. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la aceptación del atributo sabor entre los siguientes pares de muestras: MC – C2, C8 – C2, C7 – C2, C10 – C2, C10 – C8, C10 – C7. En el atributo textura en boca, las comparaciones evidenciaron que la muestra C2 difirió significativamente de MC, C7 y C10, la muestra C8 frente a MC y C10, la muestra C7 difirió de C2, MC y C10, MC mostró diferencias frente a C2, C8 y C7, mientras que C10 difirió de C2, C8 y C7.

IV. DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica y compuestos bioactivos de la pulpa de café, panela, espresso y mermeladas formuladas.

La caracterización fisicoquímica evidencia que las propiedades de la pulpa de café, el espresso y las mermeladas formuladas están directamente determinadas por la composición y proporción de los componentes en el sistema, lo cual es consistente con el comportamiento de matrices evaluadas mediante diseño de mezclas. En el presente estudio, las mermeladas alcanzaron valores de entre 40.37 y 66.40 °Brix y pH entre 4.79 y 5.02, lo que refleja el efecto combinado de los ingredientes, donde la panela, con alto contenido de azúcares, incrementó los °Brix, mientras que la pulpa de café y el espresso, por su mayor contenido de humedad, generaron una dilución relativa de sólidos. La pulpa de café, caracterizada por un contenido de fibra dietaria de 21–32%, compuestos fenólicos, azúcares y ácidos orgánicos, presentó valores de pH reportados entre 4.68 y 6.42 y sólidos solubles entre 0.83 y 16 °Brix (Oblitas-Delgado et al., 2026; Rohaya et al., 2023), lo cual explica su influencia en la reducción de °Brix y en la modulación del pH en las formulaciones. Por su parte, el espresso aportó compuestos solubles derivados del tostado, que contribuyeron a modificar el equilibrio fisicoquímico del sistema, particularmente en la disminución del pH y en la dilución de sólidos (Wu et al., 2022). En cuanto a la acidez, los valores de pH obtenidos (4.79–5.02) se sitúan por encima del rango establecido para mermeladas convencionales (3.0–3.8), lo cual se atribuye a la naturaleza de los ingredientes y al ajuste limitado de acidez durante el proceso, pese a la adición de ácido cítrico hasta pH 3.5 en etapa de proceso, evidenciando un efecto amortiguador de la matriz. Asimismo, la variabilidad observada entre tratamientos confirma la existencia de interacciones no lineales entre la pulpa de café, la panela y el espresso, donde la pulpa aporta estructura y compuestos bioactivos, la panela azúcares reductores y el espresso compuestos solubles del tostado, generando efectos combinados sobre las propiedades fisicoquímicas. En conjunto, los resultados demuestran que la incorporación de pulpa de café y espresso modifica significativamente las propiedades fisicoquímicas respecto a mermeladas tradicionales, confirmando el potencial de estos ingredientes para desarrollar productos con características diferenciadas (Hu et al., 2023), aunque con la necesidad de optimizar parámetros como el pH para cumplir estándares tecnológicos.

El contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante variaron significativamente entre las 13 formulaciones evaluadas, confirmando que estas respuestas

dependen directamente de la proporción de pulpa de café, panela y espresso en el sistema; los valores de compuestos fenólicos totales alcanzaron hasta 31.653 mg GAE/g y la capacidad antioxidante hasta 20.046 $\mu\text{mol TE/g}$, lo cual demuestra un alto potencial funcional del producto desarrollado. Esta variabilidad se explica principalmente por la contribución diferencial de los componentes, donde la pulpa de café constituye la principal fuente de compuestos fenólicos, debido a la presencia de ácidos clorogénicos, ácido cafeico, catequinas y flavonoides (Cañas et al., 2023; Munasir et al., 2026), mientras que el espresso aporta compuestos derivados del tostado, incluyendo melanoidinas y compuestos fenólicos transformados térmicamente, que también contribuyen a la actividad antioxidante (Wu et al., 2022); por su parte, la panela, aunque en menor proporción, contiene compuestos fenólicos residuales y minerales que pueden ejercer un efecto sinérgico en el sistema (Rao & Singh, 2022). En este sentido, las diferencias observadas entre tratamientos no responden únicamente a la concentración individual de los ingredientes, sino a las interacciones entre ellos, las cuales generan efectos no lineales sobre las respuestas, lo cual es consistente con sistemas evaluados mediante diseño de mezclas. La combinación de matrices ricas en polifenoles incrementa la actividad antioxidante más allá del efecto individual de cada componente, lo cual se atribuye a interacciones entre compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios que mejoran la capacidad de neutralización de radicales libres (Rahmawati et al., 2025). Adicionalmente, aunque no se aplicaron técnicas avanzadas de extracción, los resultados obtenidos evidencian que la pulpa de café mantiene una elevada funcionalidad dentro de la matriz alimentaria, lo cual coincide con estudios que reportan incrementos en la recuperación de compuestos fenólicos de hasta 58.3% mediante técnicas asistidas (Arega et al., 2026).

Optimización de diseño de mezclas

La optimización de la formulación mediante el diseño experimental de mezclas tipo Simplex Lattice permitió identificar una combinación óptima de pulpa de café, panela y espresso ($A = 0.500$, $B = 0.326$, $C = 0.174$), la cual maximizó simultáneamente el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante, alcanzando valores predichos de 32.266 mg GAE/g y 20.407 $\mu\text{mol TE/g}$, respectivamente, que fueron validados experimentalmente con alta concordancia, lo que evidencia la robustez del modelo y su capacidad predictiva. Este comportamiento confirma que, en sistemas multicomponente, la respuesta no depende únicamente del efecto individual de cada ingrediente, sino de sus

interacciones, las cuales generan efectos sinérgicos o antagónicos sobre las variables respuesta. La pulpa de café actuó como el principal factor positivo sobre ambas respuestas debido a su alto contenido de compuestos fenólicos, mientras que el espresso contribuyó de manera complementaria a la capacidad antioxidante a través de compuestos derivados del tostado, y la panela desempeñó un rol modulador, favoreciendo la estabilidad del sistema y aportando compuestos fenólicos en menor proporción. La inclusión de ingredientes funcionales en proporciones intermedias permite maximizar la respuesta global del sistema debido a interacciones positivas entre compuestos bioactivos (Rahmawati et al., 2025). Asimismo, la aplicación de la función de deseabilidad permitió integrar múltiples criterios de optimización, confirmando que el enfoque multivariable es adecuado para el desarrollo de alimentos funcionales, especialmente cuando se requiere equilibrar propiedades fisicoquímicas y funcionales (Wanyonyi et al., 2025).

Evaluación de la aceptabilidad sensorial de las formulaciones seleccionadas

Los resultados de aceptabilidad sensorial mostraron que las formulaciones evaluadas alcanzaron niveles adecuados de aceptación en una escala hedónica de 9 puntos, con valores de aceptabilidad global entre 5.88 ± 1.55 (control) y 6.82 ± 1.46 (C2), destacando también C8 (6.50 ± 1.70) y C7 (6.31 ± 1.41), lo que indica una percepción de agrado moderado por parte de los consumidores. En los atributos específicos, el aroma presentó valores entre 5.98 y 6.53 ± 1.56 (C8), mientras que el sabor osciló entre 5.90 y 6.69 ± 1.50 (C2), evidenciando que el balance entre pulpa de café, panela y espresso permitió modular características sensoriales críticas como amargor y astringencia, asociadas a los compuestos fenólicos. En este contexto, la panela contribuyó al enmascaramiento de sabores intensos, mientras que el espresso aportó complejidad aromática sin generar rechazo, lo que permitió mantener valores superiores a 6 en la mayoría de los tratamientos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se determinó que las materias primas y las formulaciones de mermelada presentan propiedades fisicoquímicas diferenciadas en función de su composición, evidenciándose variaciones significativas en sólidos solubles (40.37–66.40 °Brix), humedad (9.80–44.09 %) y pH.

Se comprobó que el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante dependen de la formulación, alcanzando valores máximos de 31.653 mg GAE/g y 20.046 μ mol Trolox/g, respectivamente. El espresso mostró mayor influencia en ambas variables, evidenciando que la interacción entre los componentes determina el potencial funcional del producto.

Se estableció que la combinación óptima de 0.500 pulpa de café, 0.326 panela y 0.174 espresso maximiza simultáneamente las variables funcionales, obteniéndose valores validados de 56.90 °Brix, 21.267 % de humedad, 32.266 mg GAE/g y 20.407 μ mol Trolox/g.

Se evidenció que las formulaciones optimizadas presentan una aceptabilidad sensorial favorable en los consumidores evaluados, con niveles de agrado moderado, lo que demuestra que la incorporación de pulpa de café no limita la aceptación del producto en la población estudiada.

5.2. Recomendaciones

Realizar estudios complementarios de evaluación sensorial que permitan determinar el nivel de aceptación del consumidor respecto a las formulaciones de mermelada elaboradas con pulpa de café, panela y espresso, considerando atributos como apariencia, aroma, sabor, textura y aceptabilidad global.

Desarrollar estudios de estabilidad fisicoquímica y funcional durante el almacenamiento, con el fin de evaluar el comportamiento de parámetros como sólidos solubles, pH, capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales a lo largo del tiempo, lo cual permitiría estimar la vida útil del producto.

Evaluar el uso de otros métodos de determinación de capacidad antioxidante, como ABTS, FRAP u ORAC, con el objetivo de obtener una caracterización más completa del potencial antioxidante del producto desarrollado.

Explorar la aplicación de la pulpa de café en otros productos alimentarios, tales como bebidas funcionales, barras energéticas, productos de panificación o confitería, con la finalidad de ampliar las alternativas de valorización de este subproducto agroindustrial.

Realizar investigaciones orientadas al escalamiento del proceso a nivel piloto o industrial, considerando variables tecnológicas como tiempos de cocción, eficiencia de concentración y control de parámetros fisicoquímicos durante la elaboración de la mermelada.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeoti, O., Alabi, A., Ogunjobi, E., Elutilo, O., & Adeodokun, S. (2021). Comparative study on the proximate, physicochemical and sensory properties of Jams from selected tropical fruits spiced with ginger, garlic and turmeric. *Asian Food Science Journal*, 20(3), 86-99. <https://doi.org/10.9734/afsj/2021/v20i330281>
- Arega, A. S., Tsigkou, K., Kassahun, S. K., & Angelidaki, I. (2026). Sustainable valorization of coffee pulp: Evaluation of the pretreatment effect on the phenolic compounds recovery and anaerobic digestion of the residual biomass. *Biomass and Bioenergy*, 209, 108969. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2026.108969>
- Ares, G., Tárrega, A., Izquierdo, L., & Jaeger, S. R. (2014). Investigation of the number of consumers necessary to obtain stable sample and descriptor configurations from check-all-that-apply (CATA) questions. *Food Quality and Preference*, 31, 135-141. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.08.012>
- Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R. P., & Chang, C.-M. (2022). Determination of antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis of *Ficus religiosa*. *Molecules*, 27(4), 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules27041326>
- Cañas, S., Rebollo-Hernanz, M., Cano-Muñoz, P., Aguilera, Y., Benítez, V., Braojos, C., Gila-Díaz, A., Rodríguez-Rodríguez, P., Cobeta, I. M., Pablo, Á. L. L. D., González, M. D. C., Arribas, S. M., & Martín-Cabrejas, M. A. (2020). Critical evaluation of coffee pulp as an innovative antioxidant dietary fiber ingredient: Nutritional value, functional properties, and acute and sub-chronic toxicity. *The 1st International Electronic Conference on Food Science and Functional Foods*, 65. https://doi.org/10.3390/foods_2020-07623
- Cañas, S., Rebollo-Hernanz, M., Martín-Trueba, M., Braojos, C., Gil-Ramírez, A., Benítez, V., Martín-Cabrejas, M. A., & Aguilera, Y. (2023). Exploring the potential of phenolic compounds from the coffee pulp in preventing cellular

- oxidative stress after in vitro digestion. *Food Research International*, 172, 113116. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113116>
- Cervera-Chiner, L., Barrera, C., Betoret, N., & Seguí, L. (2021). Impact of sugar replacement by non-centrifugal sugar on physicochemical, antioxidant and sensory properties of strawberry and kiwifruit functional jams. *Heliyon*, 7(1), e05963. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05963>
- Dubey, K. K., Mishra, S. S., Marathe, S. J., Mahajani, S. M., Arora, A., & Singhal, R. S. (2023). Incorporation of jaggery in beetroot jam enhances its antioxidant properties with acceptable sensory and physicochemical profile. *Food and Humanity*, 1, 985-995. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.08.005>
- Floegel, A., Kim, D.-O., Chung, S.-J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 1043-1048. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>
- González, V., Rodeiro, C., San Martín, C., & Vila, S. (2014). *Estudio hedónico del pan en el IES Mugardos*. <https://iestpcabana.edu.pe/wp-content/uploads/2021/11/INTRODUCCION-AL-ANALISIS-SENSORIAL.pdf>
- Hasheminya, S.-M., & Dehghannya, J. (2021). Chemical composition, antioxidant, antibacterial, and antifungal properties of essential oil from wild *Heracleum rawianum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 31, 101913. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101913>
- Horwitz, W. (Ed.). (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18. ed). AOAC International.
- Hu, S., Gil-Ramírez, A., Martín-Trueba, M., Benítez, V., Aguilera, Y., & Martín-Cabrejas, M. A. (2023). Valorization of coffee pulp as bioactive food ingredient by sustainable extraction methodologies. *Current Research in Food Science*, 6, 100475. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100475>
- Hu, S., Martín-Cabrejas, M. Á., Hernández, D. M., Martín-Trueba, M., Cañas, S., Rebollo-Hernanz, M., Aguilera, Y., Benítez, V., & Gil-Ramírez, A. (2025). Tailored recovery of antioxidant fractions enriched in caffeine and phenolic

compounds from coffee pulp using ethanol-modified supercritical carbon dioxide. *Food Research International*, 200, 115433. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115433>

INACAL. (2017, marzo 29). *NTP 203.047: Mermelada de frutas. Requisitos*. www.inacal.gob.pe

International Organization for Standardization (ISO). (2008). *Microbiology of food and animal feeding stuffs—Horizontal method for the enumeration of yeasts and moulds—Part 2: Colony count technique in products with water activity less than or equal to 0,95* (Norma ISO 21527-2; Versión 2008(E)). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/2b0fca40-f356-488a-8b9b-bd2ae5e787bd/iso-21527-2-2008>

Jauregui-García, C., Espejel-García, A., Barrera-Rodríguez, A., Hernández-Montes, A., & Hernández-Rodríguez, L. (2024). Perception of wine with protection of origin using free association: Case study Mexico. *Applied Food Research*, 4(1), 100364. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100364>

Liu, J., Wan, P., Xie, C., & Chen, D.-W. (2021). Key aroma-active compounds in brown sugar and their influence on sweetness. *Food Chemistry*, 345, 128826. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128826>

Meyners, M., & Castura, J. C. (2014). Check-All-ThatApply Questions. En *Técnicas novedosas en caracterización sensorial y perfilación del consumidor* (1.^a ed., p. 416). CRC Press.

Microorganismos de los alimentos 1: Su significado y Métodos de Enumeración (2^a ed., Vol. 1). (2000). Editorial Acribia, S.A.

Miljkovic, V., Nesic, M., Mrmosanin, J., Gajic, I., Miladinovic, B., & Stojanovic, D. (2022). Rosa canina L. fruit and jam made of it – natural food colors E160a and E160d content and antioxidant capacity. *Facta Universitatis - Series: Physics, Chemistry and Technology*, 20(1), 79-86. <https://doi.org/10.2298/FUPCT2201079M>

Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (Ninth edition). John Wiley & Sons, Inc.

- Munasir, Maulana, S. A., Nurlaili, R. A., Faaizatunnisa, N., Ariesta, M. N., Fasha, G. N. A., & Widiyanto, S. (2026). Unlocking the biomedical potential of coffee pulp: Extraction methodologies and mechanistic insights of non-bean derivatives for health. *Bioresource Technology Reports*, 34, 102679. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102679>
- Oblitas-Delgado, R., Inga, B. M. F., Huaman, E., Vargas, R., Carrion, J. V., Valle-Lopez, A., Lopez-Merino, J. E., Acuña-Ramírez, E., & Oliva-Cruz, M. (2026). Varietal influence on physicochemical properties, antioxidant capacity, and sensory acceptability of *Coffea arabica* L. pulp infusions. *Beverages*, 12(4), 47. <https://doi.org/10.3390/beverages12040047>
- Pérez, A., Paz, N., & Delgado, Z. (2023). Coffee pulp: A sustainable and affordable source for developing functional foods. *Processes*, 11(6), 15. <https://doi.org/10.3390/pr11061693>
- Rahmawati, A., Nurdiansyah, M. A., Taufik, I., Rosmiati, M., Ramadhaini, R. F., & Abduh, M. Y. (2025). Effects of coffee pulp fermentation on bioactive compounds and antioxidant activity of coffee pulp extract: A systematic review and meta-analysis. *Food Bioscience*, 74, 107964. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.107964>
- Rao, G. P., & Singh, P. (2022). Value addition and fortification in non-centrifugal sugar (jaggery): A potential source of functional and nutraceutical foods. *Sugar Tech*, 24(2), 387-396. <https://doi.org/10.1007/s12355-021-01020-3>
- Rohaya, S., Anwar, S. H., Amhar, A. B., Sutriana, A., & Muzaifa, M. (2023). Antioxidant activity and physicochemical composition of coffee pulp obtained from three coffee varieties in Aceh, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1182(1), 012063. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1182/1/012063>
- Samaniego, F. J. (2016). *Optimización de parámetros de extracción de compuestos antioxidantes en firigüelo (Vigna unguiculata)*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/16248>

- Santos, É. M., De Macedo, L. M., Ataide, J. A., Delafiori, J., De Oliveira Guarnieri, J. P., Rosa, P. C. P., Ruiz, A. L. T. G., Lancellotti, M., Jozala, A. F., Catharino, R. R., Camargo, G. A., Paiva-Santos, A. C., & Mazzola, P. G. (2024). Antioxidant, antimicrobial and healing properties of an extract from coffee pulp for the development of a phytocosmetic. *Scientific Reports*, 14(1), 4453. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54797-0>
- Suriati, L., Mangku, I. G. P., Yudi Ardana, I. D. G., & Putra, I. W. W. (2023). The effect of coffee skin type and cornstarch concentration on characteristics of jam. *Food Research*, 7(3), 71-76. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(3\).979](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(3).979)
- Takal, B. (2021). Utilization of coffee husk and pulp waste as soil amendment: A review. *Journal of Natural Sciences Research*, 12(11), 7. <https://doi.org/10.7176/JNSR/12-11-02>
- Thamaraiselvi, T., Athira, S., Santina, Kala, K., Vasanthi, M., Manikandan E, Rajakannan, V., Nasr, M., Chandrasekaran, M., Chung, W. J., Chang, S. W., & Ravindran, B. (2024). Effective reduction of carbon-containing pollutants in coffee cherry pulping wastewater using natural polysaccharide from *Tamarindus indica* L. seeds. *Environmental Research*, 259, 119527. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119527>
- Wanyonyi, M., Kiluyi, J. W., & Okango, A. A. (2025). Optimization of a functional beverage formulation using a constrained mixture design with multiple responses. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 27(1), 1-16. <https://doi.org/10.9734/ajpas/2025/v27i1699>
- Wu, H., Lu, P., Liu, Z., Sharifi-Rad, J., & Suleria, H. A. R. (2022). Impact of roasting on the phenolic and volatile compounds in coffee beans. *Food Science & Nutrition*, 10(7), 2408-2425. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2849>
- Zhang, K., Liu, X., Li, H., Li, R., & Yang, Q. (2022). Effect of heating time and sugar content on the quality of coffee peel jam. *Food and Fermentation Industries*, 48(24), 97-104. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.029277>

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero y profundo agradecimiento a la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Jaén por el respaldo económico otorgado y por el constante seguimiento académico durante el desarrollo del presente proyecto. Su apoyo fue fundamental para hacer posible la ejecución de esta investigación y reafirma el compromiso institucional con la generación de conocimiento científico.

De igual manera, agradecemos a la Organización No Gubernamental “Terra Nova” por la confianza depositada en esta propuesta de investigación, por el financiamiento brindado y por facilitar la articulación con el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos y Postcosecha de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Su contribución no solo permitió el acceso a infraestructura especializada, sino que también fortaleció el desarrollo técnico y experimental del estudio.

Expresamos un reconocimiento especial al Dr. César Rafael Balcázar por su apertura, disposición y valioso apoyo al permitir la realización de los análisis contemplados en el proyecto, contribuyendo significativamente al rigor científico de los resultados obtenidos.

A nuestros asesores, Mg. Ralph Stein Rivera Botonares y Mg. Ing. Hans Himbler Minchán Velayarce, les manifestamos nuestra gratitud por su orientación constante, exigencia académica y acompañamiento metodológico. Sus aportes, observaciones y guía fueron determinantes para consolidar este trabajo con solidez científica y coherencia investigativa.

Finalmente, agradecemos a los 146 panelistas que participaron voluntariamente en la evaluación sensorial. Su colaboración desinteresada fue esencial para validar los resultados y dar sustento práctico a esta investigación.

A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento.

DEDICATORIA

A Dios, por ser guía constante en cada etapa de mi vida, por brindarme fortaleza en los momentos de dificultad y por iluminar el camino que hizo posible la culminación de esta meta.

A mis padres, Lorenzo Pintado Cruz y Yovani Fernández Guevara, por su amor incondicional, sacrificio silencioso y apoyo permanente. Su esfuerzo, valores y ejemplo han sido el pilar fundamental de mi formación personal y profesional. Este logro les pertenece.

A mis amigos, por su compañía, ánimo y respaldo durante este proceso académico. Con gratitud y cariño, dedico este trabajo a quienes han sido mi motivación y fortaleza.

Alex Alberto Pintado Fernández

A Dios, por guiarme durante mi desarrollo académico, por ser fortaleza en los momentos difíciles y por iluminar el camino que hizo posible la culminación de esta meta.

Dedico este trabajo de investigación, con profundo cariño y gratitud, a mis padres Felicita Cabrera Soliz y Juan Huaman Lavan, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por su amor incondicional, por su esfuerzo constante.

A mi hermana Cristina Crissel Huaman Cabrera, por su compañía, su apoyo y por estar presente en los momentos más importantes de este camino. Gracias por creer en mí, por brindarme siempre su apoyo y confianza para seguir adelante en cada etapa de mi formación. Este logro también es de ustedes, porque con su ejemplo de trabajo y perseverancia me enseñaron a nunca rendirme.

A mi familia, que ha sido mi mayor inspiración y fortaleza para alcanzar esta meta, les dedico con todo mi corazón este logro.

A mis amigos por el cariño y la compañía, por los trabajos realizados juntos, las risas, las amanecidas, y por parte de ese pequeño mundo que me ayudó e inspiró a seguir adelante.

Axvier Arohon Huaman Cabrera

VII. ANEXOS

Anexo 1

Recolección de granos de café



Nota. Actividad de cosecha selectiva de café cerezo realizada en campo, donde se evidencia el proceso de recolección manual de los granos maduros en la fica El Pino.

Anexo 2

Recolección de pulpa de café



Nota. Obtención y acopio de la pulpa de café proveniente del despulpado del café cerezo, recolectada y acondicionada para su posterior utilización como materia prima en el desarrollo experimental de la investigación.

Anexo 3

Lavado y desinfección de pulpa de café



Nota. Proceso de limpieza y desinfección de la pulpa de café mediante el lavado de la materia prima, con la finalidad de eliminar impurezas, residuos y posibles contaminantes, garantizando condiciones adecuadas de inocuidad para su posterior procesamiento

Anexo 4

Secado y envasado de pulpa de café



Nota. Proceso de deshidratación de la pulpa de café mediante el uso de bandejas de secado, con el propósito de reducir el contenido de humedad y preservar sus características físicoquímicas. Posteriormente, el producto seco fue acondicionado y envasado adecuadamente para su almacenamiento y posterior utilización en el desarrollo experimental de la investigación.

Anexo 5

Panel de control de la cámara de secado



Nota. En la imagen se observa el panel de control de cámara de secado durante el proceso de secado de la pulpa de café.

Anexo 6

Licuada de pulpa de café



Nota. Proceso de reducción de tamaño de la pulpa de café deshidratada mediante licuado, realizado con la finalidad de obtener una mezcla homogénea y facilitar su incorporación en la formulación del producto durante el desarrollo experimental.

Anexo 7

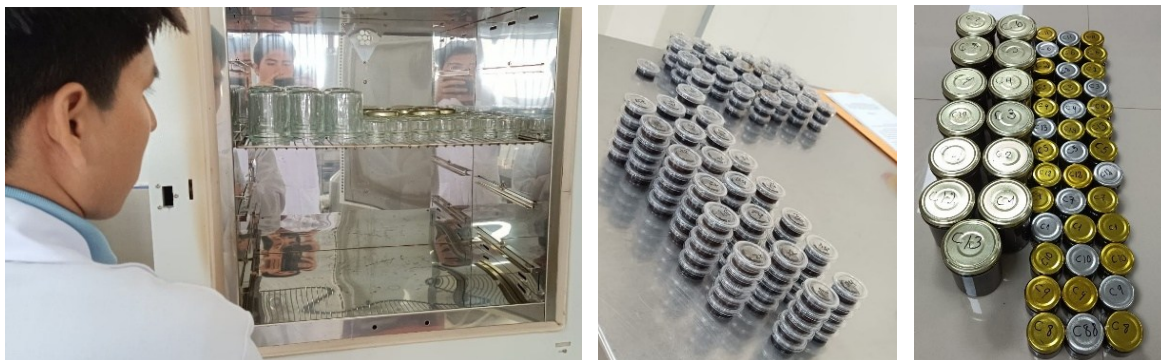
Mezclado y preparación de la mermelada



Nota. Elaboración correspondiente a cada corrida experimental, mezclando A + B + C e insumos.

Anexo 8

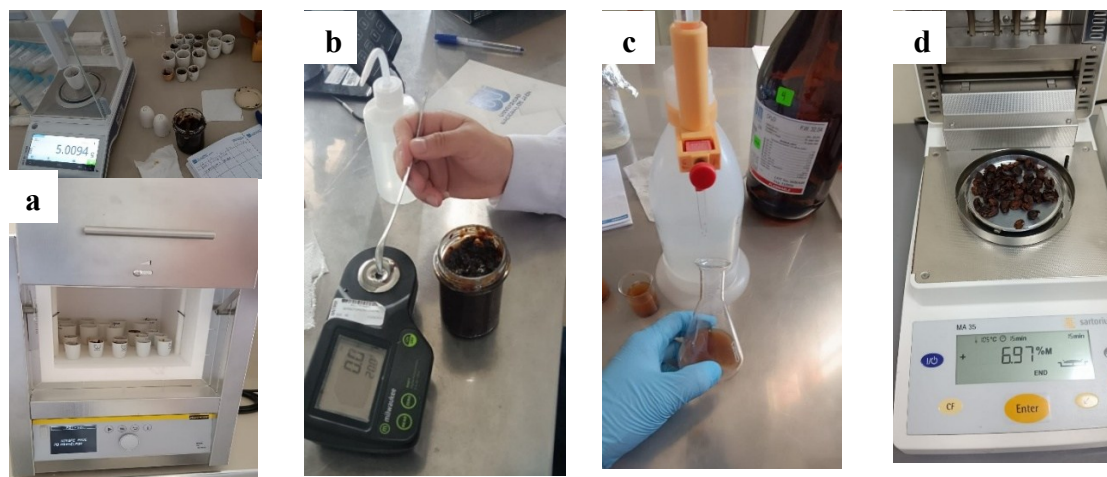
Esterilización de envases y envasado



Nota. Esterilización de envases de vidrio y para envasado de mermelada.

Anexo 9

Análisis físicoquímico



Nota. a. Determinación de cenizas, b. Medición de brix, c. Determinación de acidez titulable, d. Determinación de % de humedad.

Anexo 10

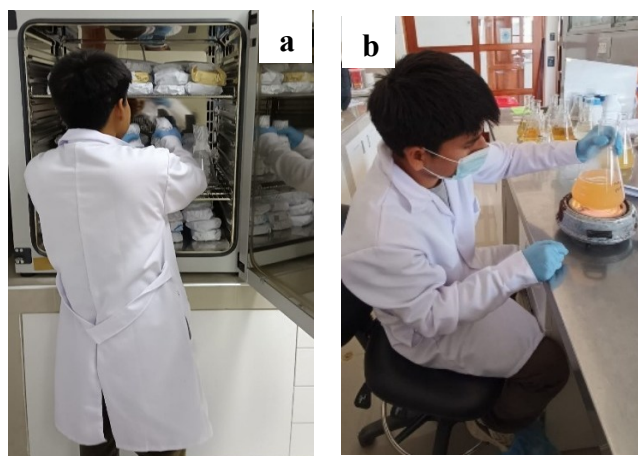
Análisis de compuestos bioactivos

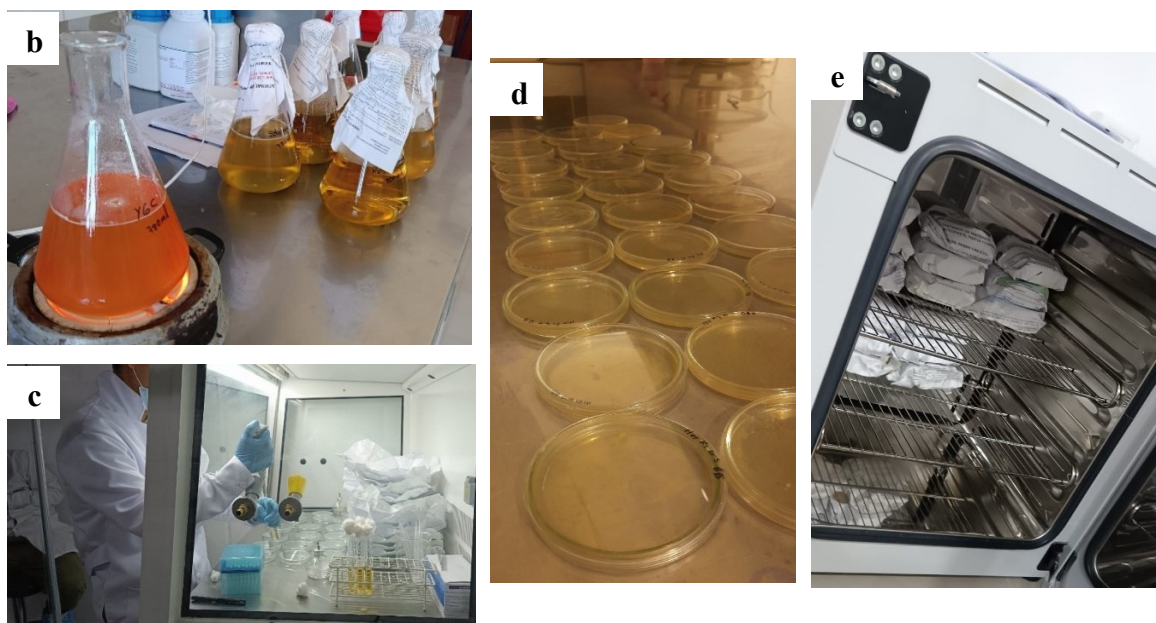


Nota. a. Preparación de extractos, b. Diluciones, c. Pipeteo para determinar capacidad antioxidante y CTP, d. Agitador magnético, e. Lectura del espectrofotómetro, f. Determinación de fibra.

Anexo 11

Análisis microbiológico





Nota. a. Esterilización de placas petri, b. Preparación de medios de cultivo, c. Siembra de muestras, d. Muestra de mermelada sembradas, e. Fase de incubación.

Anexo 12

Análisis sensorial



Nota. Aplicación de análisis sensorial a estudiantes, docentes y personal administrativo de la UNJ.

Anexo 13*Selección de modelo ANOVA para brix*

Modelo	F	p	R²	R² ajustado
Lineal	32.70010	0.000041	0.867374	0.840849
Cuadrático	0.02752	0.972948	0.868281	0.802421
Cúbico especial	6.00406	0.044087	0.929096	0.878451

Anexo 14*Selección de modelo ANOVA para % humedad*

Modelo	F	p	R²	R² ajustado
Lineal	29.05410	0.000068	0.853175	0.823810
Cuadrático	1.12575	0.401677	0.900959	0.830215
Cúbico especial	1.33515	0.291822	0.918986	0.837973

Anexo 15*Selección de modelo ANOVA para pH*

Modelo	F	p	R²	R² ajustado
Lineal	2.130564	0.169524	0.298793	0.158552
Cuadrático	2.327167	0.161144	0.648933	0.398170
Cúbico especial	0.000700	0.979747	0.648974	0.297947

Anexo 16*Selección de modelo ANOVA para Acidez titulable*

Modelo	F	p	R²	R² ajustado
Lineal	0.508175	0.028777	0.508175	0.409810
Cuadrático	0.539147	0.921988	0.539147	0.209967
Cúbico especial	0.565592	0.567742	0.565592	0.131183

Anexo 17*Selección de modelo ANOVA para CPT*

Modelo	F	p	R²	R² ajustado
Lineal	21.14535	0.000256	0.808761	0.770514
Cuadrático	0.12331	0.943388	0.818360	0.688618
Cúbico especial	0.08529	0.780092	0.820906	0.641812

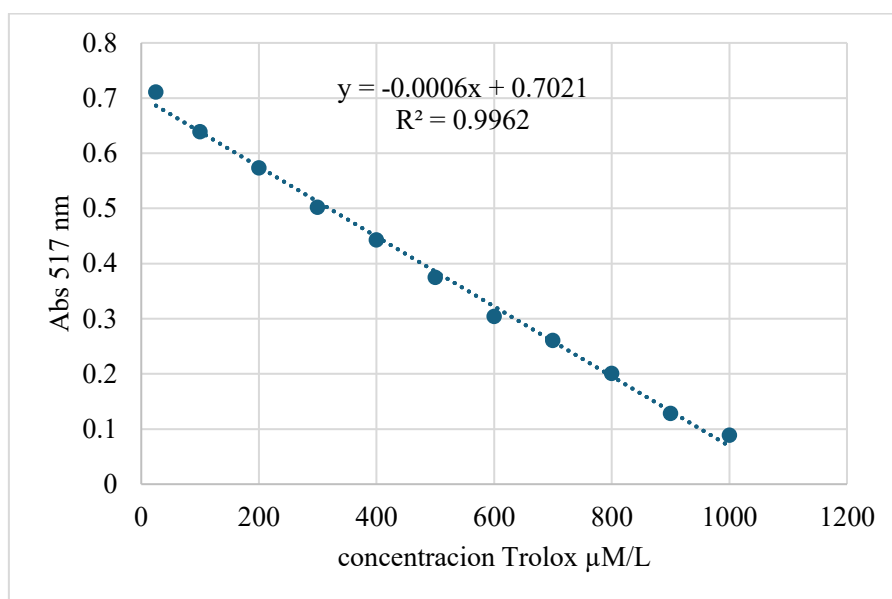
Anexo 18

Selección de modelo ANOVA para capacidad antioxidante

Modelo	F	p	R ²	R ² ajustado
Lineal	28.77952	0.000071	0.851981	0.822378
Cuadrático	1.55142	0.284072	0.911094	0.847590
Cúbico especial	0.88393	0.383420	0.922510	0.845020

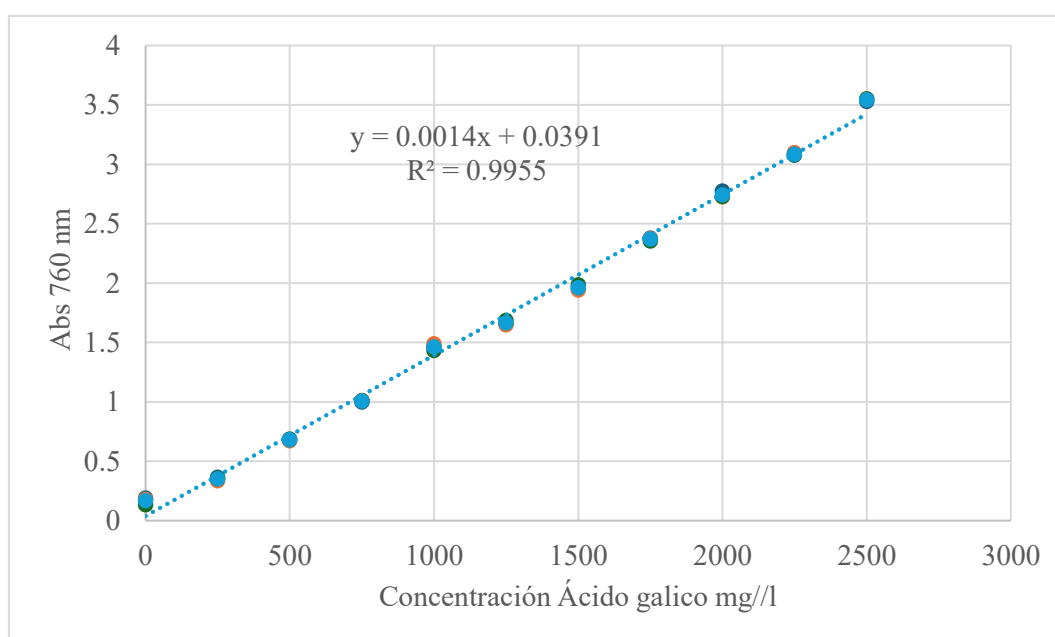
Anexo 19

Curva de calibración DPPH



Anexo 20

Curva de calibración de ácido gálico



Anexo 21

Consentimiento informado para aplicar análisis sensorial

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Consentimiento Informado para la aplicación de análisis sensorial de Mermelada

Producto: Mermelada elaborada a base de pulpa de café, panela y espresso.

Fecha: [Fecha Actual]

Yo, _____ identificado con documento de identidad N° _____, edad _____, he sido informado plenamente sobre los objetivos del proyecto y por voluntad propia doy mi consentimiento para la aplicación de análisis sensorial de mermelada que están llevando a cabo las estudiantes a cargo Alex Alberto Pintado Fernández y Axvier Arohon Huamán Cabrera, responsables del proyecto " Optimización de capacidad antioxidante de mermelada a base de pulpa de café, panela y espresso ", llevado a cabo en la Universidad Nacional de Jaén.

La evaluación sensorial de la mermelada será realizada utilizando el método Check-All-That-Apply (CATA), en el cual los panelistas deberán probar las muestras y describirlas. Serán reclutados panelistas que tengan disponibilidad e interés en participar de la evaluación sensorial; un criterio de exclusión para los panelistas es que no padezcan de problemas respiratorios, visuales no tratados, diabetes, dificultades en la percepción del olor y el sabor, o sean alérgicos o sensibles a los ingredientes utilizados en la producción.

Por lo antes mencionado, hago constar que he leído y entendido en su totalidad este documento, por lo que en constancia firmo y acepto su contenido.

Firma del panelista

Si necesita información adicional de la investigación póngase en contacto con los investigadores responsables: Alex Alberto Pintado Fernández (alex.pintado@est.unj.edu.pe – 928958829), Axvier Arohon Huamán Cabrera (axvier.huaman@est.unj.edu.pe – 987100572), Mg. Ing. Ralph Stein Rivera Botonares (ralph.rivera@unj.edu.pe - 941941957), Mg. Hans Himbler Minchán Velayarce (hans.minchan@unj.edu.pe – 975329122).

Anexo 22

Ficha de evaluación sensorial

Ficha de evaluación sensorial CATA Y prueba hedónica de nueve puntos

Cuestionario de Análisis Sensorial de mermelada de pulpa de café, panela y espresso

¡Bienvenido/a! Agradecemos tu participación en este análisis sensorial de nuestra mermelada de pulpa de café, panela y espresso. A continuación, le pedimos que evalúe la muestra de mermelada, por favor, siga las instrucciones cuidadosamente y complete cada sección del cuestionario.

Nombre del Evaluador: _____

Código de Muestra: _____

1. Por favor, pruebe la muestra de mermelada y califique su aceptación general utilizando la siguiente escala hedónica de 9 punto (González et al., 2014).

Me disgusta extremadamente	No me gusta ni me disgusta	Me gusta extremadamente

2. Pruebe la muestra de mermelada y marque con una "x" en el espacio junto a la(s) característica(s) sensorial(es) que considere aplicables. Puede marcar tantas características sensoriales como crea que se aplican a la muestra, o no marcar ninguna (Meyners y Castura, 2014).

Apariencia

- ☐ Cremosa
- ☐ Espesa
- ☐ Arenosa
- ☐ Brillante
- ☐ Gomosa

☐ Amaderado

☐ Fermentado

☐ Caramelo

Aroma

- ☐ Café tostado
- ☐ Panela

Sabor

- ☐ Dulce intenso
- ☐ Agridulce
- ☐ Panela
- ☐ Café
- ☐ Dulce moderado

Textura en Boca

- ☐ Viscosa
- ☐ Granulosa
- ☐ Fluida
- ☐ Sedosa
- ☐ Suave

Satisfacción Global

- ☐ Muy satisfecho
- ☐ Satisfecho
- ☐ Neutral
- ☐ Insatisfecho
- ☐ Muy insatisfecho

Anexo 23

Constancia de aprobación de proyecto para evaluación sensorial

UNJ UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

LEY DE CREACIÓN 29304. RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N°002-
2013-SUNEDU CD

VICEPRESIDENCIA DE INVESTIGACIÓN

COMITÉ DE ÉTICA

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

Jaén, 29 de diciembre del 2025

INFORME N°009-2025 / VPI-UNJ/ CE

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE PROYECTO

COMITÉ DE ÉTICA-UNJ

El presidente del comité institucional de ética en investigación de la Universidad Nacional de Jaén hace constar que el proyecto titulado: **"OPTIMIZACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE MERMELADA A BASE DE PULPA DE CAFÉ, PANELA Y ESPRESSO"**, Presentado por los estudiantes **Axvier Arohon Huamán Cabrera** y **Alex Alberto Pintado Fernandez**, ha sido analizado según el Acta N°002-2025-CEI-VPI-UNJ, de fecha 22 de diciembre del 2025, y aprobado en base al Código de Ética en Investigación Científica de la Universidad Nacional de Jaén que cuenta con Resolución de Consejo de Comisión Organizadora N°065-2025-CCO-UNJ.



Juan Darío Ríos Mera

JUAN DARIO RIOS MERA
Presidente del Comité de ética para la investigación
Universidad Nacional de Jaén