

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS**

**EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE CAFÉ  
(*Coffea arabica*) VAR. CATURRA E IMPACTO EN SU  
CALIDAD SENSORIAL UTILIZANDO IMÁGENES  
HIPERESPECTRALES**

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

**Autor (a): Bach. Jorge Luis Caucha Iparraguirre  
Bach. Flor Yanini García Carrión**

**Asesor (a): Dr. Frank Fernández Rosillo  
Dr. Lenin Quiñones Huatangari**

**Línea de investigación: LI\_IIA\_03 Ingeniería de Procesos Alimentarios**

**JAÉN – PERÚ**

**2025**

# Jorge Luis Caucha Iparraguirre Flor Yanini García ...

## EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE CAFÉ (Coffea arabica) VAR. CATURRA E IMPACTO EN SU CALIDAD SENSOR...

- Quick Submit
- Quick Submit
- Universidad Nacional de Jaen

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3316380878

105 Páginas

Fecha de entrega

19 ago 2025, 10:53 a.m. GMT-5

21.746 Palabras

Fecha de descarga

19 ago 2025, 10:58 a.m. GMT-5

105.834 Caracteres

Nombre de archivo

INFORME\_FINAL\_-JURADO\_-15-08-2025.pdf

Tamaño de archivo

4.2 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

  
-----  
*Dr. Segundo Sánchez Tello*  
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería

## 2% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

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

### Fuentes principales

- 2% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 1% 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  
  
-----  
*Dr. Segundo Sánchez Tello*  
Responsable (e) de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2019-SUNEDU/CD

## FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 12 de setiembre del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Dra. María Alina Cueva Ríos

Secretario: Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

Vocal: Dr. Ernesto Hernández Martínez, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

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

Titulado: "EFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE CAFÉ (*Coffea arábica*) VAR. CATURRA E IMPACTO EN SU CALIDAD SENSORIAL UTILIZANDO IMÁGENES HIPERESPECTRALES" presentado por los Bachilleres Jorge Luis Caucha Iparraguirre y Flor Yanini García Carrión, de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

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

Con la siguiente mención:

- |                |            |   |
|----------------|------------|---|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )                                     |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )                                     |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( <input checked="" type="checkbox"/> ) |
| d) Regular     | 13         | ( )                                     |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )                                     |

Siendo las 12:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 12 de setiembre de 2025

Dra. María Alina Cueva Ríos  
Presidente

Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano  
Secretario

Dr. Ernesto Hernández Martínez  
Vocal

# “AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMIA PERUANA”

## ANEXO N°06:

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

Yo, Jorge Luis Caucha Iparraguirre, 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 71088927.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

**“Efecto de la temperatura de secado de café (*coffea arabica*) var. caturra e impacto en su calidad sensorial utilizando imágenes hiperespectrales”.**

Asesorado por el Dr. Frank Fernández Rosillo y Dr. Lenin Quiñones Huatangari.

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

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

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

Fecha: Jaén, 21, octubre 2025.



Jorge Luis Caucha Iparraguirre

# “AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMIA PERUANA”

## ANEXO N°06:

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

Yo, Flor Yanini García Carrión, 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 60218973.

Declaro bajo juramento que:

7. Soy Autor del trabajo titulado:

**“Efecto de la temperatura de secado de café (*coffea arabica*) var. caturra e impacto en su calidad sensorial utilizando imágenes hiperespectrales”.**

Asesorado por el Dr. Frank Fernández Rosillo y Dr. Lenin Quiñones Huatangari.

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

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

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

Fecha: Jaén, 21, octubre 2025.



Flor Yanini García Carrión



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.1. Lugar de ejecución.....	17
2.2. Población, muestra y muestreo .....	17
2.2.1. Población .....	17
2.2.2. Muestra .....	18
2.2.3. Muestreo .....	18
2.3. Métodos, técnicas y procedimientos e instrumentos de recolección de datos .	18
2.3.1. Métodos, técnicas y procedimientos.....	18
2.3.2. Recolección de datos .....	29
2.4. Análisis de datos .....	29
III. RESULTADOS .....	30
3.1. Tiempo de secado del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra a temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C .....	30
3.1.1. Curvas de secado y parámetros cinéticos .....	30
3.1.2. Estadística descriptiva e inferencial .....	35
3.2. Evaluación del Perfil en taza y análisis fisicoquímico (pH y °Brix) del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra en cada temperatura de secado (30, 40, 50 y 60 °C)...	36
3.2.1. Evaluación del perfil en taza .....	36
3.2.2. Estadística descriptiva e inferencial para el análisis sensorial .....	42
3.2.3. Análisis fisicoquímicos .....	42
3.2.4. Estadística descriptiva e inferencial para el análisis fisicoquímico.....	43
3.3. Determinación de los espectros de reflectancia de café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra con el perfil hiperespectral en cada temperatura de secado.....	44
3.4. Correlación de la evaluación del perfil en taza del café con el perfil hiperespectral.....	50
IV. DISCUSIÓN.....	55
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	59
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	62

DEDICATORIA.....	74
AGRADECIMIENTO.....	75
ANEXOS.....	76

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Diseño Completamente al Azar (DCA)</i> .....	29
Tabla 2 <i>Tiempos de secado de café (Coffea arabica) var. Caturra a las temperaturas de estudio</i> .....	30
Tabla 3 <i>Comparación PLSR Reflectancia vs. Absorbancia</i> .....	45
Tabla 4 <i>Loadings Plot para las 4 Longitudes de Onda Clave</i> .....	54
Tabla 5 <i>VIP Score para las 4 Longitudes de Onda Clave</i> .....	54

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de la cámara hiperespectral donde se realizó el análisis .....	23
Figura 2 Curvas de secado del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra a las temperaturas de estudio.....	31
Figura 3 Curva de velocidad de secado a 30°C del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra	33
Figura 4 Curva de velocidad de secado a 40°C del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra	33
Figura 5 Curva de velocidad de secado a 50°C del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra .....	34
Figura 6 Curva de velocidad de secado a 60°C del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra .	34
Figura 7 Perfil sensorial a 30 °C.....	36
Figura 8 Perfil sensorial a 40°C.....	38
Figura 9 Perfil sensorial a 50°C.....	39
Figura 10 Perfil sensorial a 60°C.....	40
Figura 11 Análisis de correspondencia del puntaje en taza vs temperatura de secado .	41
Figura 12 pH y °Brix en función de la temperatura para el secado del café ( <i>Coffea arabica</i> ) var. Caturra .....	43
Figura 13 PLSR en Reflectancia: Predicho vs. Observado (5-fold CV).....	45
Figura 14 PLSR en Absorbancia: Predicho vs. Observado (5-fold CV) .....	46
Figura 15 Espectro promedio en Reflectancia .....	46
Figura 16 Espectro promedio en Absorbancia .....	47
Figura 17 Perfiles espectrales medios en absorbancia de las diferentes muestras de café en temperaturas de secado diferentes .....	48
Figura 18 Perfiles espectrales medios en absorbancia de las diferentes muestras de café en los diferentes puntajes de calidad en taza .....	48
Figura 19 Perfiles espectrales medios normalizados y suavizados en absorbancia de las diferentes muestras de café en las diferentes temperaturas de secado .....	49
Figura 20 Perfiles espectrales medios normalizados y suavizados en absorbancia de las diferentes muestras de café en las diferentes temperaturas de secado .....	49
Figura 21 Real vs Predicho del modelado completo con PLSR del perfil de calidad de taza con los perfiles espectrales .....	50
Figura 22 Scores de análisis de componentes principales con 11 componentes para reducir la dimensionalidad que presentan los datos hiperespectrales .....	51

Figura 23 *Varianza explicada de análisis de componentes principales con 11 componentes para reducir la dimensionalidad que presentan los datos hiperespectrales* ..... 52

Figura 24 *Real vs Predicho del modelado con PLSR y reducción de la dimensionalidad (PCA) del perfil de calidad de taza con los perfiles espectrales*..... 53

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Galería de fotos: Proceso de secado</i> .....	76
Anexo 2. <i>Galería de fotos: Proceso de medición de porcentaje de humedad</i> .....	77
Anexo 3. <i>Galería de fotos: Análisis sensorial</i> .....	78
Anexo 4: <i>Ficha de Reporte Tastify</i> .....	80
Anexo 5: <i>Galería de fotos: Análisis fisicoquímico (pH-Brix)</i> .....	81
Anexo 6: <i>Galería de fotos: Proceso de toma de imágenes hiperespectrales</i> .....	83
Anexo 7. <i>Estadística descriptiva e inferencial para la cinética de secado</i> .....	84
Anexo 8. <i>Estadística descriptiva e inferencial para el análisis sensorial</i> .....	85
Anexo 9. <i>Estadística descriptiva e inferencial del análisis fisicoquímico</i> .....	86
Anexo 10. <i>Resultados de los tiempos de secado del café a 30, 40, 50 y 60 °C</i> .....	88
Anexo 11. <i>Datos para construcción de curvas de velocidad de secado</i> .....	89
Anexo 12. <i>Resultados de pH</i> .....	90
Anexo 13. <i>Resultados de Brix</i> .....	91
Anexo 14. <i>Códigos para análisis sensorial</i> .....	92
Anexo 15. <i>Resultados de análisis sensorial de 30°C</i> .....	93
Anexo 16. <i>Resultados de análisis sensorial de 40°C</i> .....	94
Anexo 17. <i>Resultado de análisis sensorial de 50°C</i> .....	95
Anexo 18. <i>Resultado de análisis sensorial de 60°C</i> .....	96
Anexo 19. <i>Resultado de ficha SCAA</i> .....	97
Anexo 20. <i>Resultado de análisis sensorial de catador 01</i> .....	98
Anexo 21. <i>Resultados de análisis sensorial catador 02</i> .....	99
Anexo 22. <i>Resultados de análisis sensorial de catador 03</i> .....	100
Anexo 23. <i>Resultados de análisis sensorial de catador 04</i> .....	101
Anexo 24. <i>Resultados de análisis sensorial de catador 05</i> .....	102
Anexo 25. <i>Resultados de análisis sensorial de catador 06</i> .....	103

## RESUMEN

El café es consumido en el mundo por su característico sabor y aroma estando sujeto a un proceso de mejora continua en cada etapa del beneficiado. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura de secado en el perfil de taza del café variedad Caturra y correlacionar la puntuación sensorial con el perfil hiperespectral. El secado se llevó a cabo en cuatro estufas por convección forzada a temperaturas constantes de 30, 40, 50 y 60 °C, la evaluación sensorial lo realizaron seis catadores Q Arabica Grader, la lectura de las imágenes hiperespectrales (reflectancia) se tomaron con una cámara Specim FX-10 y el modelamiento predictivo se desarrolló con la técnica Partial Least Squares Regression (PLSR) usando el software de análisis quimiométrico The Unscrambler X versión 10.4. Los tiempos de secado y puntaje en taza para 30, 40, 50 y 60 °C fueron 54, 36, 32 y 22 h y 83.21, 83.50, 83.60 y 83.26 respectivamente. La humedad crítica y de equilibrio estuvieron entre 22.97 y 23.83 % y 11.70 y 12.30 % respectivamente. Se desarrolló un modelo matemático de predicción del puntaje en taza que obtuvo un ajuste para el  $R^2$  de 0.78 y RMSE entre 0.55 y 0.63.

**Palabra clave:** catación, predicción, perfil hiperespectral, análisis de componentes principales.

## ABSTRACT

Coffee, consumed in the world for its characteristic flavor and aroma, is subject to a process of continuous improvement at each stage of processing. The objective of the research was to evaluate the effect of drying temperature on the cup profile of Caturra variety coffee and to correlate the sensory score with the hyperspectral profile. The drying was carried out in four forced convection ovens at constant temperatures of 30, 40, 50 and 60 °C, the sensory evaluation was performed by six Q Arabica Grader tasters, the reading of the hyperspectral images (reflectance) were taken with a Specim FX-10 camera and the predictive modeling was developed with the Partial Least Squares Regression (PLSR) technique using the chemometric analysis software The Unscrambler X version 10.4. Drying times and cup scores for 30, 40, 50 and 60 °C were 54, 36, 32 and 22 h and 83.21, 83.50, 83.60 and 83.26 respectively. The critical and equilibrium moisture were between 22.97 and 23.83 % and 11.70 and 12.30 %, respectively. A mathematical model was developed to predict the cup score, which obtained an adjustment for  $R^2$  of 0.78 and RMSE between 0.55 and 0.63.

**Keyword:** drying kinetics, cup score, hyperspectral profile, principal component analysis.

## I. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria en torno al sector agrícola tendrá que duplicar su producción debido al incremento de la población mundial (Abbate et al., 2023), dentro de ello el café no está ajeno a este crecimiento y juega un papel importante, debido a que en la actualidad está experimentado un crecimiento significativo, impulsando a desarrollar tendencias innovadoras de estudio en esta industria (Bager y Lambin, 2020; dos Muchangos et al., 2025; Olango et al., 2025).

El café tiene sus inicios por el siglo IX en Etiopía, en la provincia de Kaffa, pero no se conoce el momento que se empezó a consumir, según la historia cuenta que para el siglo XV había plantaciones en Yemen y gran comercio en Sudán y Arabia y solo en este territorio era cultivado debido a la influencia árabe (Anthony et al., 2002; Derara-Megenassa, 2022; Montagnon et al., 2025). El café arábica abarca un 80 % de producción mundial, tiene un sabor suave y agradable al paladar con una concentración de cafeína de 1- 1.5 % (Bertrand et al., 2021). Dentro de cada especie se encuentra diferentes variedades de café como Typica, Bourbon, Caturra, Geisha, entre otros (Bawin et al., 2021; Breitler et al., 2022). La variedad Caturra es una mutación del bourbon que fue descubierta en Brasil en 1937. Mantiene rendimientos de producción mayores a los que puede sostener el arbusto, y es cultivado en Colombia y Centroamérica. Hay variaciones tanto rojos como amarillos y mientras se siembre a más altitud, más aumenta la calidad, pero disminuye el rendimiento (Chica-Acosta et al., 2024; Leroy et al., 2006).

En el Perú se tiene alrededor de 440 mil hectáreas de cultivos de café y las zonas más importantes son: Zona Norte 43 % (Piura, Cajamarca, Amazonas y San Martín), Zona Central 34 % (Junín, Pasco, Huánuco y Ucayali), Zona Sur 23 % (Apurímac, Ayacucho, Cusco y Puno), siendo uno de los principales países que ha conquistado los mercados mundiales en exportación de café (Bitzer et al., 2013; Llanos et al., 2022).

El café tiene una gran demanda debido a su sabor complejo y particular, consecuencia del sometimiento a diversas etapas en el beneficiado como la fermentación, secado y tueste, en las cuales se desarrollan los sabores y aromas característicos (do Carmo et al., 2020; Farah, 2009). El café considerado de especialidad con puntajes sobre los 80 puntos en taza evaluados por catadores Q Arabica Grader (Louzada et al., 2018), están valorados como de mayor calidad que los comerciales, se venden a un precio considerablemente más elevado, y su demanda en el mercado está creciendo (Poltronieri y Rossi, 2016; Rosillo et al., 2022).

El uso de tecnologías de detección óptica han aumentado significativamente, dentro de ellas la aplicación de imágenes hiperespectrales se ha extendido en diferentes rubros de la industria, siendo un área relevante el sector agroalimentario (Ahmed et al., 2025; Castro-Silupu et al., 2021; Meng et al., 2025; Rashvand et al., 2025; Wang et al., 2025), la aplicación en los procesos de secado (Da Silva Ferreira et al., 2025) y para predicción bajo enfoques de correlación multivariado en el proceso de café (Baqueta et al., 2019; Caporaso et al., 2022) están siendo alternativas viables. Una imagen hiperespectral es aquella que genera la figura de un objeto en función a la longitud de onda que refleja este mismo de una forma no invasiva, obteniendo un mayor nivel de precisión al momento de identificar sus propiedades (Sun et al., 2024). La toma de las imágenes se realiza con una cámara hiperespectral equipada con una serie de sensores capaces de detectar longitudes de onda dentro y fuera del espectro obteniendo una imagen precisa (Feng y Sun, 2012). Las características que contienen cada imagen son únicas, denominadas firmas espectrales y sirven para identificar puntos específicos que a simple vista no pueden ser detectados. Para cada punto de la imagen se tiene una curva espectral que proporciona una gran cantidad de información y esto se debe gracias a que las bandas espectrales se dividen en 256 canales de frecuencia y con un ancho de banda de 5 Hz y 10 Hz

aproximadamente (Ravikanth et al., 2017). Los factores que permiten conocer las características del producto son la reflectancia y absorbancia, es decir cuando la radiación influye en el material, esta energía se absorbe o se refleja; y esto varía de acuerdo al producto o superficie a estudiar (Wu y Sun, 2013). Para entender el concepto de la reflectancia es fundamental conocer cómo interactúan los materiales con la luz en diferentes longitudes de onda, se refiere a la cantidad de luz que es reflejada por una superficie en diferentes longitudes de onda a lo largo del espectro, proporcionando una gran cantidad de información, permitiendo detectar y analizar distintas características del producto a evaluar (Wu y Sun, 2013).

Dentro de las investigaciones de referencia se mencionan a:

Gallego et al. (2023) evaluaron el efecto del secado en la calidad del café natural con cinco modalidades, consistentes en un secado inicial al sol (S), complementado con secado mecánico (M): S45 %+M, S50 %+M, S55 %+M, S100 %, M100 % y el testigo, café lavado 100 % secado mecánicamente (LM). El café en los diferentes tratamientos alcanzó una humedad entre 10-12%, entre 9 y 17 días. Para el LM, el café requirió un promedio de 4 días de secado, Respecto a las variables físicas del grano, la merma en promedio fue del 50.7% y la almendra sana de 42.6%. Con relación a la calidad sensorial, el puntaje total promedio SCA (Specialty Coffee Association) para el LM fue de 82.9 y para el café natural de 83.9.

Villavicencio y Santos (2020) evaluaron el secado de café (*Coffea arabica*) variedad caturra roja en dos tipos de secadores solares; con colector solar y sin colector para determinar el tiempo de secado, la humedad y el perfil de taza. Se distribuyó el café en los secadores de manera uniforme mediante en los primeros 5 días se monitoreo su humedad y análisis organolépticos. El secador solar con colector alcanzó temperaturas de 51 °C y una humedad del 12% en tres días, mientras que el secador sin colector logró 41

°C y una humedad igual o inferior al 12% en cinco días. Además, el secador con colector obtuvo el mejor puntaje en acidez, con un total de 8.58.

Sánchez et al., (2022) evaluaron el efecto del secado mediante el uso de un sistema electromecánico basado en infrarrojos sobre la calidad sensorial en taza de cafés especiales, el sistema se adaptó con sensores infrarrojos y combinaron la radiación electromagnética con el calentamiento convencional convectivo convencional. Los análisis se realizaron con 75 muestras de café en tres 3 niveles de altura, sometidos a un secado tradicional y al sistema electromecánico; como resultados el secado convencional obtuvo un puntaje en tasa de 81.34 a comparación del secado con rayos infrarrojo que obtuvo 82.93 puntos y concluyeron que el secado con infrarrojo aumento la calidad sensorial.

Guevara y Rinza (2021) evaluaron el efecto de diferentes tiempos y temperaturas de tostado en dos variedades de café, Caturra y Catimor sobre la puntuación en taza y utilizaron imágenes hiperespectrales para correlacionar el perfil espectral con el puntaje en taza. Las temperaturas de estudio fueron 180, 190 y 200 °C y los tiempos de tostado 8, 12 y 16 minutos. Los resultados mostraron que el café Catimor obtuvo puntajes en taza de 81.51, 81.33 y 81.83 y la variedad Caturra a 180°C y 12 minutos obtuvo el mayor puntaje con 83.08. Los autores concluyeron en que, al aumentar la temperatura y el tiempo de tostado, el brillo de los granos disminuye, pero esto no afecta la calidad en taza; además identificaron que en longitudes de onda entre 913.83 nm y 920.48 nm es posible predecir puntajes en taza entre 80.50 a 83.08 para ambas variedades.

Cordova y Marycielo (2019) determinaron las características físicas y sensoriales del café variedad Catimor con un análisis multivariado a partir del uso de diferentes tiempos de remoción mediante un secador prototipo 1640 con techos de cristal, amarillo y negro. La muestra con los mejores resultados fue la que se secó con una frecuencia de remoción:

1.5 horas, peso de bandeja: 20 kg, color de carpa: amarillo, el café alcanzó una humedad de 11.5% en 13 días de secado, además de obtuvo los mejores atributos sensoriales con 83.75 puntos con perfil descrito como “notas a vainilla y chocolate, cuerpo cremoso, buen post gusto, consistente, duradero, limpio, libre de defectos. Concluyeron en que el secador solar prototipo 1640 con techo color amarillo mantiene mejor la calidad del grano de café, sin hacer perder sus características físicas y sensoriales comparado con el secado tradicional.

Chang et al. (2021) predijeron los sabores del café de especialidad utilizando espectros de infrarrojo cercano de café molido como entrada. Adquirieron un total de 266 muestras de café (*Coffea arabica*) de 14 países, el grado de tostado fue ligero y medio y la evaluación sensorial lo realizaron tres catadores Q Arabica Grader. Los espectros de absorbancia se adquirieron utilizando 3 g de café molido y un espectrómetro NIR con un rango de barrido de 700-2500 nm a una frecuencia de 1.5 Hz. Los resultados mostraron modelos eficaces que proporcionaron una predicción moderada para siete categorías de sabor basadas en las 266 muestras. Los autores concluyeron por la clasificación y visualización el modelo DCNN desarrollado es un método prometedor y explicable para la predicción del sabor del café.

Baqueta et al. (2019) evaluaron un total de 217 muestras de café comercial clasificadas como diferentes tipos de bebida y con distintos grados de tueste por catadores Q Arabica Grader y las respuestas de los atributos sensoriales se utilizaron para verificar la correlación con los espectros del infrarrojo cercano (NIR). Construyeron modelos quimiométricos basados en mínimos cuadrados parciales (PLS) para la fragancia del polvo, aroma de la bebida, acidez, amargor, sabor, cuerpo, astringencia, sabor residual y la calidad general. Los resultados mostraron que el método propuesto, comparado con la prueba de catación, es una alternativa para la determinación de los atributos sensoriales

del café y concluyeron en que el uso del NIR asociado a la quimiometría es eficiente y recomendable para la predicción de atributos sensoriales del café mediante el análisis directo de muestras tostadas y molidas, y sin ninguna preparación adicional.

Tirado et al. (2024) propusieron un método rápido y no destructivo mediante espectroscopía en el infrarrojo cercano (NIR) combinado con análisis quimiométrico. El estudio se centró en predecir el pH y los sólidos solubles totales durante la fermentación de tres variedades de café arábica. Para mejorar la precisión, incorporaron un nuevo método de selección de variables llamado Covering Array Feature Selection (CAFS). Los modelos generados demostraron alta precisión con menos datos. Esta técnica permite un monitoreo en tiempo real del proceso. Además, favorece la estandarización de la calidad.

Juarez (2023) exploró el uso de espectroscopía NIR junto con redes neuronales LSTM como alternativa. Se analizaron muestras tostadas y molidas, catadas según los estándares de la SCAA, y se obtuvieron espectros entre 1100 y 2100 nm. Se aplicaron diversos pretratamientos espectrales y métodos de reducción de variables; la estructura LSTM permitió modelar secuencias de datos espectrales con precisión. El modelo óptimo, pretratado con SNV-SG, alcanzó  $R^2 \approx 0.956$ ,  $RMSE \approx 1.293$  y  $RPD \approx 3,271$ . Los resultados sugieren que NIR acoplado a redes neuronales es una herramienta fiable para predecir calidad sensorial, mostrando ser eficiente frente a métodos tradicionales.

La problemática de la investigación se centró en determinar la temperatura y tiempo de secado adecuado para el secado de café var. Caturra, debido a que, como es de conocimiento, dentro del proceso que se realiza para el secado de café no se tiene un control adecuado de las temperaturas ni del tiempo, por ejemplo en el distrito de San José de Lourdes, Provincia de San Ignacio, se realiza un secado de manera tradicional, sin contar con equipos, materiales, parámetros óptimos o tendencias de tecnología como las

imágenes hiperespectrales, con el cual mantener un secado estandarizado a temperatura constante y ayudar a los agricultores en mantener un puntaje en taza alto y contar con mejores precios en el mercado. Es por ello que los procesos que se llevan a cabo durante la etapa de secado (Borém et al., 2008), debido a que el fruto tiene un elevado porcentaje de humedad en la colecta (45 % humedad), este es susceptible a procesos fermentativos que pueden alterar la calidad física y sensorial del grano y la bebida (Borém et al., 2018; Resende et al., 2010; Siqueira et al., 2017).

La justificación del estudio se centró en evaluar el secado a diferentes temperaturas del café e impacto en su calidad sensorial y correlacionar con el perfil hiperespectral, permitiendo mostrar los cambios que podrían atribuirse al uso de temperaturas constantes de 30, 40, 50 y 60 °C. El control y monitoreo al secado del café puede reducir las consecuencias negativas de este proceso en la calidad del grano y la bebida (Nilnont et al., 2012). Por lo tanto, el manejo apropiado de la humedad durante la obtención del café puede considerarse como un aspecto crítico tanto para su obtención como para su almacenamiento (Borém et al., 2018; Oliveira et al., 2013; de Melo et al., 2019) .

Aplicando los cuatro tratamientos del diseño experimental se disminuyó la humedad de los granos de café y se pudo identificar la variación de atributos sensoriales, los cuales mostraron variación con los tratamientos aplicados, no obstante, el uso de diferentes temperaturas pudo evidenciar y permitir el desarrollo de un secado estandarizado, lo cual contribuirá a mejorar los atributos en el momento de la catación de café. Por otro lado, mediante el uso de las imágenes hiperespectrales se obtuvo la reflectancia de las muestras de café y los datos se correlacionaron con la evaluación sensorial (atributos del perfil en taza), conllevando a proponer una temperatura óptima de secado y un modelo predictivo para la puntuación en taza.

En ese sentido la investigación buscó predecir el puntaje en taza correlacionando el análisis sensorial con el perfil hiperespectral, para las muestras de café sometida a diferentes temperaturas de secado y seleccionar la más adecuada con respecto al puntaje en taza, evaluando el impacto que tuvo el uso de diferentes temperaturas de secado (30, 40, 50 y 60 °C) en los análisis de pH, °Brix, análisis sensorial y reflectancia conllevando a proponer una temperatura óptima de secado y una predicción de puntuación en taza.

Considerando la importancia contemporánea del café, en relación al perfil de sabor único y explícito por variedad que presentan los cafés arabica y las diversas variables que afectan la calidad física y sensorial del grano, el presente estudio tuvo como objetivo general evaluar el efecto de la temperatura de secado a temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en el perfil de taza y correlacionarse con el perfil hiperespectral, asimismo, los objetivos específicos fueron calcular el tiempo de secado del café (*Coffea arabica*) var. Caturra a temperaturas de 30, 40, 50 y 60°C, determinar el perfil en taza y el análisis físico químico (pH y °Brix) del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en cada temperatura de secado (30, 40, 50 y 60 °C), definir los espectros de reflectancia del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en cada temperatura de secado (temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C) y correlacionar la evaluación del perfil en taza con el perfil hiperespectral.

Por lo tanto, la temperatura de secado del café (*Coffea arabica*) var. Caturra influye significativamente en su calidad sensorial, y dicha calidad puede ser predicha mediante la toma de imágenes hiperespectrales.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en distintos ambientes e instituciones, debido a la especificidad de los análisis, el secado del café, se realizó en la Universidad Nacional de Jaén (UNJ) en cuatro ambientes diferentes, la primera estufa programada a 30 °C estuvo ubicada en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos, la segunda estufa a 40 °C en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, la tercera estufa a 50 °C en el Instituto de Investigación de Ciencia de Datos y la cuarta estufa a 60 °C en el laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Tecnología Médica. Todas las estufas registraron una humedad relativa del 60 %. El análisis sensorial, se llevó a cabo en el Laboratorio de Catación de la Cooperativa El Milagro, ubicado en la calle Antonio Checa N° 301 de la ciudad de Jaén. La medición de pH y °Brix, se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias de la UNJ y la lectura de las imágenes hiperespectrales, se efectuó en la Universidad Nacional de Frontera, Sullana-Piura.

### 2.2. Población, muestra y muestreo

#### 2.2.1. Población

Café (*Coffea arabica*) húmedo variedad Caturra de la cosecha del año 2024 de la cooperativa El Milagro, ubicada en el distrito de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca (-5.076986 de latitud y -78.883632 de longitud).

### **2.2.2. Muestra**

La muestra constituyó de 12 kg de café (*Coffea arabica*) variedad Caturra con 45 % de humedad de la cosecha del año 2024, adquirida de La Cooperativa El Milagro, ubicada en el distrito de San José de Lourdes, de la Provincia de San Ignacio, del Departamento de Cajamarca.

### **2.2.3. Muestreo**

Para la recolección de café (*Coffea arabica*) el muestreo fue no probabilístico, según conveniencia de los investigadores. La muestra de café húmedo estuvo constituida por 12 unidades de 1 kg cada uno y fueron acondicionadas para la evaluación de los cuatro tratamientos respectivamente.

## **2.3. Métodos, técnicas y procedimientos e instrumentos de recolección de datos**

### **2.3.1. Métodos, técnicas y procedimientos**

La investigación se realizó en cuatro etapas: la primera, consistió en el cálculo del tiempo de secado de café (*Coffea arabica*) var. Caturra a cuatro temperaturas (30, 40, 50 y 60 °C), la segunda, en evaluar el perfil en taza (análisis sensorial) y análisis fisicoquímico (pH y °Brix), la tercera, en determinar los espectros de reflectancia y la cuarta en correlacionar la evaluación del perfil en taza con el perfil hiperespectral de las muestras de café por cada tratamiento.

Etapas 1: Cálculo del tiempo de secado de café (*Coffea arabica*) var. caturra.

- Recolección de la materia prima

Los granos de café húmedo fueron recolectados en el distrito de San José de Lourdes, la ubicación geográfica corresponde a -5.076986 de latitud y -

78.883632 de longitud. La cosecha de los cerezos se realizó de forma manual y selectiva (granos maduros), Luego se fermentaron en tanques tina de cemento durante 14 horas (Puerta y Echeverry, 2015). A continuación, se realizó un lavado, después se envasaron en sacos y se trasladaron a los ambientes de la UNJ.

- Pre tratamiento de la materia prima.

Se realizó una selección del café en la cual se retiraron los granos con presencia de daños físicos.

- Secado

El proceso de secado se llevó a cabo en cuatro estufas a diferentes temperaturas (30, 40, 50 y 60 °C). En cada tiempo de secado y en cada bandeja se agregó 1 kg de muestra de café húmedo sobre una rejilla de metal. La estufa 1, de la marca FAITHFUL modelo WP-25A/WP ubicada en el Instituto de Investigación de Ciencia de Datos se programó a 30 °C. La estufa 2, de la marca KERTLAB, modelo 9053, ubicada en el laboratorio de Tecnología de Alimentos se programó a 40 °C. La estufa 3, de la marca ECOCELL, situada en el laboratorio de Bromatología se programó a 50 °C, y la estufa 4, marca LABTROM, modelo campana, ubicada en el Laboratorio de Química se programó a 60 °C. Del café depositado en cada estufa se tomó 40 g de café y se colocó en un medidor de humedad marca DRAMINSKI, modelo TwistGrain Pro y las mediciones de humedad se realizaron cada dos horas (Jurado et al., 2009) hasta llegar a la humedad requerida de 12 %.

- Construcción de las curvas de secado

Las curvas de secado se construyeron a partir de los datos de humedad en función del tiempo para cada temperatura de estudio. Se utilizó la librería

matplotlib de Python para representar los datos creando gráficos de humedad (% en base húmeda) vs Tiempo (h) con puntos de datos conectados por líneas para visualizar la tendencia del secado (Akpinar, 2006; Simal et al., 2005; Vega et al., 2007).

- Cálculo de la humedad crítica y de equilibrio

Para el secado a las cuatro temperaturas de estudio, la humedad crítica ( $X_c$ ) se calculó en base a la estimación y gráfica de la tasa de secado (Parra et al., 2008) siendo la diferencia entre valores consecutivos de humedad en función del tiempo. Se identificó el punto en el que la tasa de secado cambia abruptamente, indicando el final del período de tasa constante y el inicio del período de secado decreciente y se tomó la humedad en ese punto como la humedad crítica. Asimismo, la humedad de equilibrio ( $X_e$ ) para los procesos de secado, se estableció como las humedades más bajas que alcanzó el producto después del período prolongado de secado sometido, La humedad más baja registrada en los datos de secado para cada temperatura se consideró la humedad de equilibrio, debido a que representó el punto donde las muestras dejaron de perder humedad de manera significativa.

Etapa 2: Estimar el perfil en taza (análisis sensorial) y análisis fisicoquímico (pH y Brix)

a) Análisis sensorial

La evaluación sensorial se realizó mediante el método de cata establecida por la Asociación de Cafés Especiales (SCA) con la participación de seis catadores con certificación “Q Arabica Grader” (Louzada et al., 2018). Se determinó la calidad de taza (puntaje) de cada tratamiento con tres

repeticiones; de acuerdo al procedimiento: se tostó el café (*Coffea arabica*) var. Caturra en una tostadora marca IMSA modelo ERTC durante 12 minutos aplicando un tostado medio, para todas las muestras. Luego, se dejó reposar por 24 horas para permitir la liberación del dióxido de carbono. Posteriormente, se tomaron 11 g de café tostado en cinco recipientes, con un total de 55 g por muestra, y se molieron en un molino de marca Flyseago de plástico gris, con un molido medio. Para la preparación, se calentó 1 L de agua filtrada en una jarra hervidora hasta alcanzar el punto de ebullición, dejándola reposar por 3 minutos. A continuación, se añadió agua hervida a los recipientes (pirex), aplicándola directamente sobre la muestra de café tostado y molido, hasta llenar completamente la taza. La mezcla se dejó reposar durante un intervalo de 3 a 5 minutos antes de romper costra. Los catadores, siguiendo el protocolo de análisis sensorial iniciaron la evaluación olfativa de cada taza para identificar los aromas liberados por el café. Para luego proceder a la degustación, evaluando los sabores con el sentido del gusto y registrando las observaciones en las fichas SCA.

b) Análisis fisicoquímico

- Extracción de esencia de café: se realizó mediante el método de goteo directo NTC 4601-1, el cual primero se pesó 18 g de café tostado y molido en una balanza analítica serie HR-250 AZ marca A&D COMPANY, se colocó la muestra de café en un vaso precipitado incorporado con papel filtro y luego se agregó 300 mL de agua en ebullición de forma lenta en movimientos circulares para obtener la esencia (Barbosa et al., 2019).

- Determinación de pH: Se midió directamente en la bebida de café (esencia) de acuerdo al método AOAC 970.21. La lectura del pH se realizó colocando el electrodo del pH-metro modelo 913 METROHM dentro de la bebida de café a temperatura ambiente, tomando el valor de acidez para cada muestra. El análisis se realizó por triplicado (Vega et al., 2021).
- Determinación de °Brix: Se aplicó el método AOAC 932.14. Para el procedimiento se colocó dos gotas de esencia de café en el prisma del refractómetro de mano, modelo RHB-32bpat, rango 0-30 °Brix y se realizó la lectura para cada tratamiento respectivamente. El análisis se realizó por triplicado (Nakyinsige et al., 2025).

### Etapa 3: Determinación de los espectros de reflectancia

- Obtención de cubo hiperespectral

Una vez tostada y molida la muestra café caturra se colocó entre 10 a 15 g en un portamuestras en un total de seis y se realizaron seis repeticiones por cada tratamiento, luego se ubicaron en la plataforma de dimensiones de 40 x 21,4 cm de la cámara hiperespectral: Specim FX-10, que estuvo acoplada con seis lámparas de luz halógena que se colocaron en un ángulo de 45° con respecto a la muestra. El sistema se controló mediante un software denominado Lumoscan que permitió el manejo integrado del equipo. La adquisición del cubo hiperespectral fue en reflectancia, capturando información espectral y espacial de la superficie de la muestra mediante la detección de ondas electromagnéticas reflejadas a los detectores (Gao et al., 2025). Por otro lado, el rango de adquisición de la información espectral fue entre los 400 – 1000 nm de longitud de onda, distribuidas en 112 bandas.

## Figura 1

*Sistema de la cámara hiperespectral donde se realizó el análisis*



Nota. La imagen ilustra el sistema de adquisición hiperespectral FX-10 Specim.

### - Corrección por referencias

La corrección de los datos espectrales se realizó utilizando una referencia blanca de teflón, para asegurar que los valores obtenidos representen con precisión la reflectancia de la muestra y no contenga datos erróneos derivados del entorno. La corrección de las imágenes espectrales se realizó teniendo en cuenta lo indicado por Bai et al., (2024), siguiendo la ecuación 1:

$$R_c = \frac{S - D}{W - D} \quad (1)$$

Donde:

*R<sub>c</sub>*: es el valor de reflectancia corregido

*S*: es el valor de la reflectancia en el espectro original

*D*: Es el valor obtenido con la lente cubierta (00.00% de reflectancia)

*W*: es el valor con la referencia blanca (99.99% de reflectancia)

### - Extracción de perfiles espectrales

La segmentación de la data se efectuó seleccionando la región de interés (Region Of Interest – ROI). Esto se realizó utilizando la técnica de umbralización en donde se buscó separar la muestra de su fondo con el fin de extraer la información que se desea analizar, en este caso las muestras de café (Arevalo, 2022). Se seleccionó la ROI de las muestras analizadas y se extrajo la mediana de los perfiles espectrales con el objetivo de obtener valores de reflectancia robustos para el análisis quimiométrico. Finalmente, los datos se guardaron en un archivo csv el cual fue convertido a una matriz (m x n) .xlsx.

#### - Pretratamiento de perfiles espectrales

Debido a los efectos aditivos y multiplicadores, como dispersión de la luz, derivada del instrumento, relación señal-ruido y el ruido aleatorio que pueden ocurrir durante el proceso real de recopilación de datos (Gao et al., 2025). Se realizó el pre tratamiento de los datos, minimizando la interferencia de los factores antes mencionados.

Antes de la aplicación de cada pre tratamiento o modelamiento se realizó la conversión de reflectancia a absorbancia, tal cual lo indicado por (Ghosh et al., 2020), utilizando la ecuación 2:

$$A = \log \left( \frac{1}{R} \right) \quad (2)$$

Donde:

*A*: valor en absorbancia obtenido

*R*: valor en reflectancia a convertir.

La conversión a absorbancia no fue arbitraria, sino una decisión metodológica basada en fundamentos ópticos y en la mejora del rendimiento predictivo del modelo, con la cual se evaluó el modelo de correlación utilizando

directamente los valores de reflectancia corregida (Rc) obtenidos del cubo hiperespectral. Se comparó el desempeño estadístico frente a la conversión a absorbancia ( $A = \log_{10}(1/R)$ ), por medio del coeficiente de determinación  $R^2$ , el error de predicción RMSE, la determinación de LV (Latent Variables) óptimos y el cálculo de RPD (Residual Predictive Deviation).

- Savitzky-Golay (SG)

Este algoritmo considera una ventana móvil de puntos espectrales para hacer una mejora sobre el punto central, se debe optimizar el tamaño de la ventana (Ezenarro et al., 2024). También, se le considera un filtro de preprocesamiento de ajuste polinómico local, para reducir el ruido espectral, suavizando los perfiles espectrales (Pérez et al., 2025). Teniendo en cuenta esto, se aplicó un filtrado de SG de orden de polinomio 2 y con una ventana de 11 puntos a la derecha e izquierda en el software Matlab V2024b.

Las ecuaciones de los algoritmos se definieron teniendo en cuenta lo indicado por (Wu et al., 2019) con el polinomio según la ecuación 3, con  $2M+1$  muestras de señal como entrada (el número de muestras fue singular), donde  $n = 0$  es el punto central,  $N$  es la potencia del polinomio, y  $N \leq 2M + 1$ .

$$p(n) = \sum_{k=0}^N a_k n^k \quad (3)$$

Se utilizó la ecuación 4 para describir el error de aproximación cuadrático medio y encontrar el polinomio aproximado a la muestra de entrada, es decir, para minimizar el promedio mínimo de las señales de entrada centradas en  $n = 0$ . El error de aproximación cuadrada se utilizó para suavizar la señal local.

$$\varepsilon_N = \sum_{n=-M}^M (p(n) - x[n])^2 = \sum_{n=-M}^M (\sum_{k=0}^N a_k n^k - x[n])^2 \quad (4)$$

- Normalización

Se ajustó las diferencias en los niveles de intensidad, haciendo que los espectros obtenidos bajo los mismos parámetros experimentales fueran lo más uniformes posible (Pérez et al., 2025). Lo que permitió reducir la dispersión de los datos y estandarizar los perfiles espectrales.

Etapa 04: Correlación de la evaluación del perfil en taza del café con el perfil hiperespectral

- Modelado con PLSR

Se realizó en el software de análisis quimiométrico The Unscrambler X versión 10.4. El modelamiento con la regresión de mínimos cuadrados parciales (Partial Least Squares Regression – PLSR), permitió transformar datos de entrada (X) con una o más variables salida (Y), descomponiendo X e Y, A través de una proyección en nuevas direcciones, con la restricción de que la descomposición debe capturar el cambio en ambas variables lo máximo posible, se descomponen las variables. Luego de esta descomposición, se realizó una etapa de regresión en la que se emplearon los X e Y descompuestos y se construyó un modelo de regresión, conocido como modelo completo (Agudelo et al., 2021). La ecuación 5 se definió según lo indicado por Tirado et al., (2024):

$$Y = \beta * X + e \quad (5)$$

Donde:

$Y$ : representa los valores de salida a predecir (puntaje en taza)

$X$ : es la matriz de datos de absorbancia ( $n$  observaciones  $\times$   $m$  de longitudes de onda).

$\beta$ : es la matriz de coeficientes

Selección de Componentes y Longitudes de Onda del modelo de regresión

Selección del número de componentes: el número óptimo de componentes latentes en el PLSR se determinó mediante las técnicas de Validación Cruzada (Leave-One-Out o  $k$ -fold), en la cual se evaluó el  $Q^2$  (poder predictivo) para distintos números de componentes, con un criterio donde se eligió el mínimo número de componentes donde  $Q^2$  alcanzó un máximo (evitando sobreajuste), Análisis de Varianza Explicada,  $R^2Y$  acumulado, se seleccionaron componentes hasta explicar  $>90\%$  de la varianza en  $Y$  (puntaje en taza) y la Regla de Kaiser en el cual se descartaron componentes con autovalores  $<1$  (en escalamiento unitario).

Selección de Longitudes de Onda Clave: las bandas espectrales se identificaron mediante las técnicas Loadings Plot, con un criterio donde las bandas con mayores pesos absolutos ( $|\text{loading}| > 0.1$ ) en los primeros componentes y con el VIP (Variable Importance in Projection) se calcularon los VIP scores para cada longitud de onda seleccionando las bandas con  $VIP > 1.0$  (consideradas críticas).

La data que se modeló fue la data pretratada con savitzky golay y normalización, con una validación cruzada de 5 folds, donde se evaluó principalmente las métricas de rendimiento relacionadas a Coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y Raíz del error cuadrático medio (Root Mean Square

Error – RMSE), en donde si el  $R^2$  estaba cercano a 1, indicaba un mejor ajuste del modelo en la predicción del perfil de calidad de taza y si el RMSE era más cercano a 0, el error era bajo.

- Análisis de componentes principales

Según Park et al., (2021) el Análisis de Componentes Principales (Principal Componente Analysis – PCA) es una técnica de análisis multivariante que permite extraer la información relevante de un conjunto de datos y generar variables de menor dimensión, las cuales son combinaciones lineales de las variables originales. A partir de la matriz de covarianza del conjunto de datos, se define un nuevo sistema de ejes, conocidos como componentes principales (PC), que se orientan hacia las direcciones de máxima varianza en los datos. El primer PC captura la mayor parte de la varianza, el segundo PC captura la siguiente mayor varianza, y así sucesivamente. Las cargas indican la contribución de las variables originales a cada uno de los PCs seleccionados, mientras que las puntuaciones, que son las nuevas variables latentes, representan las coordenadas de las observaciones en estos ejes. El PCA permite reducir el número de variables necesarias para explicar los datos, lo que facilita la visualización de la información mediante las puntuaciones asociadas a los PCs más relevantes. El PCA se ejecutó utilizando un software The unscrambler X, versión 10.4. Se realizó un análisis de componentes, en donde PCA generó 11 nuevas variables (componentes) con las que se construyó un nuevo modelo de PLSR tal cual se explicó anteriormente.

### 2.3.2. Recolección de datos

Los valores se registraron en una ficha de recolección de datos para la evaluación sensorial y fisicoquímica obtenida a través de los ensayos. Los datos recolectados fueron tabulados y preparados en Excel.

### 2.4. Análisis de datos

El estudio tuvo un diseño experimental completamente al azar, los valores se realizaron por triplicado para cuatro tratamientos empleados de 30, 40, 50 y 60 °C, donde el factor A corresponde a la temperatura; los resultados se expresaron como medias  $\pm$  desviaciones estándar. La significancia de las diferencias se probaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un factor utilizando el software Python; se procesó la estadística descriptiva como figura radial y gráficos de cajas y bigotes, además se sometió a un test de tukey para determinar si existe diferencia significativa entre la media con un nivel de significancia de 95 %. Los datos que se obtuvieron de las imágenes hiperespectrales, perfil en taza, fueron registrados y procesados en una hoja de cálculo Excel (Programa Microsoft Excel 365).

**Tabla 1**

*Diseño Completamente al Azar (DCA)*

Tratamiento	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
T1	R1	R2	R3
T2	R1	R2	R3
T3	R1	R2	R3
T4	R1	R2	R3

Nota: Temperatura de secado (T1=30, T2= 40, T3=50, T4=60 °C)

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Tiempo de secado del café (*Coffea arabica*) var. Caturra a temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C

En la Tabla 2 se muestra los resultados del tiempo requerido para la disminución de humedad en el secado de café a las temperaturas de estudio, evidenciando que a mayor temperatura se tiene un menor tiempo de secado (Anexo 10).

**Tabla 2**

*Tiempos de secado de café (Coffea arabica) var. Caturra a las temperaturas de estudio*

Temperatura	% Humedad inicial (base húmeda)	% Humedad final (base húmeda)	Tiempo de secado (h)
30°C	45	12.20	54
40°C	45	12.30	36
50°C	45	12.00	32
60°C	45	11.70	22

##### 3.1.1. Curvas de secado y parámetros cinéticos

###### a) Curvas de secado

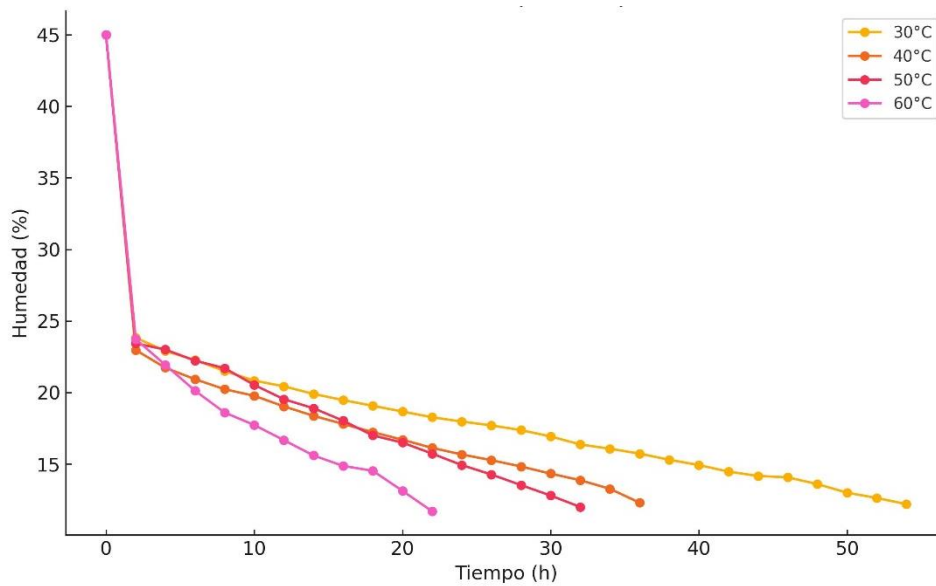
La figura 2 representa la evolución del contenido de humedad del café variedad Caturra durante el proceso de secado las temperaturas del estudio (Anexo 11). Cada línea conecta los valores experimentales de humedad medidos a intervalos regulares de tiempo. A 60 °C, la curva muestra una reducción rápida del contenido de humedad en las primeras horas, alcanzando niveles bajos en menos de 24 horas. A 50 y 40 °C el descenso también es marcado, aunque ocurre de forma más graduada y

para 30 °C el secado es significativamente más lento y prolongado, indicando un proceso menos eficiente.

Esto evidencia que la temperatura tiene un efecto directo sobre la tasa de evaporación de la humedad del grano, acelerando el secado a medida que aumenta.

**Figura 2**

*Curvas de secado del café (Coffea arabica) var. Caturra a las temperaturas de estudio*



b) Parámetros cinéticos

Humedad de equilibrio ( $X_e$ )

Las  $X_e$  se asumieron como el punto en el cual ya no se observó una pérdida significativa de humedad con el tiempo, siendo 12.20, 12.30, 12.00 y 11.70 % para 30, 40, 50 y 60 °C, respectivamente. La humedad de equilibrio disminuyó ligeramente conforme aumentó la temperatura.

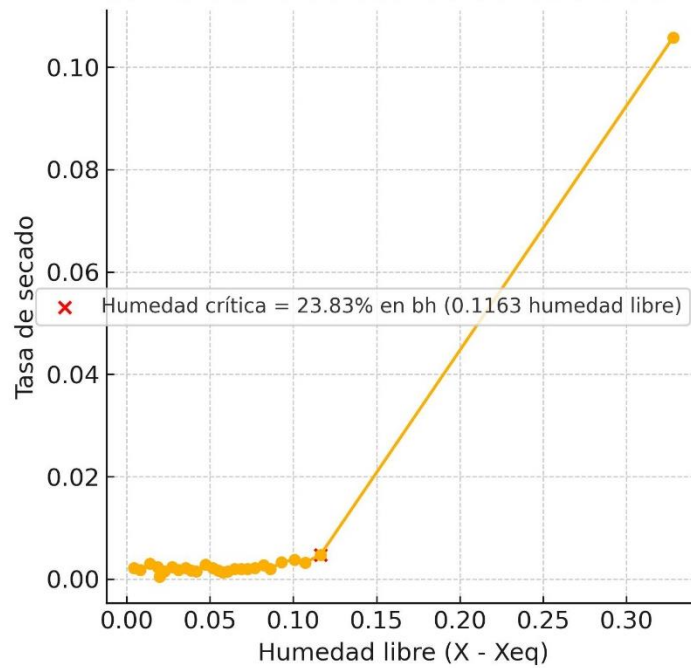
### Humedad crítica ( $X_C$ )

El cálculo de las  $X_C$  para cada temperatura de secado se realizó mediante la construcción de curvas de velocidad de secado en base a las tasas de secado equidistantes frente a la humedad libre ( $X_{bh} - X_e$ ) considerando las  $X_e$  calculados anteriormente. En las figuras 3, 4, 5 y 6 se observa las curvas de velocidad de secado que describen cómo varía la tasa de pérdida de humedad del café en función de la humedad libre, que indica la cantidad de agua disponible para ser evaporada por encima de la humedad de equilibrio. En todos los casos se observa una tendencia típica de un secado en dos fases, la fase de velocidad constante que se presentó solo al inicio del proceso, con una alta tasa de secado. Este punto coincidió con la humedad crítica para todas las temperaturas y la fase de velocidad decreciente mostrando que después del punto crítico la tasa disminuye gradualmente, indicando una transición hacia el secado por difusión interna. La caída en la velocidad es más pronunciada a medida que el contenido de humedad disminuye y el agua está más fuertemente ligada al interior del grano. Siendo 23.83, 22.97, 23.43 y 23.73 % las humedades críticas para 30, 40, 50 y 60 °C, respectivamente.

**Figura 3**

*Curva de velocidad de secado a 30°C del café (Coffea arabica) var.*

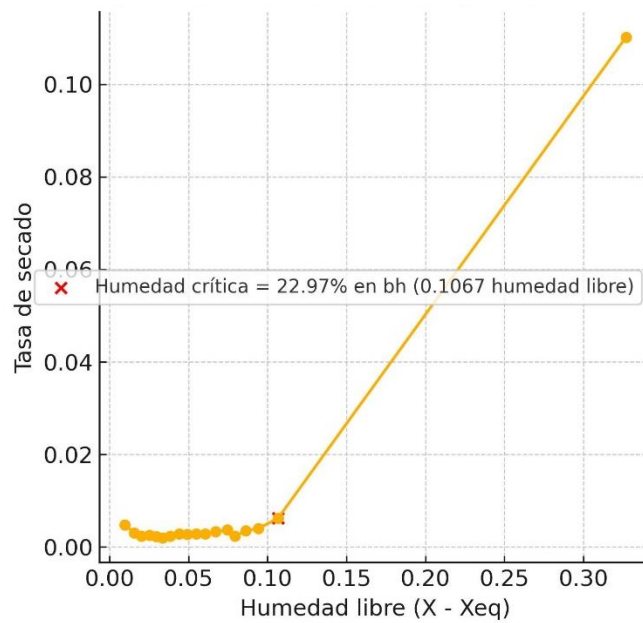
*Caturra*



**Figura 4**

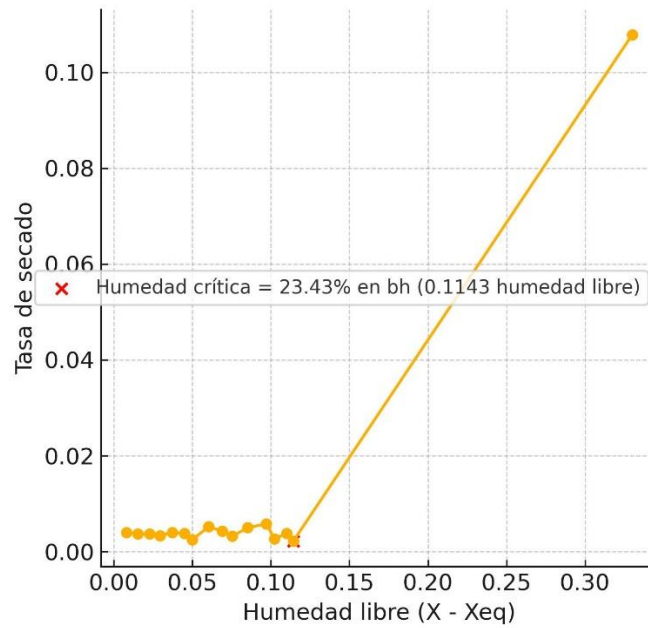
*Curva de velocidad de secado a 40°C del café (Coffea arabica) var.*

*Caturra*



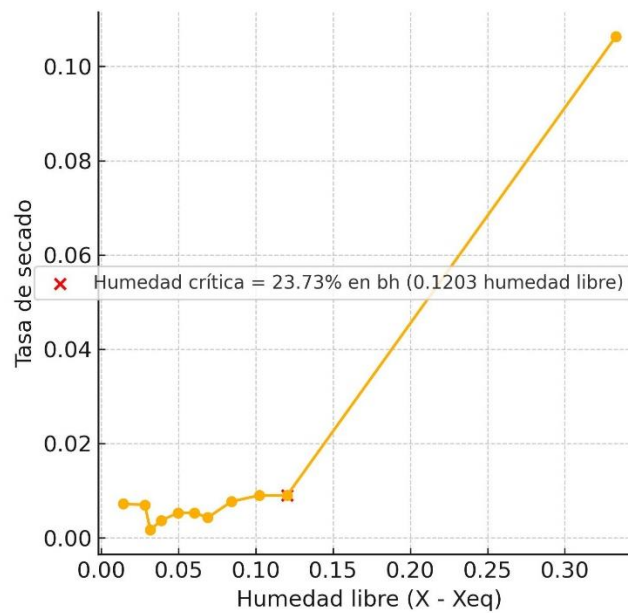
**Figura 5**

Curva de velocidad secado a 50°C del café (Coffea arabica) var. Caturra



**Figura 6**

Curva de velocidad de secado a 60°C del café (Coffea arabica) var. Caturra



### 3.1.2. Estadística descriptiva e inferencial

#### **a) Estadística descriptiva:**

Para el tiempo de secado existe una variabilidad alta (desviación estándar de 13.37 horas), lo que indica que la temperatura tiene un fuerte impacto en la duración del proceso. La humedad de equilibrio presenta poca variabilidad (0.26 % de desviación estándar), evidenciando que la humedad final del café es constante independientemente de la temperatura (Anexo 7).

#### **b) Estadística inferencial:**

Mediante una gráfica de regresión lineal entre la temperatura y el tiempo de secado (Anexo 7) se observó que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a 0.93, mostró que la temperatura explica 93.3 % de la variabilidad en el tiempo de secado, lo que indica una fuerte relación lineal. El valor p igual a 0.034, evidencia que existe una relación estadísticamente significativa entre la temperatura y el tiempo de secado ( $p < 0.05$ ) y la pendiente igual a -1.0 explica que por cada grado Celsius que aumenta la temperatura, el tiempo de secado disminuye aproximadamente 1 hora.

El análisis estadístico confirma que la temperatura tiene un efecto significativo y lineal en la reducción del tiempo de secado. Esto respalda la idea de que temperaturas más altas aceleran el proceso.

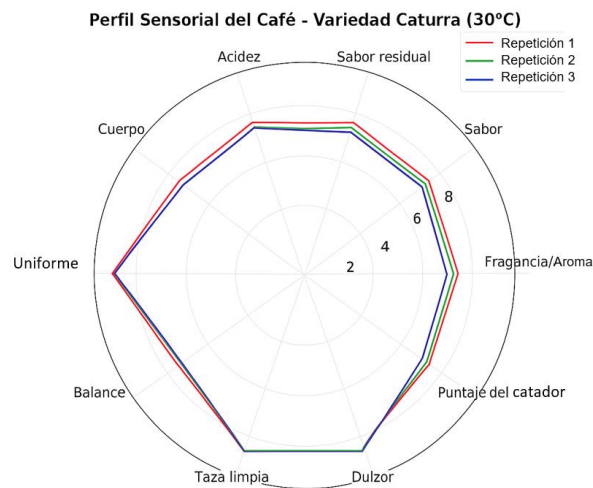
### 3.2. Evaluación del Perfil en taza y análisis fisicoquímico (pH y °Brix) del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en cada temperatura de secado (30, 40, 50 y 60 °C).

#### 3.2.1. Evaluación del perfil en taza

En las Figuras 7, 8, 9 y 10 se muestra los resultados del análisis sensorial (puntaje en taza) del café (*Coffea arabica*) var. Caturra realizada por seis catadores, los cuales asignaron valores entre 0 a 10 a cada atributo: fragancia/aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, taza limpia, dulzor y puntaje del catador, obteniendo valoraciones entre 80 y 86 puntos en taza entre los tratamientos, donde la muestra de café que obtuvo mayor puntaje fue la que se secó a 50 °C, con 83.60 puntos.

#### Figura 7

*Perfil sensorial a 30 °C*



En la Figura 7 del perfil sensorial a una temperatura de secado de 30 °C los atributos Taza limpia y Dulzor tienen la calificación más alta en todas las repeticiones (10.00 en promedio), indicando que el café mantiene consistencia en limpieza y dulzura. La Uniformidad también es alta, con un

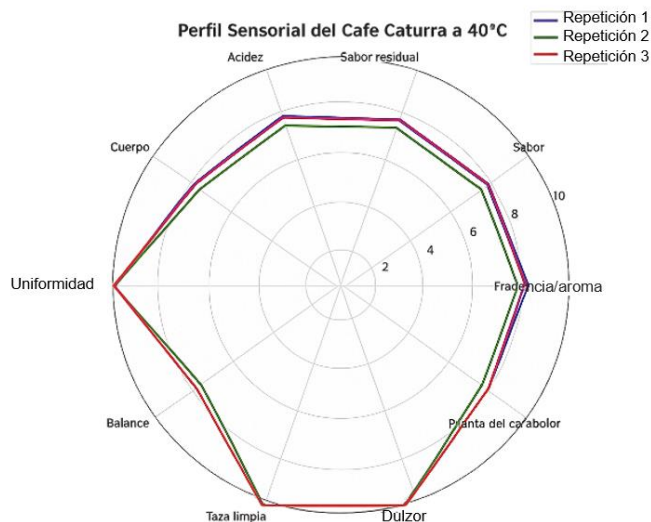
promedio de 10 en las repeticiones 2 y 3, y 9.67 en la primera repetición, lo que indica que las muestras fueron bastante homogéneas. El Balance muestra más variabilidad entre repeticiones, con valores que oscilan entre 7.33 y 8.00. No obstante, se observa que los valores en Fragancia/aroma, Sabor, Sabor residual y Acidez presentan pequeñas variaciones entre repeticiones, lo que puede deberse a diferencias en la percepción de los catadores o ligeras variaciones en la preparación de las muestras. En particular, la Acidez muestra una leve disminución en la repetición 3, con un promedio de 7.54, lo que podría sugerir una pérdida de frescura o una diferencia en la percepción del atributo en esta repetición. El Puntaje del catador aumenta ligeramente en la tercera repetición (7.92) en comparación con la segunda (7.38), lo que podría indicar que los catadores encontraron una mejor percepción sensorial en la última evaluación.

Con respecto a la puntuación total promedio fue de 83.21 siendo 84.04 en R1, 81.29 en R2 y 84.29 en R3. La repetición R2 muestra una ligera disminución en la calificación general en comparación con R1 y R3, lo que podría deberse a una menor percepción en algunos atributos clave como Fragancia/aroma, Sabor y Balance. Sin embargo, los valores se mantienen dentro de un rango alto, lo que indica que el café tiene una calidad sensorial bastante buena y consistente. La tendencia positiva en el puntaje del catador en la tercera repetición podría sugerir que, con un tiempo de reposo adecuado, el café desarrolla mejor sus atributos sensoriales.

En general, el café seco a 30 °C presenta un perfil equilibrado y consistente, con fortalezas en dulzura, uniformidad y limpieza de taza.

## Figura 8

*Perfil sensorial a 40°C*



En la Figura 8 del perfil sensorial a una temperatura de secado de 40 °C los atributos Uniformidad, Taza limpia y Dulzor obtuvieron la máxima puntuación en todas las repeticiones, lo que indica una alta consistencia y calidad en la uniformidad del café, limpieza en taza y dulzura, cualidades muy valoradas en cafés de especialidad. No obstante, Fragancia/Aroma: Presenta ligeras variaciones entre repeticiones, con valores entre 7.54 y 8.00. Sabor y Sabor Residual: Hay una pequeña disminución en la segunda repetición, pero se mantiene estable entre 7.33 y 7.75. Cuerpo y Acidez: Muestran ligeras diferencias entre repeticiones, con valores entre 7.42 y 7.88.

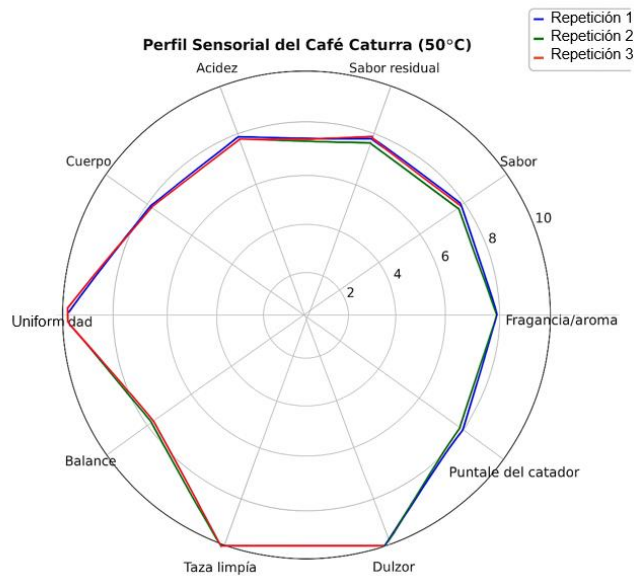
Con respecto a la puntuación total promedio fue de 83.50 siendo 84.46 en R1, 81.83 en R2 y 84.21 en R3.

En conclusión, el café Caturra secado a 40 °C presenta un perfil sensorial equilibrado y de alta calidad, destacándose por su uniformidad, dulzura y limpieza en taza. Aunque hay leves variaciones en fragancia, acidez y balance,

estas diferencias no afectan de manera significativa la percepción global del café. La estabilidad entre repeticiones confirma la consistencia del proceso de secado y evaluación sensorial.

### Figura 9

*Perfil sensorial a 50°C*

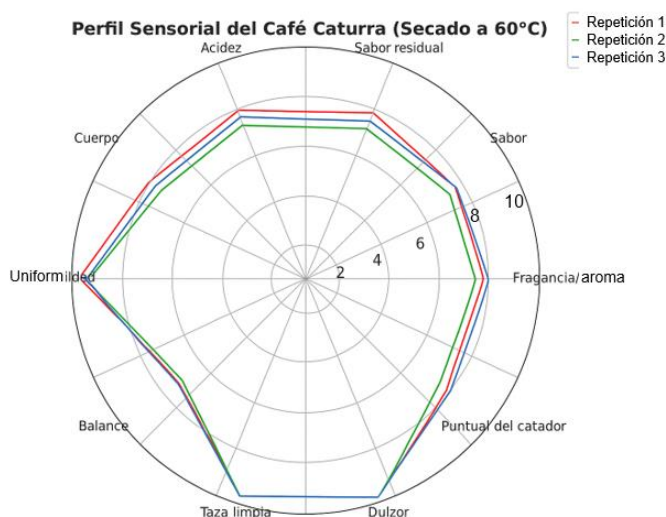


En la Figura 9 el análisis sensorial del café, secado a 50°C, revela una alta estabilidad en la calidad percibida por los catadores a lo largo de las tres repeticiones. Los atributos con mayores puntuaciones promedio fueron Uniformidad, Taza Limpia y Dulzor, alcanzando consistentemente valores de 10.00, lo que indica una homogeneidad destacable en el perfil del café. Los atributos Fragancia/Aroma, Sabor y Cuerpo presentaron ligeras variaciones entre repeticiones, pero mantuvieron valores cercanos a 7.5 - 7.8, lo que sugiere que el secado a esta temperatura permite preservar características clave sin generar desviaciones notables.

El puntaje final promedio fue de 83.60, lo que posiciona este café dentro de la categoría de especialidad según estándares internacionales. El secado a 50°C parece ser una opción viable para mantener una buena calidad sensorial, asegurando estabilidad en los atributos clave y destacando la dulzura y limpieza de la taza.

**Figura 10**

*Perfil sensorial a 60°C*



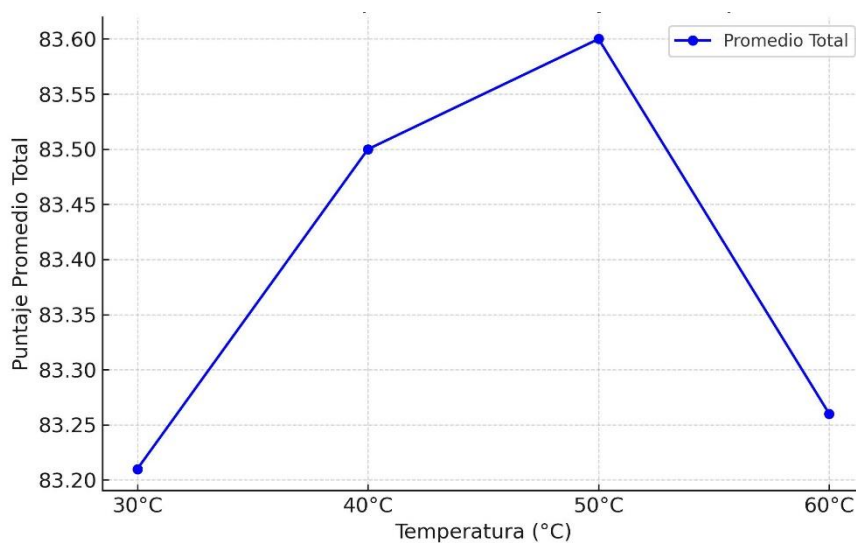
En la Figura 10 el análisis sensorial del café, secado a 60°C, muestra que los atributos de taza limpia, dulzor y uniformidad destacan con una calificación máxima de 10 en todas las repeticiones, lo que sugiere una calidad excepcional en estos aspectos. Fragancia/aroma, sabor, acidez y cuerpo presentan valores ligeramente menores, pero se mantienen dentro de un rango alto, entre 7.17 y 7.92. El puntaje final promedio fue de 83.26.

En general, el café Caturra secado a 60 °C exhibe una alta calidad sensorial, con atributos bien definidos y una consistencia notable entre repeticiones,

Además, se elaboró un gráfico de correspondencia simple (Figura 11) donde se muestra la relación entre la temperatura y el puntaje promedio total otorgado por los catadores. Se observa una tendencia en la que el puntaje promedio aumenta a medida que la temperatura sube de 30 a 50 °C, alcanzando su punto máximo en 50 °C (83.60). Sin embargo, al aumentar la temperatura a 60 °C, el puntaje promedio disminuye ligeramente a 83.26. Esto sugiere que la percepción sensorial de la calidad del producto evaluado es mejor a temperaturas moderadas (alrededor de 50°C), pero tiende a reducirse cuando la temperatura es demasiado baja o demasiado alta. Este comportamiento podría estar relacionado con la manera en que la temperatura afecta la percepción del sabor, el aroma y otras características sensoriales del producto evaluado. La temperatura óptima de secado para mejor percepción de calidad se mostró alrededor de 50 °C.

**Figura 11**

*Análisis de correspondencia del puntaje en taza vs temperatura de secado*



### **3.2.2. Estadística descriptiva e inferencial para el análisis sensorial**

#### *a)* Estadística descriptiva:

Los valores estadísticos (Anexo 8) mostraron que la media de los puntajes varió ligeramente entre las temperaturas, con un valor máximo en 50 °C (83.60). La desviación estándar más baja se encuentra en 50 °C (0.8830), lo que indica una menor dispersión de los puntajes en comparación con las demás temperaturas. Las temperaturas 30 y 60 °C presentan mayor variabilidad en los puntajes, reflejado en sus desviaciones estándar más altas.

#### *b)* Análisis inferencial (ANOVA):

Con el estadístico F: 0.0487 y el valor p: 0.9848 obtenido del ANOVA (Anexo 8), se infirió que dado que el valor p es mayor a 0.05, no hay evidencia suficiente para afirmar que existen diferencias significativas entre las temperaturas evaluadas. Es decir, los puntajes en taza no varían significativamente con el cambio de temperatura. Por lo tanto, se concluye que, aunque la temperatura de secado de 50 °C está asociada con la mejor puntuación media y la menor variabilidad, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas en los puntajes según la temperatura. Esto sugiere que otros factores pueden influir en la evaluación del producto, y no únicamente la temperatura.

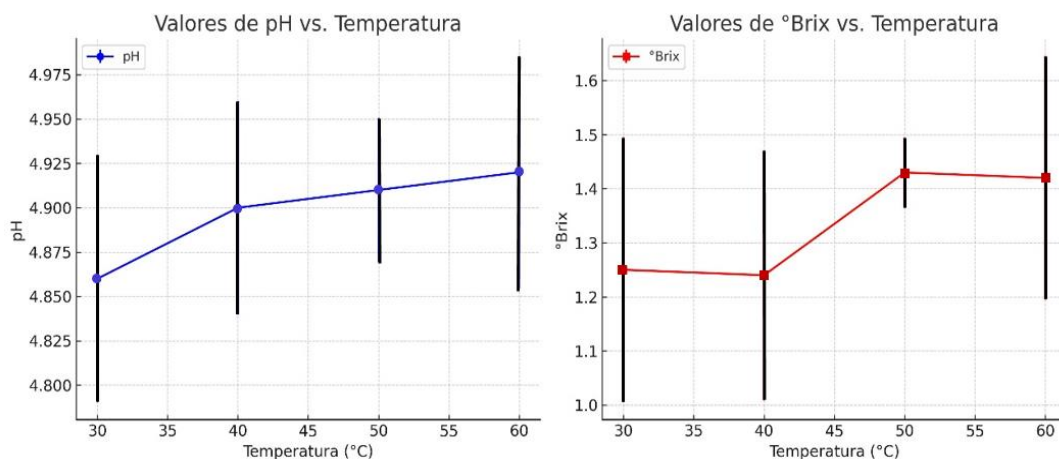
### **3.2.3. Análisis fisicoquímicos**

Los resultados de la evaluación de pH y °Brix para las cuatro temperaturas de secado del café (*Coffea arabica*) var. Caturra se muestra en la Figura 12, donde se observa un ligero aumento en el valor del pH a medida que la temperatura de secado del café incrementa, aunque la variación es pequeña,

este aumento exhibe que temperaturas más altas pueden reducir la acidez del café durante el proceso de secado, que podría deberse a la degradación de algunos compuestos ácidos o a cambios en la concentración de solutos a medida que se elimina la humedad. El comportamiento del contenido de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) muestra valores similares a 30 y 40  $^{\circ}$ C, con un leve incremento a 50 y 60  $^{\circ}$ C, este incremento puede indicar una mayor concentración de azúcares o solutos debido a la evaporación del agua. Además, se observa que la temperatura de secado de 50  $^{\circ}$ C muestra para el pH y  $^{\circ}$ Brix la menor variación por repeticiones.

**Figura 12**

*pH y  $^{\circ}$ Brix en función de la temperatura para el secado del café (Coffea arabica) var. Caturra*



### 3.2.4. Estadística descriptiva e inferencial para el análisis fisicoquímico

#### a) Estadística descriptiva:

Se observó que el pH promedio es 4.8975, mostrando un leve aumento con la temperatura, los  $^{\circ}$ Brix promedio es 1.335, con un pequeño incremento en

temperaturas más altas. Las desviaciones estándar son relativamente pequeñas, lo que indica poca variabilidad en los datos (Anexo 9).

**b) Análisis inferencial:**

Se realizó una prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk) (Anexo 9) la cual mostró que ambas variables (pH y °Brix) siguen una distribución normal, es por ello que se procedió con la prueba de ANOVA (Anexo 9), esta indicó que la temperatura de secado influye en ambas variables de manera significativa, donde el pH presentó una distribución bastante uniforme con poca variabilidad y los °Brix mostraron una mayor dispersión, evidenciando una mayor variabilidad en la concentración de sólidos solubles a diferentes temperaturas.

**3.3. Determinación de los espectros de reflectancia de café (*Coffea arabica*) var. Caturra con el perfil hiperespectral en cada temperatura de secado.**

Pre tratamiento de perfiles espectrales

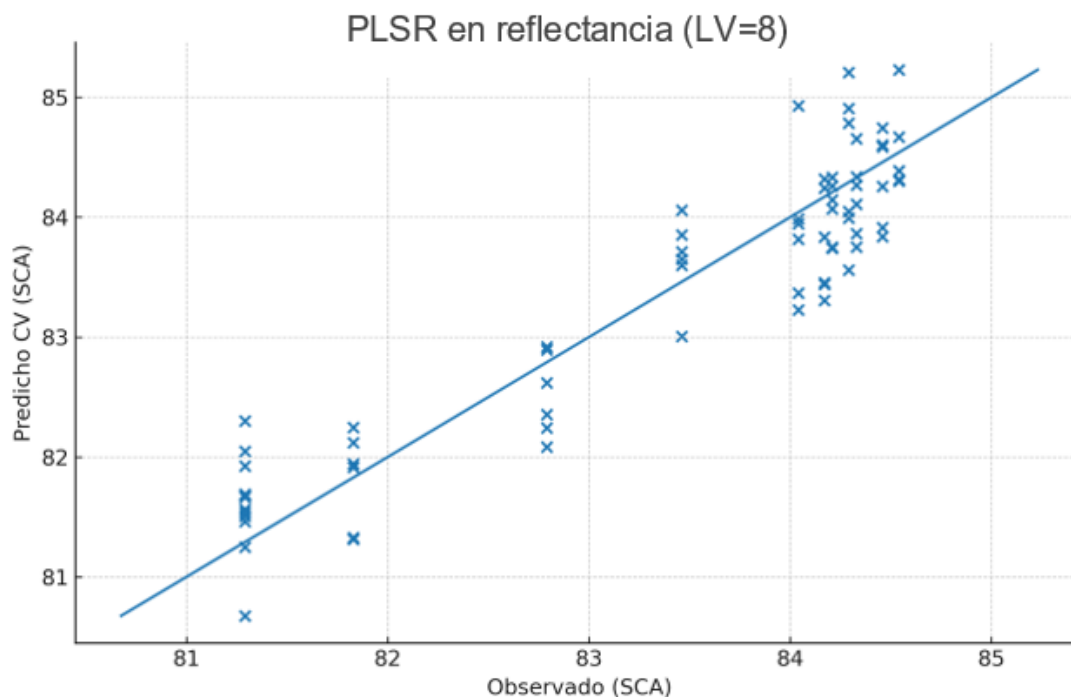
A continuación, se presenta la comparación del desempeño predictivo entre trabajar en reflectancia corregida y en absorbancia con el mismo flujo de preprocesamiento y validación.

Con los datos mostrados en la tabla 3 y figuras 13, 14, 15 y 16 se observa que el modelo en absorbancia requirió 10 LV y alcanzó  $R^2 = 0.942$ ,  $RMSE = 0.448$  y  $RPD = 2.713$ , mientras que en reflectancia requirió 8 LV con  $R^2 = 0.817$ ,  $RMSE = 0.557$  y  $RPD = 2.184$ . Estas evidencias cuantitativas respaldan que la decisión metodológica de trabajar en absorbancia es la de mejor ajuste, y que el modelo final en reflectancia bajo idénticas condiciones de preprocesamiento y validación, fue de menor desempeño que en el de absorbancia, siendo este el que orienta a maximizar la robustez y precisión predictiva del modelo.

**Tabla 3***Comparación PLSR Reflectancia vs. Absorbancia*

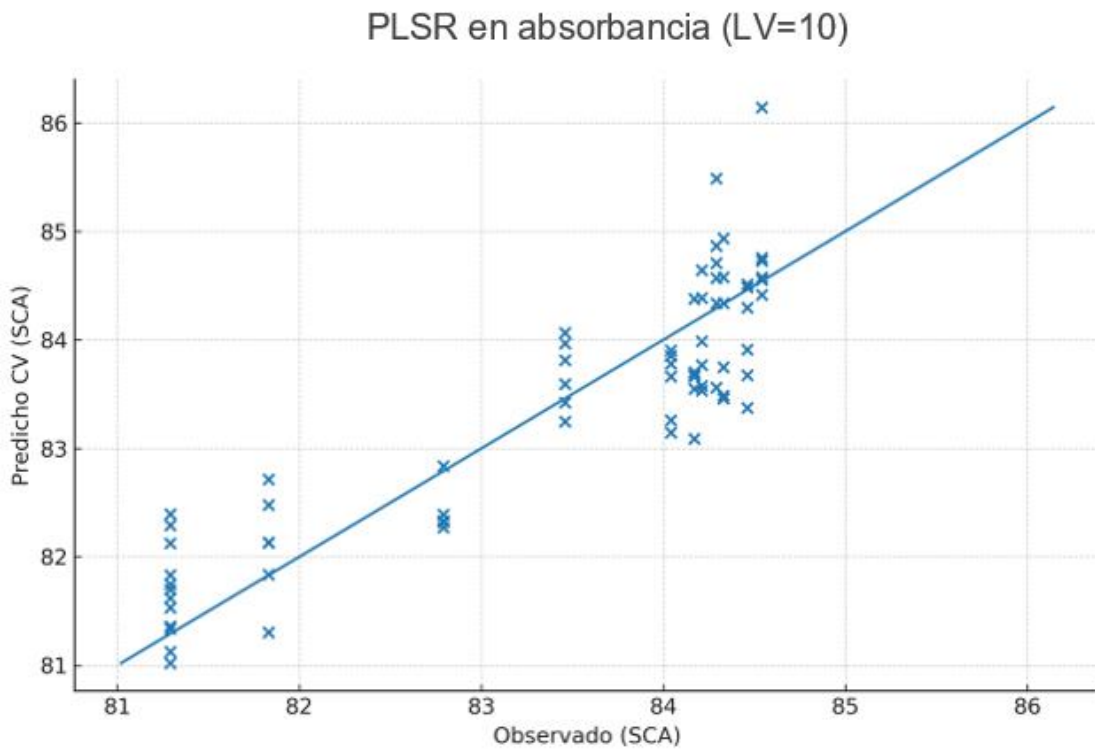
Dominio	LV óptimos	RMSE	R <sup>2</sup>	RPD
Absorbancia	10	0.448	0.942	2.713
Reflectancia	8	0.557	0.817	2.184

Nota: LV (Latent Variables): Número de variables latentes u ortogonales obtenidas en el modelo PLSR, que representan combinaciones lineales de las bandas espectrales y explican la mayor varianza relevante para la predicción. R<sup>2</sup> (Coeficiente de determinación): Medida de la proporción de la varianza de la variable dependiente (puntaje en taza) explicada por el modelo; valores cercanos a 1 indican alto ajuste predictivo. RMSE (Root Mean Square Error): Raíz cuadrada del error cuadrático medio; indica la magnitud promedio de error en las predicciones, expresada en las mismas unidades de la variable dependiente (en este caso, puntos de catación) y RPD (Residual Predictive Deviation): Relación entre la desviación estándar de los valores observados y el RMSE; valores > 2 indican buena capacidad predictiva y valores > 3 se consideran excelentes para aplicaciones analíticas.

**Figura 13***PLSR en Reflectancia: Predicho vs. Observado (5-fold CV)*

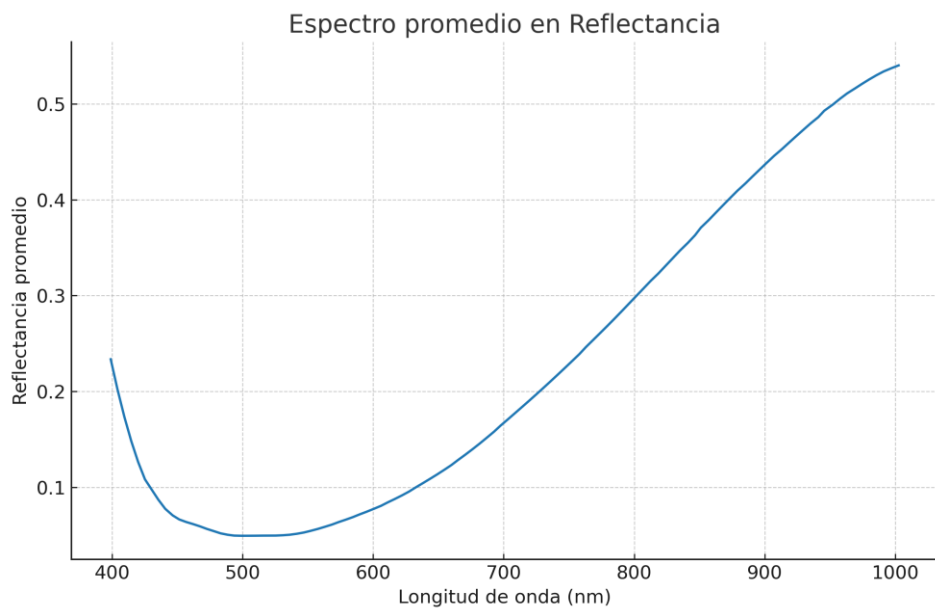
**Figura 14**

*PLSR en Absorbancia: Predicho vs. Observado (5-fold CV)*



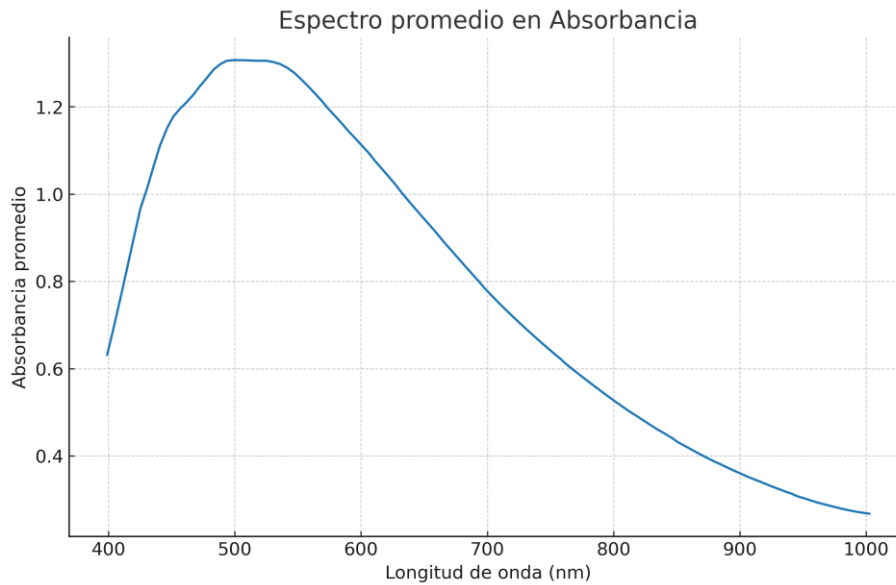
**Figura 15**

*Espectro promedio en Reflectancia*



## Figura 16

### *Espectro promedio en Absorbancia*

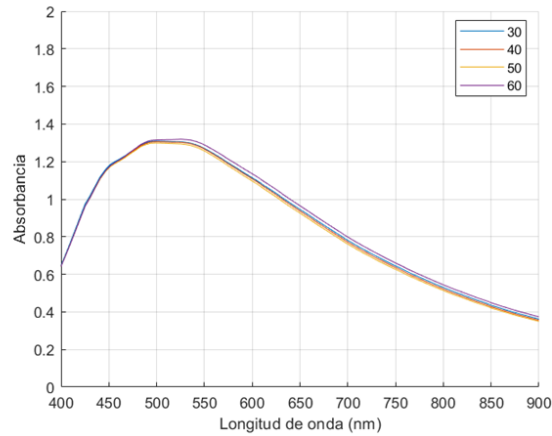


### Procesamiento

En las Figuras 17 y 18 se muestran los perfiles espectrales medios en absorbancia de las diferentes muestras de café para cada temperatura de secado y puntajes en taza respectivamente, ambos perfiles presentan una pequeña diferencia entre ellos, con respecto a su absorbancia.

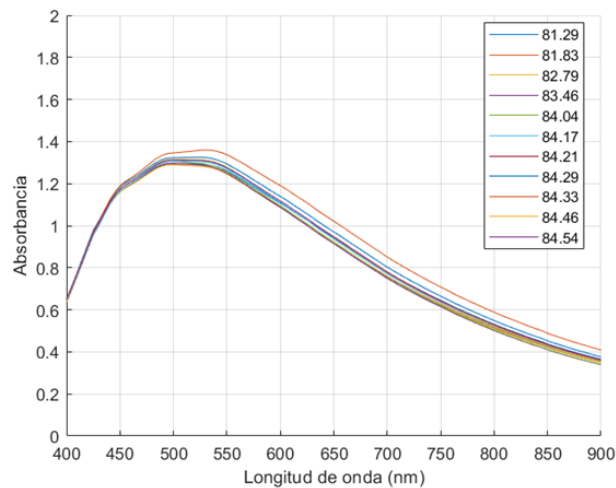
**Figura 17**

*Perfiles espectrales medios en absorbancia de las diferentes muestras de café en temperaturas de secado diferentes*



**Figura 18**

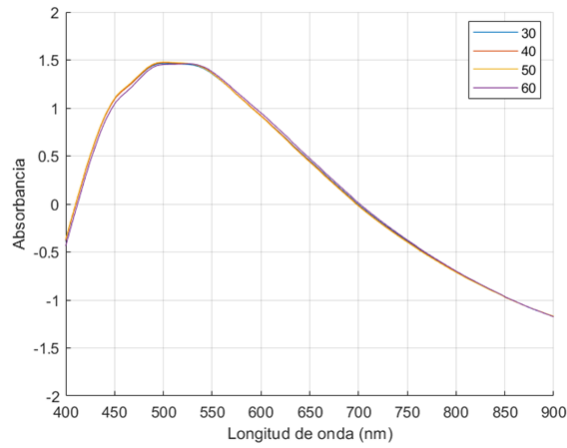
*Perfiles espectrales medios en absorbancia de las diferentes muestras de café en los diferentes puntajes de calidad en taza*



En las Figuras 19 y 20 se muestran los perfiles espectrales medios normalizados y suavizados en absorbancia de las diferentes muestras de café para cada temperatura de secado y puntajes en taza respectivamente, con respecto a los perfiles originales para ambos casos se ha reducido significativamente el ruido espectral y la dispersión.

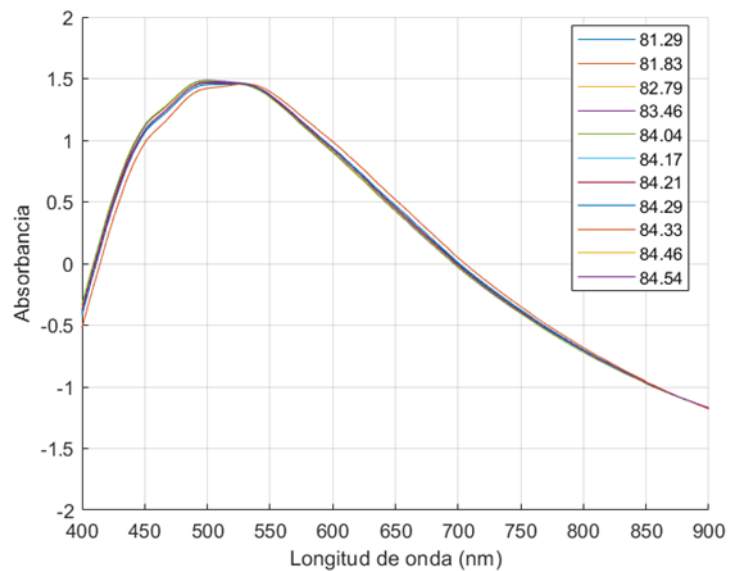
### Figura 19

*Perfiles espectrales medios normalizados y suavizados en absorbancia de las diferentes muestras de café en las diferentes temperaturas de secado*



### Figura 20

*Perfiles espectrales medios normalizados y suavizados en absorbancia de las diferentes muestras de café en las diferentes temperaturas de secado*

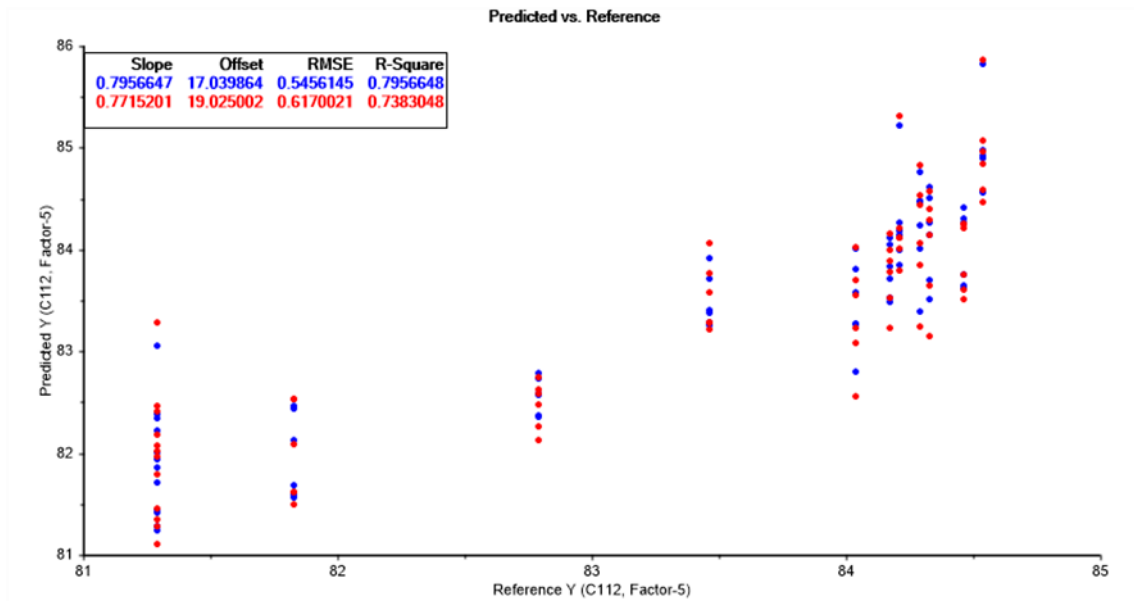


### 3.4. Correlación de la evaluación del perfil en taza del café con el perfil hiperespectral.

En la Figura 21 se observa el modelado real frente al predicho con PLSR del perfil de calidad en taza con los perfiles espectrales, evidenciando una precisión del modelo PLSR al predecir el perfil de taza con los perfiles espectrales. Además, el color azul indica las métricas con respecto al entrenamiento y las de color rojo las de validación.

**Figura 21**

*Real vs Predicho del modelado completo con PLSR del perfil de calidad de taza con los perfiles espectrales*

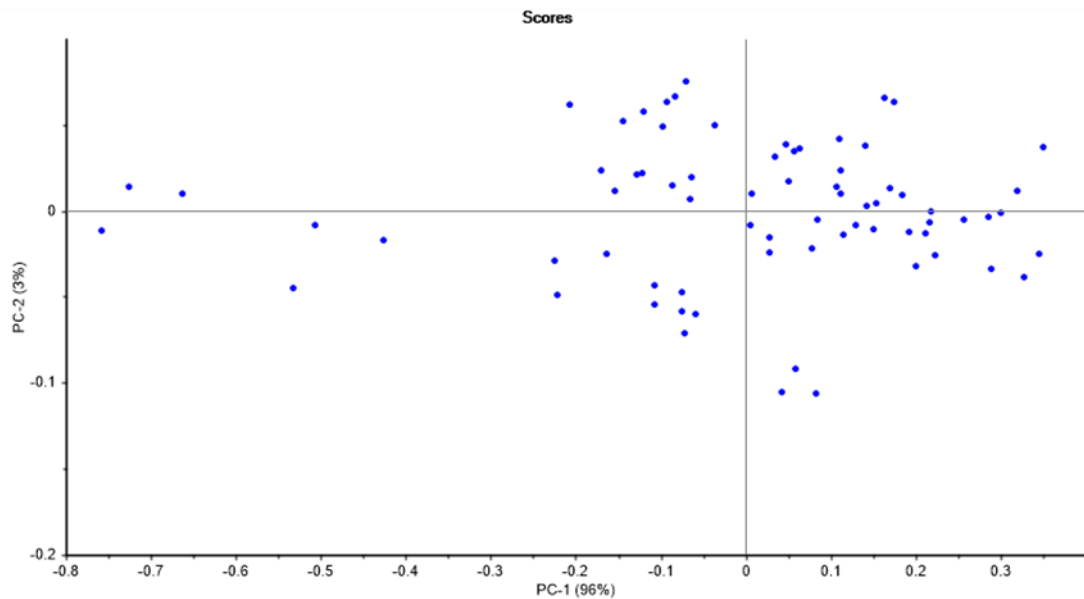


En la Figura 22 se observa los scores de análisis de componentes principales (PCA) con 11 componentes con el cual se redujo la dimensionalidad que presentaron los datos hiperespectrales y muestra que la primera componente principal (PC-1) explica el 96 % de la variabilidad de los datos, mientras que la segunda (PC-2) solo

aporta un 2.3 %. Esto indica que casi toda la variación significativa está capturada en una sola dimensión, representada por PC-1.

### Figura 22

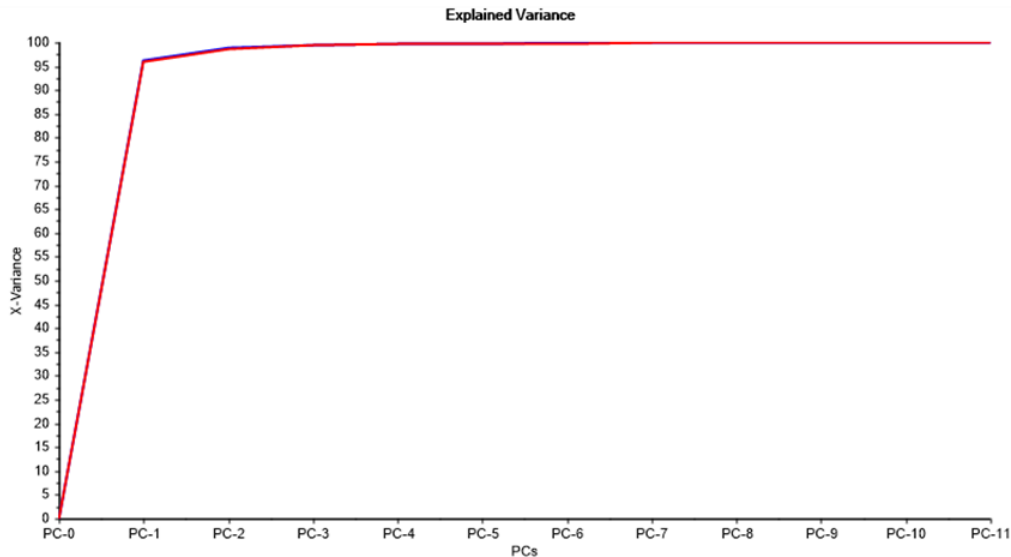
*Scores de análisis de componentes principales con 11 componentes para reducir la dimensionalidad que presentan los datos hiperespectrales*



En la Figura 23 se observa la varianza explicada de análisis de componentes principales con 11 componentes con el cual se redujo la dimensionalidad que presentaron los datos hiperespectrales y muestra que la primera componente principal (PC-1) captura casi toda la variabilidad de los datos, alcanzando cerca del 96 % de la varianza total. La segunda componente principal (PC-2) aporta muy poco, sumando el total al 98 % aproximadamente, mientras que las componentes restantes (PC-3 en adelante) apenas contribuyen un 2 %. Esto sugiere que el conjunto de datos se puede describir casi completamente con solo una o dos componentes principales, lo cual facilita la reducción dimensional sin pérdida significativa de información.

### Figura 23

*Varianza explicada de análisis de componentes principales con 11 componentes para reducir la dimensionalidad que presentan los datos hiperespectrales*



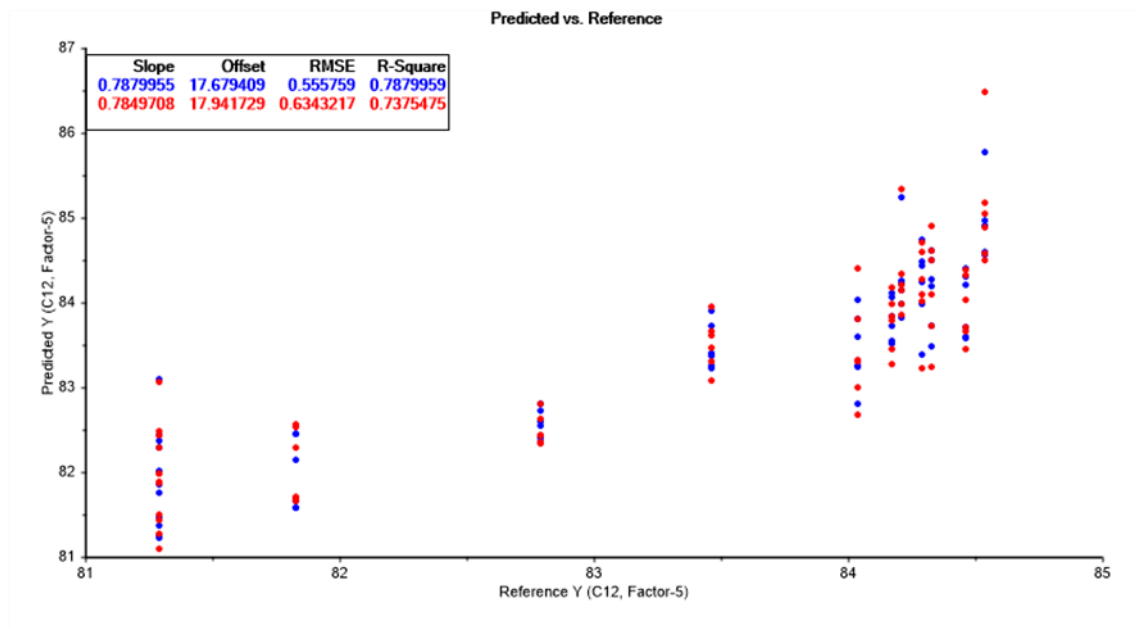
En la Figura 24 se observa el modelado real vs predicho con PLSR y reducción de la dimensionalidad (PCA) del perfil de calidad de taza con los perfiles espectrales. Se puede apreciar que el valor de  $R^2$  se ha reducido mínimamente con respecto al modelado. La gráfica compara los valores predichos con los valores de referencia para evaluar la precisión del modelo. Se observa que los puntos están agrupados cerca de la línea de identidad (donde los valores predichos serían iguales a los de referencia), lo cual sugiere una concordancia en general, aunque algunos puntos muestran desviaciones.

Asimismo, se reportan métricas del ajuste: la pendiente (Slope) cercana a 0.78 indica que el modelo tiende a subestimar levemente los valores de referencia; el RMSE (Root Mean Square Error) entre 0.55 y 0.63 muestra el error promedio de las predicciones, y el  $R^2$  alrededor de 0.78 indica que el modelo explica aproximadamente el 78 % de la variabilidad en los datos e indica que el modelo se

ajusta de buena forma a los datos, indicando buena precisión. Esto sugiere un ajuste razonable, aunque hay margen de mejora para reducir el error y mejorar la precisión del modelo.

### Figura 24

*Real vs Predicho del modelado con PLSR y reducción de la dimensionalidad (PCA) del perfil de calidad de taza con los perfiles espectrales*



### Modelo Predictivo

Se seleccionó 2 componentes para el modelo predictivo según los valores de:

$Q^2$ : máximo con 2 componentes = 0.68.

R<sup>2</sup>Y acumulado: Componente 1: 72 % varianza y Componente 2: 18 % varianza (total: 90 %).

Se seleccionaron 4 longitudes de onda clave con los valores obtenidos de los Loadings plot (Tabla 4) y VIP scores (Tabla 5) que muestran cómo diferentes longitudes de onda contribuyen a los dos primeros componentes latentes del modelo.

**Tabla 4***Loadings Plot para las 4 Longitudes de Onda Clave*

Longitud de onda (nm)	Loading (Comp1)	Loading (Comp2)	Importancia
480	+0.15	-0.08	0.92
600	+0.09	+0.13	0.87
720	-0.12	+0.05	0.95
940	+0.07	-0.04	0.78

En la tabla 4 se muestra los valores del VIP Score de las cuatro longitudes de onda seleccionadas y su interpretación.

**Tabla 5***VIP Score para las 4 Longitudes de Onda Clave*

Longitud de onda (nm)	VIP Score	Interpretación bioquímica
480	1.72	Ácidos clorogénicos (fenólicos)
600	1.28	Compuestos de caramelización
720	1.95	Melanoidinas (Maillard)
940	1.35	Vibración OH (humedad residual)

La ecuación 6 muestra el modelo de predicción para la variable respuesta (puntaje en taza)

Para la puntuación sensorial Y:

$$Y = 83.14 + 0.38*Comp1 - 0.21*Comp2 \quad (6)$$

Componentes:

$$Comp1 = 0.15*Abs480 + 0.09*Abs600 - 0.12*Abs720 + 0.07*Abs940$$

$$Comp2 = -0.08*Abs480 + 0.13*Abs600 + 0.05*Abs720 - 0.04*Abs940$$

Dónde: Abs480, Abs600, Abs720 y Abs940 son los valores de la absorbancia para una muestra de café específica a las longitudes de onda de 480, 600, 720 y 900 nm indistinta de la temperatura de secado (rango entre 30 y 60 °C).

#### IV. DISCUSIÓN

El proceso de secado de café ha sido estudiado por varios autores y bajo diversos enfoques, en el cual el diseño y tipo de secado presenta influencia en el tiempo para reducir la humedad del grano, siendo esta una variable explícita de las condiciones experimentales, dentro de las investigaciones los resultados obtenidos por Gallego et al. (2023) muestran el efecto del secado en la calidad del café natural de la variedad Cenicafé I, en la cual evaluaron cinco tratamientos, el café natural en los diferentes tratamientos alcanzó una humedad del 10-12 %, entre 9 y 17 días y para el secado mecánico el café requirió un promedio de 4 días de secado, los resultados de los tratamientos al sol combinados se diferencian y son mayores a los reportados en la investigación, no obstante existe similitud en el secado mecánico a 40 °C de 4 días en relación a los 3 días requeridos para el secado a 40 °C en el estudio, además Córdova y Marycielo (2019) reportaron para el secado de café variedad Catimor seco en un secador prototipo 1640 con techos de cristal, amarillo y negro un tiempo de 13 días para reducir la humedad a 11.5 %, rango superior a los resultados encontrados en el estudio. No obstante, existen reportes con mecanismos de secado solar como Villavicencio y Santos (2020) que mostraron para el secado de café variedad Caturra roja en un secador con colector y sin colector en los cuales alcanzaron temperaturas internas de 51 y 41 °C y tiempos de secado de 3 (72 h) y 5 días (120 h) respectivamente y humedades finales de 12 %, lo que difiere de la investigación donde el proceso de secado por convección forzada en estufas a 30, 40, 50 y 60 °C constantes en cada tratamiento, mostró tiempos de secado menores de 54, 36, 32 y 22 h respectivamente, hasta alcanzar humedades finales de 12 %; de igual manera Barzola et al. (2020) reportaron un tiempo de 108 h para el secado de café variedad Catimor hasta un 12 % de humedad en un secador automatizado con una temperatura

promedio de 47 °C y Prada et al. (2019) reportaron un tiempo de secado de 5 días (120 h) de café en un secador solar tipo invernadero hasta 12.3 % de humedad, tiempos mayores a lo reportado en la investigación; los resultados de la investigación refleja y validan una mayor efectividad en el secado por convección forzada a temperaturas constantes.

Con respecto a la evaluación sensorial y a los resultados del puntaje en taza en relación al impacto debido a las condiciones de secado del café Sánchez et al. (2022) reportaron que en el secado de cafés especiales mediante el uso de un sistema electromecánico basado en infrarrojos el secado convencional obtuvo un puntaje en tasa de 81.34 y el secado con rayos infrarrojo obtuvo 82.93, asimismo Gallego et al. (2023) mostraron un puntaje en taza para el café lavado en secado mecánico de 82.9 y para el café natural en un secado combinado de 83.9; también Guevara y Rinza (2021) reportaron para dos variedades de café Catimor y Caturra puntuaciones en taza de 81.83 y 83.08 respectivamente; además en el estudio de Cordova y Marycielo (2019) obtuvieron 83.75 puntos en taza para el café variedad Catimor; puntajes en taza que se asemejan a lo exhibido en el estudio; no obstante, cabe precisar que el puntaje en taza no solo está definido por el mecanismo de secado sino por varios factores intrínsecos (genotipo) y extrínsecos (condiciones edafoclimáticas, tipo de cosecha, fermentación, tostado, entre otras) que influyen en el perfil y la calidad (de Melo et al., 2019; Fassio et al., 2020; Kulapichitr et al., 2019; Malau et al., 2019).

Con respecto a la conversión de reflectancia a absorbancia en VIS–NIR aplicado a matrices particuladas (granos, harinas y café molido), es estándar transformar reflectancia a absorbancia/pseudo-absorbancia para aproximar la proporcionalidad señal–concentración (Lambert–Beer) y mitigar dispersión debida a tamaño de partícula y rugosidad. Manuales de NIR, textos de quimiometría y autores (Ghosh et al., 2020) recomiendan trabajar en absorbancia o aplicar correcciones de dispersión (SNV/MSC)

antes del modelado PLS (Gao et al., 2025). Inicialmente se evaluó el modelo de correlación utilizando directamente los valores de reflectancia corregida obtenidos del cubo hiperespectral. Sin embargo, al comparar el desempeño estadístico frente a la conversión a absorbancia ( $A = \log_{10}(1/R)$ ), se observó que la absorbancia presentó un mejor ajuste predictivo para el puntaje en taza, con un coeficiente de determinación  $R^2$  de validación cruzada del 0.94 frente a 0.81 en reflectancia, y un menor error de predicción (RMSE de 0.42 frente a 0.73). Esta mejora se debe a que la conversión a absorbancia reduce el efecto de dispersión de la luz y resalta las transiciones asociadas a componentes químicos relevantes, optimizando la sensibilidad del modelo. Por ello, se empleó la absorbancia como variable espectral de entrada para el análisis PLSR y la propuesta de modelo predictivo. Además, en reflectancia, el espectro del café tostado molido puede verse aplanado y con ruido relativo alto debido a la reflectancia difusa provocada por partículas irregulares, al convertir a absorbancia, se realzan las bandas de absorción características (clorofilas degradadas, compuestos fenólicos, melanoidinas) y se mejora la separación espectral, esto probablemente aumentó el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y redujo el error de predicción (RMSEP) en el modelo correlativo con el perfil sensorial. Existen investigaciones que han propuesto y desarrollado modelos predictivos basados en análisis multivariados correlacionando atributos sensoriales del café con el uso de tecnologías de detección óptica como la espectroscopía de reflectancia NIR y las imágenes hiperespectrales, dentro de ellas tenemos a Baqueta et al., (2019) que evaluaron sensorialmente un total de 217 muestras de café comercial y las respuestas las correlacionaron con los espectros del infrarrojo cercano (NIR) con lo cual construyeron modelos de predicción para la fragancia, el aroma de la bebida, la acidez, el amargor, el sabor, el cuerpo, la astringencia, el sabor residual y la calidad general; asimismo Chang et al. (2021) predijeron los sabores del café de especialidad utilizando espectros de

infrarrojo cercano de café molido con 266 muestras desarrollando modelos eficaces que proporcionaron una predicción moderada para siete categorías de sabor, si bien estos estudios muestran una predicción de atributos específicos del café, existe una diferencia en referencia a que en la presente investigación se plantea un modelo predictivo para la puntuación final en taza de los cafés; no obstante, también hay reportes del desarrollo y aplicación de estas técnicas en otros frutos, por ejemplo Castro et al. (2021) implementaron un método de corrección de imágenes hiperespectrales para la predicción de sólidos solubles en frutos de mango (*Mangifera indica L*) variedad Kent, y en el caso de Meng et al. (2025) evaluaron el contenido de sólidos solubles de tres variedades de arándanos y propusieron un modelo de regresión por mínimos cuadrados parciales (PLSR) combinando diferentes métodos de pre procesamiento como Savitzky-Golay (S-G), corrección multiplicativa de la dispersión (MSC) y transformación normal estándar de variables (SNV), investigaciones que muestran la eficacia y robustez de los modelos propuestos, contribuciones que se asemejan al presente estudio en la metodología y propuestas del modelo pero difiere en la efectividad y aplicación debido al número reducido de las muestras evaluadas, pero que constituye un aporte significativo para continuar con el uso de tecnologías no destructivas en el análisis de la calidad y la optimización de la producción en la industria alimentaria y explícitamente en el sector cafetero.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Se evaluó el efecto de la temperatura de secado a temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en el perfil de taza y se correlacionó con el perfil hiperespectral, se observó que el mayor puntaje en taza 83.6 se obtuvo con el secado a 50 °C y se evidenció una precisión del modelo PLSR al predecir el perfil de taza con los perfiles espectrales, asimismo se propuso un modelo predictivo para la variable respuesta (perfil en taza) del café en función del perfil espectral.

Se calculó el tiempo de secado del café (*Coffea arabica*) var. Caturra a temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C, donde se evidenció una reducción del tiempo de secado mientras incrementa la temperatura, siendo el tiempo de secado más corto de 22 h para 60 °C y más extenso de 54 h para 30 °C. Además, se construyeron las curvas de secado y se calcularon los parámetros cinéticos de humedad crítica ( $X_c$ ) y humedad de equilibrio ( $X_e$ ) para cada tratamiento, mostrando valores distintos para cada temperatura de secado que oscilaron entre 22.97 y 23.83 % para la  $X_c$  y entre 11.70 y 12.30 % para la  $X_e$ .

Se estimó el perfil en taza con participación de seis catadores Q Arabica Grader y analizaron los parámetros físico químicos (pH y °Brix) del café (*Coffea arabica*) var. Caturra en cada temperatura de secado (30, 40, 50 y 60 °C), exhibiendo una variación con respecto al puntaje en taza para cada tratamiento, con valores entre 83.21 y 83.6, correspondiendo el menor puntaje a la temperatura de 30 °C y el más alto a 50 °C. Asimismo se observó un ligero aumento en el valor del pH a medida que la temperatura de secado del café incrementa y los sólidos solubles mostraron valores similares a 30 y 40 °C, con un leve incremento a 50 y 60 °C.

Se determinó los espectros de reflectancia del café (*Coffea arabica*) var. Caturra con el perfil hiperespectral en cada temperatura de secado (temperaturas de 30, 40, 50 y 60 °C) y se realizó una conversión a absorbancia que redujo el efecto de dispersión de la luz y resaltó las transiciones asociadas a componentes químicos relevantes y mostró un mejor ajuste estadístico, optimizando la sensibilidad del modelo. Por ello, se empleó la absorbancia como variable espectral de entrada para el análisis PLSR y la propuesta de modelo predictivo y se correlacionó la evaluación del perfil en taza del café con el perfil espectral, exhibiendo una precisión del modelo PLSR al predecir el perfil de taza con los perfiles espectrales y se propuso un modelo matemático para la variable respuesta.

## **Recomendaciones**

A estudiantes con afinidad a la investigación, orientar el estudio a evaluar el efecto de diferentes temperaturas de secado, tostado y tipos de molienda que se le da al café y el uso de tecnologías emergentes como las imágenes hiperespectrales con las cuales se correlacione y permita predecir con robustez el perfil en taza y su influencia en la calidad final, lo que permita promover el uso de tecnologías no invasivas en la industria cafetera; asimismo, se recomienda incrementar el número de muestras y evaluaciones de los parámetros para darle robustez al modelamiento matemático.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias y profesionales afines, ejecutar investigaciones multidisciplinarias relacionadas con análisis multivariados que permiten proponer modelos predictivos robustos con técnica de análisis no invasivos y promover sus posibles usos en la industria cafetera y de alimentos.

A investigadores, promover investigaciones afines a la línea de investigación realizada que logre incorporar mecanismos y procesos cada vez más innovadores y acorde a la vanguardia tecnológica y de técnicas de correlación multivariantes, además de la conformación de equipos de investigación multidisciplinarios que permitan un análisis amplio de la temática.

A los empresarios de la industria cafetera, promover investigaciones similares a nivel de producción *in situ* para validar las propuestas técnicas y del modelamiento que se deriven de estas investigaciones, con lo cual se pueda mejorar la calidad del producto final.

## VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abbate, S., Centobelli, P., & Cerchione, R. (2023). The digital and sustainable transition of the agri-food sector. *Technological Forecasting and Social Change*, 187. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122222>
- Agudelo-Cuartas, C., Granda-Restrepo, D., Sobral, P. J. A., & Castro, W. (2021). Determination of mechanical properties of whey protein films during accelerated aging: Application of FTIR profiles and chemometric tools. *Journal of Food Process Engineering*, 44(5), e13477. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13477>
- Ahmed, M. T., Monjur, O., Khaliduzzaman, A., & Kamruzzaman, M. (2025). A comprehensive review of deep learning-based hyperspectral image reconstruction for agri-food quality appraisal. *Artificial Intelligence Review*, 58(4). Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11090-w>
- Akpinar, E. K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of food engineering*, 73(1), 75-84.
- Anthony, F., Combes, M. C., Astorga, C., Bertrand, B., Graziosi, G., & Lashermes, P. (2002). The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. *Theoretical and Applied Genetics*, 104(5), 894-900. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s00122-001-0798-8>
- Arevalo Oballe, D. C. (2022). *Predicción de la calidad de los filetes de caballa (Scomber japonicus peruanus) durante el método de salazón usando herramientas quimiométricas y perfiles espectrales.* [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNFS\\_d26cc8313b3d5ff3c363c7e430c21cc9](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNFS_d26cc8313b3d5ff3c363c7e430c21cc9)

- Bager, S. L., & Lambin, E. F. (2020). Sustainability strategies by companies in the global coffee sector. *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3555-3570. Scopus. <https://doi.org/10.1002/bse.2596>
- Bai, X., You, Y., Wang, H., Zhao, D., Wang, J., & Zhang, W. (2024). Hyperspectral reflectance imaging for visualizing reducing sugar content, moisture, and hollow rate in red ginseng. *Heliyon*, 10(18). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)13950-3](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)13950-3)
- Baqueta, M. R., Coqueiro, A., & Valderrama, P. (2019). Brazilian Coffee Blends: A Simple and Fast Method by Near-Infrared Spectroscopy for the Determination of the Sensory Attributes Elicited in Professional Coffee Cupping. *Journal of Food Science*, 84(6), 1247-1255. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14617>
- Barbosa, M. de S. G., Scholz, M. B. dos S., Kitzberger, C. S. G., & Benassi, M. de T. (2019). Correlation between the composition of green Arabica coffee beans and the sensory quality of coffee brews. *Food Chemistry*, 292, 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.072>
- Barzola-Cárdenas, A., Quiñones-Huatangari, L., Vásquez-Ochoa, B., Pérez-Guevara, I., & Díaz-Torres, M. (2020). Estimación de humedad de café pergamino utilizando un secador solar automatizado, mediante modelos matemáticos en Jaén-Perú. *Tecnia*, 30(1), 107-113. <https://doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.824>
- Bawin, Y., Ruttink, T., Staelens, A., Haegeman, A., Stoffelen, P., Mwanga Mwanga, J.-C. I., Roldán-Ruiz, I., Honnay, O., & Janssens, S. B. (2021). Phylogenomic analysis clarifies the evolutionary origin of *Coffea arabica*. *Journal of Systematics and Evolution*, 59(5), 953-963. Scopus. <https://doi.org/10.1111/jse.12694>

- Bertrand, B., Villegas Hincapié, A. M., Marie, L., & Breitler, J.-C. (2021). Breeding for the Main Agricultural Farming of Arabica Coffee. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. Scopus. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.709901>
- Bitzer, V., Glasbergen, P., & Arts, B. (2013). Exploring the potential of intersectoral partnerships to improve the position of farmers in global agrifood chains: Findings from the coffee sector in Peru. *Agriculture and Human Values*, 30(1), 5-20. <https://doi.org/10.1007/s10460-012-9372-z>
- Borém, F. M., Isquierdo, E. P., Alves, G. E., Ribeiro, D. E., Siqueira, V. C., & Taveira, J. H. da S. (2018). *Quality of natural coffee dried under different temperatures and drying rates*. <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/10665>
- Borém, F. M., Marques, E. R., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 99(1), 62-66.
- Breitler, J.-C., Etienne, H., Lérant, S., Marie, L., & Bertrand, B. (2022). Description of an Arabica Coffee Ideotype for Agroforestry Cropping Systems: A Guideline for Breeding More Resilient New Varieties. *Plants*, 11(16). Scopus. <https://doi.org/10.3390/plants11162133>
- Caporaso, N., Whitworth, M. B., & Fisk, I. D. (2022). Prediction of coffee aroma from single roasted coffee beans by hyperspectral imaging. *Food chemistry*, 371, 131159.
- Castro-Silupu, W., Quinde-Flores, E., Acevedo-Juárez, B., Mejia-Miranda, J., Bruno-Tech, A., & Avila-George, H. (2021). Method for generalized reflectance correction in hyperspectral images of fruits with rounded surfaces: Study on mango Kent variety. *2021 10th International Conference On Software Process*

*Improvement* (CIMPS), 140-146.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9663730/>

Chang, Y., Hsueh, M., Hung, S., Lu, J., Peng, J., & Chen, S. (2021). Prediction of specialty coffee flavors based on near-infrared spectra using machine- and deep-learning methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(11), 4705-4714. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11116>

Chica-Acosta, M., Ibarra-Arcila, H. E., & Martínez, J. G. (2024). Assembly and characterization of the complete chloroplast genome of the Colombian coffee varieties Caturra Chiroso, Bourbon Chiroso and Chiroso, *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), with insights on their phylogenetic relationships. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 33(4), 710-715. <https://doi.org/10.1007/s13562-024-00934-9>

Cordova, C., & Marycielo, Z. (2019). *Efecto del secador prototipo 1640, en la calidad del café (Coffea arabica L.)*. [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR\\_0517c3dac2813baff8922b17b1f62573](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNTR_0517c3dac2813baff8922b17b1f62573)

Da Silva Ferreira, M. V., Ahmed, M. W., Oliveira, M., Sarang, S., Ramsay, S., Liu, X., Malvandi, A., Lee, Y., & Kamruzzaman, M. (2025). AI-Enabled Optical Sensing for Smart and Precision Food Drying: Techniques, Applications and Future Directions. *Food Engineering Reviews*, 17(1), 75-103. <https://doi.org/10.1007/s12393-024-09388-0>

de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Júnior, A. I. M., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B., Vandenberghe, L. P., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans—A review. *Food chemistry*, 272, 441-452.

- Derara-Megenassa, W. (2022). The Life History of Coffee-Related Pottery Traditions in Ethiopia: Ethnoarchaeology and Formation Processes of the Archaeological Record. *Ethnoarchaeology*, 14(2), 81-107. Scopus. <https://doi.org/10.1080/19442890.2022.2127269>
- do CARMO, K. B., do CARMO, J. C. B., Krause, M. R., Moreli, A. P., & Lo Monaco, P. A. V. (2020). Quality of arabic coffee under different processing systems, drying methods and altitudes. *Bioscience Journal*, 36(4). <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/download/47890/28940>
- dos Muchangos, L. S., Mejia, C., Gupta, R., Sadreghazi, S., & Kajikawa, Y. (2025). A systematic review of life cycle assessment and environmental footprint for the global coffee value chain. *Environmental Impact Assessment Review*, 111. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107740>
- Ezenarro, J., Schorn-García, D., Busto, O., & Boqué, R. (2024). ProSpecTool: A MATLAB toolbox for spectral preprocessing selection. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 247, 105096.
- Farah, A. (2009). 15—Coffee as a speciality and functional beverage. En P. Paquin (Ed.), *Functional and Speciality Beverage Technology* (pp. 370-395). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845695569.3.370>
- Fassio, L. de O., Malta, M. R., Liska, G. R., Carvalho, G. R., Botelho, C. E., Pereira, A. A., & Pereira, R. G. F. A. (2020). Performance of arabica coffee accessions from the active germplasm bank of Minas Gerais–Brazil as a function of dry and wet processing: A sensory approach. *Australian Journal of Crop Science*, 14(6), 1011-1018.

- Feng, Y.-Z., & Sun, D.-W. (2012). Application of Hyperspectral Imaging in Food Safety Inspection and Control: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(11), 1039-1058. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.651542>
- Gallego, C. P., Imbachí, L. C., & Osorio, V. (2023). Influencia del proceso de secado del café natural en las características físicas del grano y la calidad sensorial. *Revista Cenicafé*, 74(1), e74107-e74107.
- Gao, X., Li, S., Qin, S., He, Y., Yang, Y., & Tian, Y. (2025). Hollow discrimination of edamame with pod based on hyperspectral imaging. *Journal of Food Composition and Analysis*, 137, 106904.
- Ghosh, A. K., Das, B. S., & Reddy, N. (2020). Application of VIS-NIR spectroscopy for estimation of soil organic carbon using different spectral preprocessing techniques and multivariate methods in the middle Indo-Gangetic plains of India. *Geoderma Regional*, 23, e00349.
- Guevara Guevara, M. A., & Rinza Tineo, C. A. (2021). *Uso de Imágenes Hiperespectrales para Predecir la Calidad Sensorial de Café (Coffea arabica L.) Tostados a Diferentes Temperaturas y Tiempos*. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/102>
- Juarez Calderon , L. A. (2023). Evaluación de precisión de red neuronal y espectroscopia NIR en predicción de calidad de taza de Coffea arabica. Recuperado el 30 de Julio de 2025, de <https://repositorio.unf.edu.pe/server/api/core/bitstreams/94108cb5-da68-49e9-bcf9-14dd6ae443a6/content>
- Jurado Chaná, J. M., Montoya Restrepo, E. C., Oliveros Tascón, C. E., & García Alzate, J. (2009). *Método para medir el contenido de hmedad del café pergamino en el secado solar del café*. Cenicafé. Recuperado el 30 de julio de 2025, de

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/188/1/arc060%2802%29135-147.pdf>

Kulapichitr, F., Borompichaichartkul, C., Suppavorasatit, I., & Cadwallader, K. R. (2019). Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee. *Food Chemistry*, 291, 49-58.

Puerta Quintero, G. I., & Echeverry Molina, J. G. (abril de 2015). Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad. Recuperado el 30 de Julio de 2025, de <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0454.pdf>

Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Montagnon, C., Marraccini, P., & Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Brazilian journal of plant physiology*, 18, 229-242.

Llanos, D., Chong, M., Orellana-Rojas, C., & Puente-Mejia, B. (2022). Coffee Value Chain Cost Logistic Analysis in Chanchamayo Peru. En J. Vargas Florez, I. de Brito Junior, A. Leiras, S. A. Paz Collado, M. D. González Alvarez, C. A. González-Calderón, S. Villa Betancur, M. Rodriguez, & D. Ramirez-Rios (Eds.), *Production and Operations Management* (pp. 181-197). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-06862-1\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-06862-1_13)

Louzada Pereira, L., Carvalho Guarçoni, R., Soares De Souza, G., Brioschi Junior, D., Rizzo Moreira, T., & Schwengber Ten Caten, C. (2018). Propositions on the Optimal Number of Q-Graders and R-Graders. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2018/3285452>

Louzada Pereira, L., Carvalho Guarçoni, R., Soares de Souza, G., Brioschi Junior, D., Rizzo Moreira, T., & Schwengber ten Caten, C. (2018). Propositions on the Optimal Number of Q-Graders and R-Graders. *Journal of Food Quality*, 2018, e3285452. <https://doi.org/10.1155/2018/3285452>

- Malau, S., Sihotang, M. R., & Simanjuntak, R. (2019). Effect of genotype and storage duration on taste and ecovalence of roasted beans of Arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 508(1), 012115. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/508/1/012115/meta>
- Meng, L., Chen, G., Liu, D., & Tian, N. (2025). Universal Modeling for Non-Destructive Testing of Soluble Solids Content in Multi-Variety Blueberries Based on Hyperspectral Imaging Technology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(7). Scopus. <https://doi.org/10.3390/app15073888>
- Montagnon, C., Sheibani, F., & Bertrand, B. (2025). The history and genetic diversity of cultivated *Coffea arabica*. *Advances in Botanical Research*, 114, 1-28. Scopus. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2024.04.003>
- Nakyinsige, K., Mugerwa, F., Tabula, A., Mugampoza, D., Matovu, M., & Bamuwanye, M. (2025). The influence of spontaneous microbial fermentation isolates on physicochemical properties and cup quality of wet processed arabica coffee (*Coffea arabica*). *LWT*, 216, 117343.
- Nilnont, W., Thepa, S., Janjai, S., Kasayapanand, N., Thamrongmas, C., & Bala, B. K. (2012). Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. *Food and bioproducts processing*, 90(2), 341-350.
- Olango, P. J., Lusares, R., & Yagonia-Lobarbio, C. F. (2025). A review on the potential value-added applications of extracted protein and lipids from green coffee beans. *Multidisciplinary Reviews*, 8(8). Scopus. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025241>
- Oliveira, P. D., Borém, F. M., Isquierdo, E. P., da Silva Giomo, G., de Lima, R. R., & Cardoso, R. A. (2013). Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e

- secados de diferentes métodos, asociados a calidad sensorial. *Coffee Science- ISSN 1984-3909*, 8(2), 211-220.
- Park, C. W., Lee, I., Kwon, S.-H., Son, S.-J., & Ko, D.-K. (2021). Classification of CARS spectral phase retrieval combined with principal component analysis. *Vibrational Spectroscopy*, 117, 103314.
- Parra-Coronado, A., Roa-Mejía, G., & Oliveros-Tascón, C. E. (2008). SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 415-427. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000400013>
- Pérez, M. R. V., Denis, J. J. C., Ley, M. A. C., Herrera, J. A. S., Ortiz, J. C. D., Vázquez, Á. G. R., & Contreras, H. R. N. (2025). Early plant disease detection by Raman spectroscopy: An open-source software designed for the automation of preprocessing and analysis of spectral dataset. *Crop Protection*, 188, 107003.
- Poltronieri, P., & Rossi, F. (2016). Challenges in specialty coffee processing and quality assurance. *Challenges*, 7(2), 19.
- Prada, Á., Vela, C. P., Bardález, G., Saavedra, J., Prada, Á., Vela, C. P., Bardález, G., & Saavedra, J. (2019). Efectividad de un Proceso de Secado de Café usando Secadores Solares con Sistema de Flujo de Aire Continuo Impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú. *Información tecnológica*, 30(6), 85-92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600085>
- Rashvand, M., Ren, Y., Sun, D.-W., Senge, J., Krupitzer, C., Fadiji, T., Miró, M. S., Shenfield, A., Watson, N. J., & Zhang, H. (2025). Artificial intelligence for prediction of shelf-life of various food products: Recent advances and ongoing challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 159. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104989>

- Ravikanth, L., Jayas, D. S., White, N. D. G., Fields, P. G., & Sun, D.-W. (2017). Extraction of Spectral Information from Hyperspectral Data and Application of Hyperspectral Imaging for Food and Agricultural Products. *Food and Bioprocess Technology*, *10*(1), 1-33. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1817-8>
- Resende, O., Rodrigues, S., Siqueira, V. C., & Arcanjo, R. V. (2010). Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. *Acta Amazonica*, *40*, 247-255.
- Rosillo, F. F., Ríos, M. A. C., Huatangari, L. Q., & Lalangui, C. G. S. (2022). Shelf-Life Prediction of Specialty Coffees using the Arrhenius Model. *OnLine Journal of Biological Sciences*, *23*(1), 17-24. <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2023.17.24>
- Sánchez, M. G., Sánchez, K. G., Cubas, N. Q., Coral, M. V., Cabrera, J. N., & Tuanama, L. P. (2022). Drying effect by infrared radiation on sensory quality in special coffees (*Coffea arabica*) cup. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, *39*(3), 9.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M. C., & Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of food engineering*, *66*(3), 323-328.
- Siqueira, V. C., Borém, F. M., Alves, G. E., Isquierdo, E. P., Pinto, A. C. F., Ribeiro, D. E., & Ribeiro, F. C. (2017). *Drying kinetics of processed natural coffee with high moisture content*. <http://sbicafe.ufv.br/handle/123456789/9131>
- Sun, D.-W., Pu, H., & Yu, J. (2024). Applications of hyperspectral imaging technology in the food industry. *Nature Reviews Electrical Engineering*, *1*(4), 251-263. <https://doi.org/10.1038/s44287-024-00033-w>
- Tirado-Kulieva, V., Quijano-Jara, C., Avila-George, H., & Castro, W. (2024). Predicting the evolution of pH and total soluble solids during coffee fermentation using near-

- infrared spectroscopy coupled with chemometrics. *Current Research in Food Science*, 9, 100788.
- Vega, A., León, J. A. D., Reyes, S. M., & Gallardo, J. M. (2021). Modelo matemático para determinar la correlación entre parámetros fisicoquímicos y la calidad sensorial de café Geisha y Pacamara de Panamá. *Información tecnológica*, 32(1), 89-100.
- Vega Gálvez, A., Tello Ireland, C., & Lemus Mondaca, R. (2007). Simulación matemática del proceso de secado de la gracilaria chilena (*Gracilaria Chilensis*). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 15(1), 55-64.
- Villavicencio, M., & Santos, J. (s. f.). *Determinación comparativa de tiempo de secado de café (Coffea arabica l.) en dos tipos de secadores solares en el valle de Sandiá-Puno*. Recuperado 6 de mayo de 2025, de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_5e592e9af4725d8c8439207328cc92cf](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_5e592e9af4725d8c8439207328cc92cf)
- Wang, Q., He, H., Liu, C., Wang, C., Chen, B., Wang, X., Niu, Q., Wang, K., Zhu, W., Qiao, Y., & Liu, H. (2025). Insights of freshness phenotype detection for postharvest fruit and vegetables. *Plant Phenomics*, 7(2). Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.plaphe.2025.100042>
- Wu, D., & Sun, D.-W. (2013a). Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: A review — Part I: Fundamentals. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.014>
- Wu, D., & Sun, D.-W. (2013b). Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: A review — Part

II: Applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 15-28.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.016>

Wu, J. M.-T., Tsai, M.-H., Huang, Y. Z., Islam, S. H., Hassan, M. M., Alelaiwi, A., & Fortino, G. (2019). Applying an ensemble convolutional neural network with Savitzky–Golay filter to construct a phonocardiogram prediction model. *Applied Soft Computing*, 78, 29-40.

## **DEDICATORIA**

Dedico mi tesis en primer lugar a Dios, por darme la fortaleza y conocimientos necesarios para seguir adelante en este camino.

Con inmenso cariño y gratitud, dedico también este logro a mi madre, Marilú Carrión Velásquez, y a mi padre, Francisco García Ruíz, por su constante apoyo moral y económico, y por ser mi ejemplo de esfuerzo, compromiso y amor incondicional.

A mis hermanos, por estar presentes con su afecto y palabras de aliento en cada paso. Y de manera muy especial, a mi hermano Briseño García Carrión, por su respaldo económico, su confianza y por creer firmemente en mí, incluso en los momentos más difíciles.

## **FLOR GARCIA CARRION**

La culminación de esta etapa de mi vida no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de las dos personas más importantes que tengo, mis padres, Zarela Iparraguirre Neyra y Daniel Caucha Román, por haberme enseñado siempre el valor del esfuerzo, por no dudar de mi capacidad y confiar siempre en mí, a pesar de los altibajos que se presentaron en el camino. A mis hermanos y hermanas por su apoyo constante, su comprensión durante estos años de estudio, compañeros de vida que siempre me hicieron mantener el ánimo arriba durante este proceso y finalmente a mi novia por estar siempre a mi lado, apoyándome y escuchándome durante los momentos de crisis. A todos ellos va dedicado esto.

## **JORGE LUIS CAUCHA IPARRAGUIRRE**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional de Jaén por haber permitido formar parte de su comunidad universitaria, así como también a los docentes que nos proporcionaron sus conocimientos y apoyo, que el día de hoy se refleja en la culminación de nuestro paso por la universidad.

A los asesores de tesis Dr. Frank Fernández Rosillo y al Dr. Lenin Quiñones Huatangari por habernos guiado, brindando sus aportes y sus conocimientos para desarrollar de manera satisfactoria este proyecto.

## ANEXOS

### Anexo 1. Galería de fotos: Proceso de secado

*Recepción de materia prima*



*Pesado de muestra*



*Distribución de muestra en rejillas*



*Colocación de rejilla a estufa*



*Secado en estufa*



**Anexo 2.** *Galería de fotos: Proceso de medición de porcentaje de humedad*

Adición de muestra



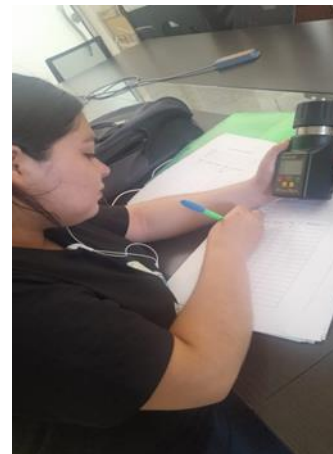
Medición de humedad



Resultados de humedad



Registro de datos



Anexo 3. Galería de fotos: Análisis sensorial

Recepción de materia prima



Pilado



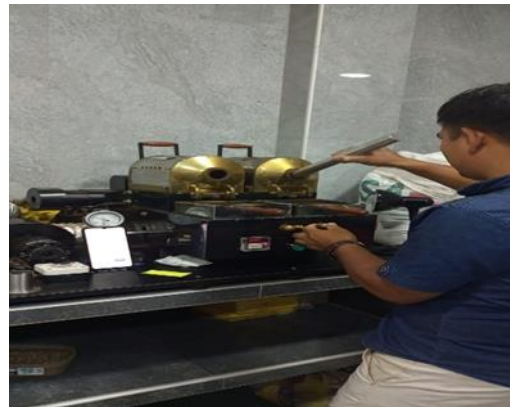
Trillado



Pesado



Tostado



Reposo



Pesado



Molido



Preparación de muestra



Romper costra



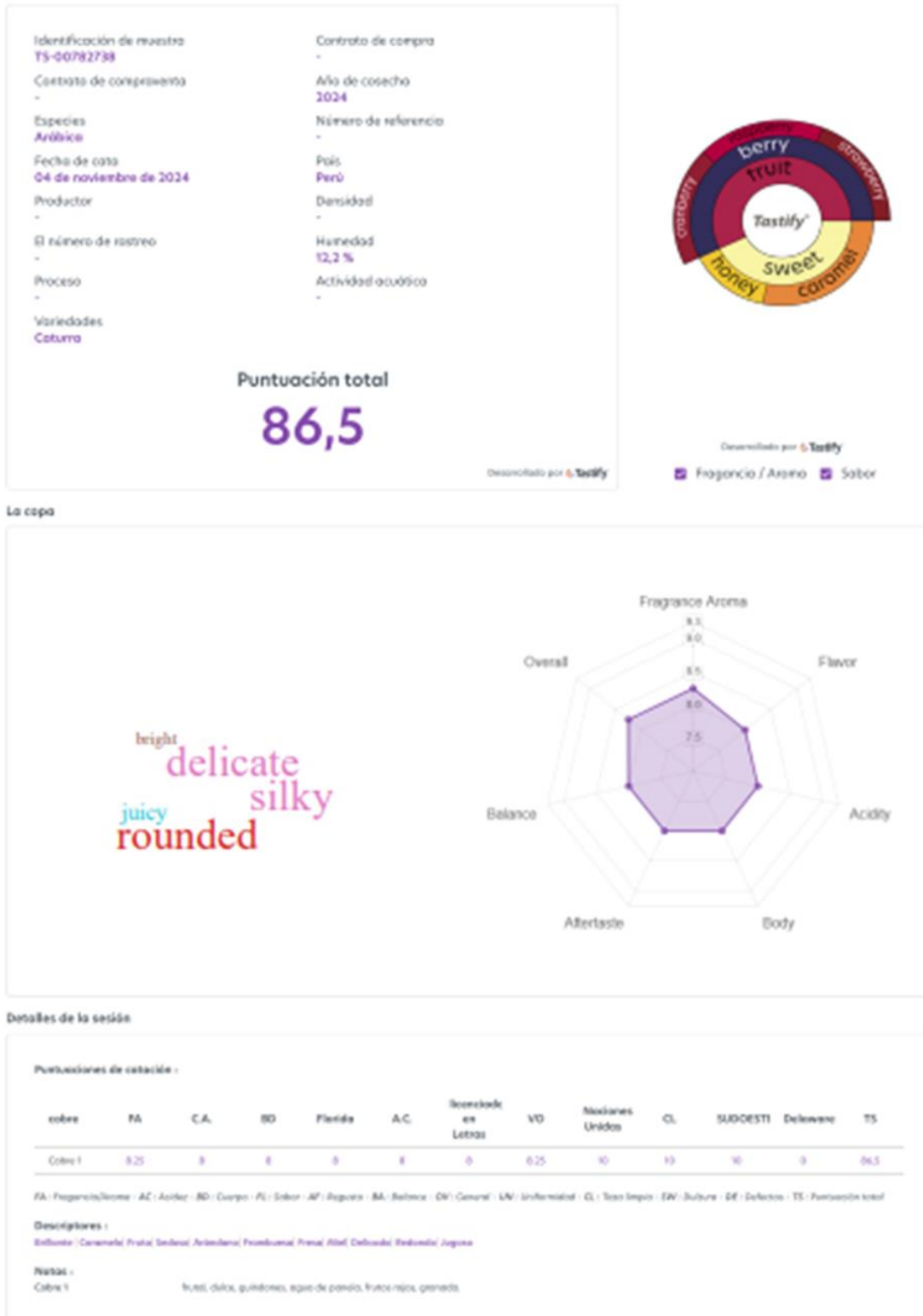
Catación



Registro de valores



## Anexo 4: Ficha de Reporte Tastify



**Anexo 5: Galería de fotos: Análisis fisicoquímico (pH-Brix)**

Ebullición de agua



Pesado de muestra



Instrumentos para filtrado



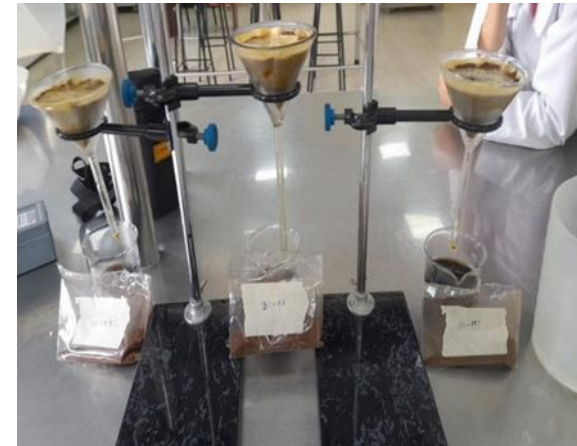
Adición de café en la porta filtro



Adición de agua caliente



Filtrado



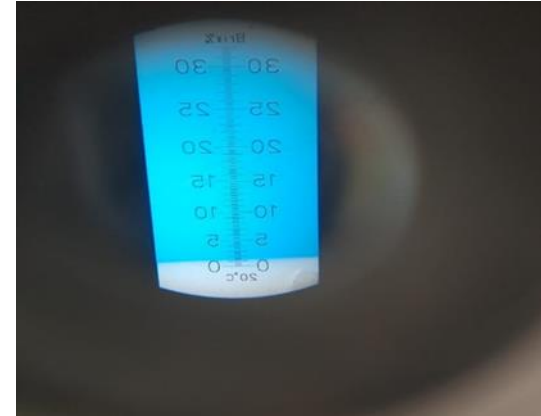
Instrumento de medición-Brixometro



Medición de brix



Resultados



Instrumento de medición- pH-metro



Medición de pH



Resultados



**Anexo 6:** *Galería de fotos: Proceso de toma de imágenes hiperespectrales*

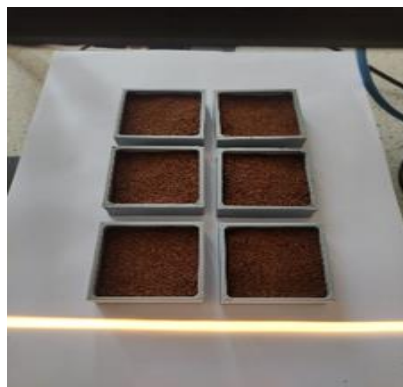
Recepción de muestras



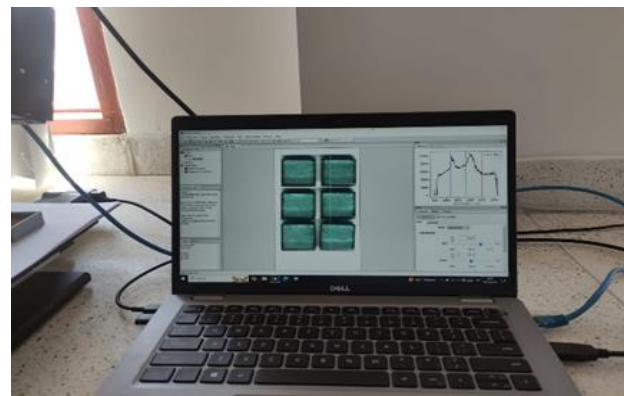
Toma de imágenes hiperespectrales



Sub muestras



Resultados

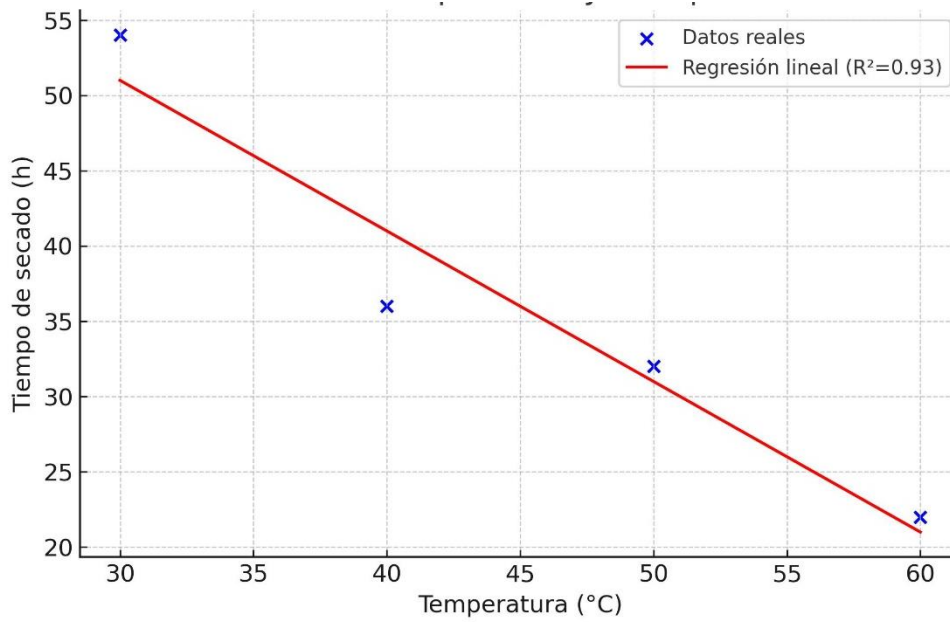


**Anexo 7. Estadística descriptiva e inferencial para la cinética de secado**

*Estadística descriptiva de los parámetros cinéticos*

Variable	Media	Mediana	Desviación estándar	Rango
Tiempo de secado (h)	36.00	34.00	13.37	32.00
Humedad equilibrio (%)	12.05	12.10	0.26	0.60

*Estadística inferencial de la cinética de secado (relación entre temperatura y tiempo de secado)*



**Anexo 8. Estadística descriptiva e inferencial para el análisis sensorial**

```
import pandas as pd
import scipy.stats as stats
# Datos de los puntajes en taza para cada temperatura
datos = {
    "30°C": [84.04, 81.29, 84.29],
    "40°C": [84.46, 81.83, 84.21],
    "50°C": [83.46, 82.79, 84.54],
    "60°C": [84.17, 81.29, 84.33] }
# Crear DataFrame
df = pd.DataFrame(datos, index=["Promedio R1", "Promedio R2", "Promedio R3"])
# Calcular estadísticas descriptivas
estadisticas_descriptivas = df.describe()
# Calcular desviaciones estándar para cada temperatura
desviaciones_estandar = df.std()
# Prueba de ANOVA para ver si hay diferencias significativas entre las temperaturas
f_stat, p_value = stats.f_oneway(df["30°C"], df["40°C"], df["50°C"], df["60°C"])
# Resultados
estadisticas_descriptivas, desviaciones_estandar, f_stat, p_value
Resultado
(    30°C   40°C   50°C   60°C
count  3.000000  3.000000  3.000000  3.000000
mean  83.206667  83.500000  83.596667  83.263333
std   1.664582  1.451654  0.882968  1.710828
min   81.290000  81.830000  82.790000  81.290000
25 %  82.665000  83.020000  83.125000  82.730000
50 %  84.040000  84.210000  83.460000  84.170000
75 %  84.165000  84.335000  84.000000  84.250000
max   84.290000  84.460000  84.540000  84.330000,
30°C  1.664582
40°C  1.451654
50°C  0.882968
60°C  1.710828
dtype: float64,
0.04867056766365871,
0.9847533388737745)
```

Valores estadísticos del puntaje en taza a diferentes temperaturas

Temperatura	Media (Puntaje en taza)	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
30°C	83.21	1.6646	81.29	84.29
40°C	83.50	1.4517	81.83	84.46
50°C	83.60	0.8830	82.79	84.54
60°C	83.26	1.7108	81.29	84.33

## Anexo 9. Estadística descriptiva e inferencial del análisis fisicoquímico

```
import pandas as pd
import scipy.stats as stats
# Crear un DataFrame con los datos
data = {
    "Temperatura (°C)": temperaturas,
    "pH": ph_values,
    "Desviación pH": ph_errors,
    "°Brix": brix_values,
    "Desviación °Brix": brix_errors
}
df = pd.DataFrame(data)
# Estadística descriptiva
descriptive_stats = df.describe()
# Prueba de normalidad (Shapiro-Wilk)
shapiro_ph = stats.shapiro(ph_values)
shapiro_brix = stats.shapiro(brix_values)

# Prueba ANOVA para pH y °Brix con respecto a la temperatura
anova_ph = stats.f_oneway(ph_values, temperaturas)
anova_brix = stats.f_oneway(brix_values, temperaturas)
# Guardar los resultados en un diccionario
stat_results = {
    "Shapiro-Wilk pH (W, p-valor)": shapiro_ph,
    "Shapiro-Wilk °Brix (W, p-valor)": shapiro_brix,
    "ANOVA pH (F, p-valor)": anova_ph,
    "ANOVA °Brix (F, p-valor)": anova_brix,
}
# Mostrar tabla de estadística descriptiva
descriptive_stats, stat_results
esultado
(   Temperatura (°C)   pH   Desviación pH   °Brix   Desviación °Brix
count      4.000000  4.0000  4.000000  4.000000    4.000000
mean       45.000000  4.8975   0.058975  1.335000    0.191500
std        12.909944  0.0263   0.012840  0.104083    0.085194
min         30.000000  4.8600   0.040600  1.240000    0.064300
25 %       37.500000  4.8900   0.055300  1.247500    0.185200
50 %       45.000000  4.9050   0.062850  1.335000    0.228350
75 %       52.500000  4.9125   0.066525  1.422500    0.234650
max         60.000000  4.9200   0.069600  1.430000    0.245000,
{'Shapiro-Wilk pH (W, p-valor)': ShapiroResult(statistic=0.88691246509552,
pvalue=0.36899980902671814),
```

'Shapiro-Wilk °Brix (W, p-valor)': ShapiroResult(statistic=0.776482343673706, pvalue=0.06629962474107742),

'ANOVA pH (F, p-valor)': F\_onewayResult(statistic=38.5968919728984, pvalue=0.000802825334439811),

'ANOVA °Brix (F, p-valor)': F\_onewayResult(statistic=45.75619924704891,

*Valores estadísticos del pH y °Brix a diferentes temperaturas*

Parámetro	Temperatura (°C)	pH	Desviación pH	°Brix	Desviación °Brix
Media	45.00	4.8975	0.0590	1.335	0.1915
Desviación Estándar	12.91	0.0263	0.0128	0.1041	0.0852
Mínimo	30.00	4.86	0.0406	1.24	0.0643
Máximo	60.00	4.92	0.0696	1.43	0.2450

Se realizó una Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk), con la cual:

pH: W = 0.8869, p = 0.369, No se rechaza la hipótesis de normalidad

°Brix: W = 0.7765, p = 0.066, No se rechaza la hipótesis de normalidad

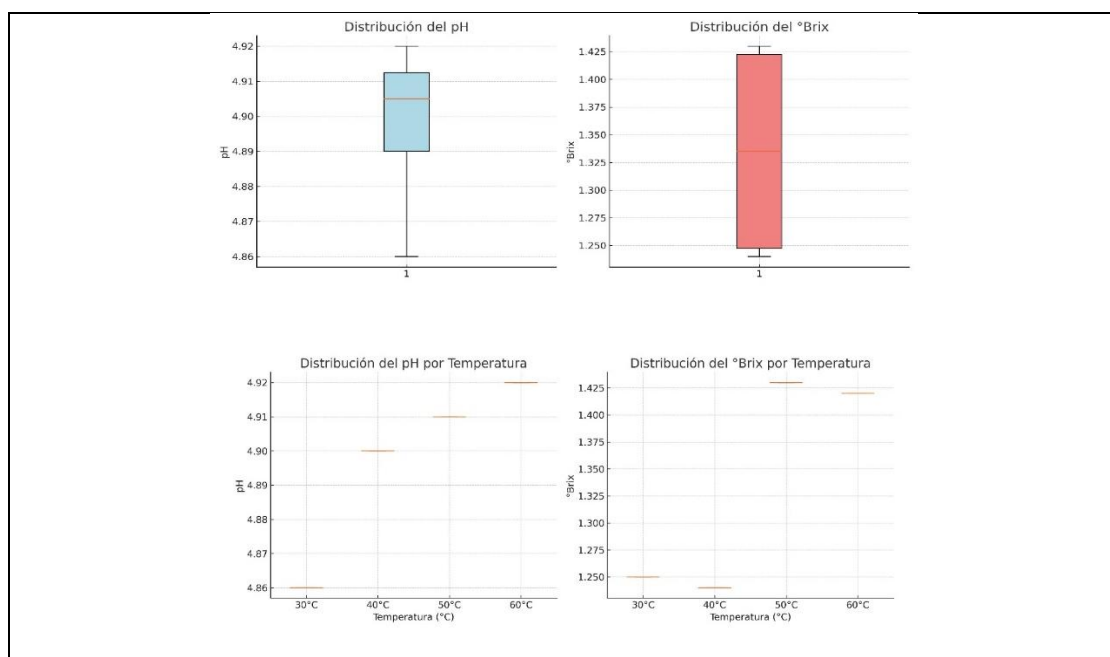
Prueba ANOVA

De la prueba tenemos:

pH: F = 38.60, p = 0.0008. Existe una diferencia significativa en los valores de pH entre temperaturas.

°Brix: F = 45.76, p = 0.0005. También hay diferencias significativas en °Brix según la temperatura.

*Boxplots de la distribución de los valores de pH y °Brix en el secado del café (Coffea arabica) var. Caturra*



**Anexo 10. Resultados de los tiempos de secado del café a 30, 40, 50 y 60 °C**

HORA	REPETICIÓN			PROM	DESV. EST	COEF. VARIAC
	R1	R2	R3			
8:10 a.m.	45.0%	45.0%	45.0%	45.0%	0	0
10:10 a.m.	23.9%	22.9%	24.7%	23.8%	0.0090185	0.037839858
12:10 p.m.	22.5%	22.7%	23.5%	22.9%	0.0052915	0.023106998
2:10 p.m.	21.5%	22.4%	22.9%	22.3%	0.0070946	0.031861971
4:10 p.m.	20.8%	22.2%	21.5%	21.5%	0.007	0.03255814
6:10 p.m.	20.2%	21.5%	20.8%	20.8%	0.00650641	0.031230754
8:10 p.m.	20.0%	21.0%	20.3%	20.4%	0.0051316	0.025113873
10:10 p.m.	19.6%	20.4%	19.7%	19.9%	0.0043589	0.021904015
12:10 a.m.	19.0%	20.0%	19.4%	19.5%	0.00503322	0.025855597
2:10 a.m.	18.7%	19.5%	19.0%	19.1%	0.00404145	0.021196426
4:10 a.m.	18.5%	18.9%	18.6%	18.7%	0.00208167	0.011151782
6:10 a.m.	18.3%	18.3%	18.2%	18.3%	0.00057735	0.003160677
8:10 a.m.	18.1%	17.9%	17.9%	18.0%	0.0011547	0.006426905
10:10 a.m.	18.0%	17.7%	17.4%	17.7%	0.003	0.016949153
12:10 p.m.	17.8%	17.2%	17.1%	17.4%	0.00378594	0.021800032
2:10 p.m.	17.2%	16.8%	16.8%	16.9%	0.0023094	0.013638195
4:10 p.m.	16.3%	16.3%	16.5%	16.4%	0.0011547	0.007055197
6:10 p.m.	16.0%	16.0%	16.2%	16.1%	0.0011547	0.007186933
8:10 p.m.	15.8%	15.7%	15.7%	15.7%	0.00057735	0.003669599
10:10 a.m.	15.5%	15.2%	15.2%	15.3%	0.00173205	0.011320594
12:10 p.m.	15.3%	14.6%	14.9%	14.9%	0.00351188	0.023517084
2:10 a.m.	14.9%	14.1%	14.4%	14.5%	0.00404145	0.027936303
4:10 a.m.	14.6%	13.8%	15.1%	14.5%	0.00655744	0.045223714
6:10 a.m.	14.0%	13.5%	14.7%	14.1%	0.00602771	0.042851046
8:10 a.m.	13.7%	13.2%	13.9%	13.6%	0.00360555	0.026511406
10:10 p.m.	13.1%	12.8%	13.1%	13.0%	0.00173205	0.013323468
12:10 p.m.	12.6%	12.5%	12.8%	12.6%	0.00152753	0.012091229
2:10 p.m.	12.0%	12.2%	12.4%	12.2%	0.002	0.016393443

HORA	REPETICIÓN			PROM	DESV. EST	COEF. VARIAC
	R1	R2	R3			
08:25 a.m.	0	0.45	0.45	0.45	45.00	0.0000
10:25 a.m.	2	0.23	0.23	0.23	22.97	0.0038
12:25 p.m.	4	0.22	0.22	0.21	21.73	0.0046
02:25 p.m.	6	0.21	0.21	0.21	20.93	0.0042
04:25 p.m.	8	0.20	0.21	0.20	20.23	0.0042
06:25 p.m.	10	0.20	0.20	0.20	19.77	0.0038
08:25 p.m.	12	0.19	0.19	0.19	19.03	0.0035
10:25 p.m.	14	0.18	0.19	0.18	18.37	0.0025
12:25 a.m.	16	0.18	0.18	0.18	17.80	0.0010
02:25 a.m.	18	0.17	0.17	0.17	17.23	0.0021
04:25 a.m.	20	0.17	0.17	0.17	16.70	0.0026
06:25 a.m.	22	0.16	0.17	0.16	16.13	0.0058
08:25 a.m.	24	0.15	0.16	0.15	15.67	0.0064
10:25 a.m.	26	0.15	0.16	0.15	15.27	0.0055
12:25 p.m.	28	0.15	0.15	0.14	14.83	0.0051
02:25 p.m.	30	0.14	0.15	0.14	14.33	0.0035
04:25 p.m.	32	0.14	0.14	0.14	13.87	0.0023
06:25 p.m.	34	0.13	0.13	0.13	13.27	0.0012
08:25 p.m.	36	0.12	0.12	0.12	12.30	0.0010

30 °C						
HORA	REPETICIÓN			PROM	DESV. EST	COEF. VARIAC
	R1	R2	R3			
8:35 a.m.	45.0%	45.0%	45.0%	45.0%	0.00000000	0
10:35 a.m.	23.5%	23.3%	23.5%	23.4%	0.0011547	0.004927598
12:35 p.m.	23.1%	23.1%	22.8%	23.0%	0.00173205	0.007530656
2:35 p.m.	22.0%	22.5%	22.2%	22.2%	0.00251661	0.011319092
4:35 p.m.	21.7%	21.8%	21.6%	21.7%	0.001	0.004608295
6:35 p.m.	20.4%	21.1%	20.1%	20.5%	0.0051316	0.024991565
8:35 p.m.	19.7%	19.2%	19.7%	19.5%	0.00288675	0.014778591
10:35 p.m.	18.9%	18.7%	19.1%	18.9%	0.002	0.010582011
12:35 a.m.	18.3%	17.6%	18.2%	18.0%	0.00378594	0.020994116
2:35 a.m.	17.1%	16.9%	17.0%	17.0%	0.001	0.005882353
4:35 a.m.	16.7%	16.5%	16.3%	16.5%	0.002	0.012121212
6:35 a.m.	16.0%	15.8%	15.4%	15.7%	0.00305505	0.019417694
8:35 a.m.	15.4%	14.6%	14.8%	14.9%	0.00416333	0.027879455
10:35 a.m.	14.6%	14.0%	14.2%	14.3%	0.00305505	0.021413905
12:35 p.m.	13.8%	13.1%	13.7%	13.5%	0.00378594	0.027974918
2:35 p.m.	13.1%	12.6%	12.7%	12.8%	0.00264575	0.020669932
4:35 p.m.	12.1%	11.9%	12.0%	12.0%	0.001	0.008333333

La temperatura de secado de 50 °C se tardó 32 horas para llegar a la humedad requerida

40 °C						
HORA	REPETICIÓN			PROM	DESV. EST	COEF. VARIAC
	R1	R2	R3			
8:50 a.m.	45.0%	45.0%	45.0%	45.0%	0	0
10:50 a.m.	25.1%	23.0%	23.1%	23.7%	0.01184624	0.04991392
12:50 p.m.	22.2%	21.8%	21.8%	21.9%	0.0023094	0.010529184
2:50 p.m.	19.7%	20.5%	20.2%	20.1%	0.00404145	0.020073437
4:50 p.m.	18.2%	18.6%	19.0%	18.6%	0.004	0.021505376
6:50 p.m.	16.9%	17.9%	18.4%	17.7%	0.00763763	0.04306932
8:50 p.m.	16.2%	16.5%	17.3%	16.7%	0.00568624	0.034117444
10:50 p.m.	15.7%	15.3%	15.8%	15.6%	0.00264575	0.016959944
12:50 a.m.	14.9%	14.9%	14.8%	14.9%	0.00057735	0.003883522
2:50 a.m.	14.5%	14.6%	14.5%	14.5%	0.00057735	0.003972594
4:50 a.m.	13.3%	13.0%	13.1%	13.1%	0.00152753	0.011630903
6:50 a.m.	11.9%	11.6%	11.6%	11.7%	0.00173205	0.014803853

La temperatura de secado de 60 °C se tardó 22 horas en llegar a la humedad requerida

50 °C						
-------	--	--	--	--	--	--

60 °C						
-------	--	--	--	--	--	--

### Anexo 11. Datos para construcción de curvas de velocidad de secado

Datos para construcción de curva de velocidad de secado a 30 °C					
N°	t(h)	Peso (g)	Humedad en base húmeda	Humedad libre	Tasa de secado
				(Xbh - Xe)	XI2-XI1/t2-t1
1	0	45.00	0.4500	0.3280	0.1058
2	2	23.83	0.2383	0.1163	0.0047
3	4	22.90	0.2290	0.1070	0.0032
4	6	22.27	0.2227	0.1007	0.0038
5	8	21.50	0.2150	0.0930	0.0033
6	10	20.83	0.2083	0.0863	0.0020
7	12	20.43	0.2043	0.0823	0.0027
8	14	19.90	0.1990	0.0770	0.0022
9	16	19.47	0.1947	0.0727	0.0020
10	18	19.07	0.1907	0.0687	0.0020
11	20	18.67	0.1867	0.0647	0.0020
12	22	18.27	0.1827	0.0607	0.0015
13	24	17.97	0.1797	0.0577	0.0013
14	26	17.70	0.1770	0.0550	0.0017
15	28	17.37	0.1737	0.0517	0.0022
16	30	16.93	0.1693	0.0473	0.0028
17	32	16.37	0.1637	0.0417	0.0015
18	34	16.07	0.1607	0.0387	0.0017
19	36	15.73	0.1573	0.0353	0.0022
20	38	15.30	0.1530	0.0310	0.0018
21	40	14.93	0.1493	0.0273	0.0023
22	42	14.47	0.1447	0.0227	0.0015
23	44	14.17	0.1417	0.0197	0.0005
24	46	14.07	0.1407	0.0187	0.0023
25	48	13.60	0.1360	0.0140	0.0030
26	50	13.00	0.1300	0.0080	0.0018
27	52	12.63	0.1263	0.0043	0.0022
28	54	12.20	0.1220	0.0000	#i REF!
Xe		0.1220			

Datos para construcción de curva de velocidad de secado a 40 °C					
N°	t(h)	Peso (g)	Humedad en base húmeda	Humedad libre	Tasa de secado
				X libre (Xbh - Xe)	XI2-XI1/t2-t1
1	0	45.00	0.4500	0.3270	0.1102
2	2	22.97	0.2297	0.1067	0.0062
3	4	21.73	0.2173	0.0943	0.0040
4	6	20.93	0.2093	0.0863	0.0035
5	8	20.23	0.2023	0.0793	0.0023
6	10	19.77	0.1977	0.0747	0.0037
7	12	19.03	0.1903	0.0673	0.0033
8	14	18.37	0.1837	0.0607	0.0028
9	16	17.80	0.1780	0.0550	0.0028
10	18	17.23	0.1723	0.0493	0.0027
11	20	16.70	0.1670	0.0440	0.0028
12	22	16.13	0.1613	0.0383	0.0023
13	24	15.67	0.1567	0.0337	0.0020
14	26	15.27	0.1527	0.0297	0.0022
15	28	14.83	0.1483	0.0253	0.0025
16	30	14.33	0.1433	0.0203	0.0023
17	32	13.87	0.1387	0.0157	0.0030
18	34	13.27	0.1327	0.0097	0.0048
19	36	12.30	0.1230	0.0000	#i REF!
Xe		0.1230			

Datos para construcción de curva de velocidad de secado a 50 °C					
N°	t(h)	Peso (g)	Humedad en base húmeda	Humedad libre	Tasa de secado
				X libre (Xbh - Xe)	XI2-XI1/t2-t1
1	0	45.00	0.4500	0.3300	0.1078
2	2	23.43	0.2343	0.1143	0.0022
3	4	23.00	0.2300	0.1100	0.0038
4	6	22.23	0.2223	0.1023	0.0027
5	8	21.70	0.2170	0.0970	0.0058
6	10	20.53	0.2053	0.0853	0.0050
7	12	19.53	0.1953	0.0753	0.0032
8	14	18.90	0.1890	0.0690	0.0043
9	16	18.03	0.1803	0.0603	0.0052
10	18	17.00	0.1700	0.0500	0.0025
11	20	16.50	0.1650	0.0450	0.0038
12	22	15.73	0.1573	0.0373	0.0040
13	24	14.93	0.1493	0.0293	0.0033
14	26	14.27	0.1427	0.0227	0.0037
15	28	13.53	0.1353	0.0153	0.0037
16	30	12.80	0.1280	0.0080	0.0040
17	32	12.00	0.1200	0.0000	#i REF!
Xeq		0.1200			

Datos para construcción de curva de velocidad de secado a 60 °C					
N°	t(h)	Peso (g)	Humedad en base húmeda	Humedad libre	Tasa de secado
				X libre (Xbh - Xe)	XI2-XI1/t2-t1
1	0	45.00	0.4500	0.3330	0.1063
2	2	23.73	0.2373	0.1203	0.0090
3	4	21.93	0.2193	0.1023	0.0090
4	6	20.13	0.2013	0.0843	0.0077
5	8	18.60	0.1860	0.0690	0.0043
6	10	17.73	0.1773	0.0603	0.0053
7	12	16.67	0.1667	0.0497	0.0053
8	14	15.60	0.1560	0.0390	0.0037
9	16	14.87	0.1487	0.0317	0.0017
10	18	14.53	0.1453	0.0283	0.0070
11	20	13.13	0.1313	0.0143	0.0072
12	22	11.70	0.1170	0.0000	#i REF!
Xeq		0.1170			

**Anexo 12. Resultados de pH**

TEMPERATURA	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DEV. ESTANDAR	COEF. VARIACION
	T1	T2	T3			
30 °C	4.810	4.939	4.829	4.86	0.069644335	0.014332076
40 °C	4.848	4.966	4.886	4.90	0.060232881	0.012292425
50 °C	4.863	4.944	4.908	4.91	0.040583248	0.008273853
60 °C	4.979	4.934	4.850	4.92	0.065475186	0.01330526

**Anexo 13. Resultados de Brix**

TEMPERATURA	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DEV. ESTANDAR	COEF. VARIACION
	T1	T2	T3			
30 °C	1.25	1.01	1.50	1.25	0.245017006	0.195492292
40 °C	1.27	1.46	1.00	1.24	0.231156513	0.185916766
50 °C	1.40	1.50	1.38	1.43	0.064291005	0.045063789
60 °C	1.40	1.65	1.20	1.42	0.225462488	0.159149991

Anexo 14. Códigos para análisis sensorial

TEMPERATURA	REPETICION	CÓDIGO
30	1	X12Tc
	2	W21Ud
	3	T33Px
40	1	C11jS
	2	A22wT
	3	P32dH
50	1	H01ÑP
	2	G00MS
	3	E43FZ
60	1	y10WQ
	2	u80BK
	3	a35RM

Anexo 15. Resultados de análisis sensorial de 30°C

T°	30 °C	PERFILES DE PÉRDIDA DE ATRIBUTOS																					
		R1							R2							R3							
		N°	Atributos	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)
1	Fragancia/roma	8	8	7.5	7.75	7.75	8	7.83	7.25	7	7	7.25	7.75	7.25	7.3	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75
2	Sabor	7.75	7.75	7.75	7.25	7.5	8	7.67	7.25	7	7.5	7.25	7.25	7.25	7.3	7.75	7.5	8	7.75	7.75	8	7.75	7.79
3	Sabor residual	7.75	7.75	7.75	7.75	7.25	7.25	7.58	7.5	7	7.5	7.25	7.25	7	7.3	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	8	7.75	7.79
4	Acidez	7.75	8	7.5	7.75	7.5	8	7.75	7.25	7.25	7.5	7.5	7.25	7.75	7.4	7.75	7.75	8	7.75	6	8	7.75	7.54
5	Cuerpo	7.75	8	7.5	7.75	7.25	8	7.71	7.25	7.25	7.5	7.5	7.25	7.75	7.4	7.75	7.75	7.5	7.75	7.75	8	7.75	7.75
6	Uniformidad	10	8	10	10	10	10	9.67	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10	10.00
7	Balance	7.75	10	7.75	7.75	7.25	7.5	8.00	7.5	7.25	7	7.5	7.5	7.25	7.3	7.75	7.75	7.75	8	7.5	7.75	7.75	7.75
8	Taza limpia	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10	10.00
9	Dulzor	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10	10.00
10	Puntaje del catador	7.75	8	8.25	7.75	7.25	8	7.83	7	7.25	8	7.25	7.5	7.25	7.4	7.75	7.75	8	8	7.75	8.25	7.75	7.92
	TOTAL	84.5	85.5	84	83.75	81.75	84.75	84.04	81	80	82	81.50	81.75	81.50	81.3	84.25	84	84.75	84.75	82.25	85.75	84.29	

Anexo 16. Resultados de análisis sensorial de 40°C

T°	40 °C	PERFILES DE PÉRDIDA DE ATRIBUTOS																					
		R1							R2							R3							
N°	Atributos	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	
1	Fragancia/aroma	8.25	8.25	8	7.75	7.75	8	8.0	7.5	7.5	7.5	7.5	7.75	7.5	7.54	8	7.75	7.5	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75
2	Sabor	8	8	7.75	7.5	7.5	7.25	7.7	7.5	7.5	7.25	7	7.5	7.25	7.33	8	7.75	7.5	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75
3	Sabor residual	8	8	7.75	7.25	7.5	7.25	7.6	7.5	7.5	7.5	7	7.25	7.25	7.33	7.75	7.75	7.5	7.75	7.5	7.75	7.75	7.67
4	Acidez	8	8	8	7.75	7.5	8	7.9	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.25	7.46	7.75	7.75	8	7.75	7.75	7.75	7.75	7.79
5	Cuerpo	8	7.75	7.75	7.75	7.5	8	7.8	7.5	7.5	7.5	7.5	7.25	7.25	7.42	7.75	7.75	8	7.75	7.5	7.5	7.5	7.71
6	Uniformidad	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10	10.00
7	Balance	8	7.75	7.75	7.75	7.5	7.5	7.7	7.5	7.5	7.5	7.25	7.25	7.25	7.38	7.75	7.75	8	7.75	7.5	7.75	7.75	7.75
8	Taza limpia	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10	10.00
9	Dulzor	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10	10.00
10	Puntaje del catador	8.25	7.75	8.5	7.5	7.5	7.25	7.8	7.5	7.5	7.5	7.25	7.25	7.25	7.38	8	8	8.25	7.5	7.5	7.5	7.5	7.79
	TOTAL	86.5	85.5	85.5	83.25	82.75	83.25	84.5	82.5	82.5	82.25	81.00	81.75	81.00	81.83	85	84.5	84.75	84	83.25	83.75	83.75	84.21

Anexo 17. Resultado de análisis sensorial de 50°C

T°	50 °C	PERFILES DE PÉRDIDA DE ATRIBUTOS																				
		R1							R2							R3						
N°	Atributos	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO
1	Fragancia/aroma	7.75	7.75	7.5	7.5	7.75	7.75	7.67	7.75	7.5	7	7.75	7.75	7.5	7.5	8	8	7.5	7.75	7.75	7.75	7.79
2	Sabor	7.75	7.5	7.5	7.75	7.75	7.75	7.67	7.75	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	8	8	7.75	7.75	7.75	7.75	7.83
3	Sabor residual	7.25	7.5	7.5	7.5	7.75	7.75	7.54	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7	7.4	7.75	8	7.75	7.75	7.5	8	7.79
4	Acidez	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.75	7.5	7.75	8	7.5	7.5	7.5	7.6	7.75	7.75	7.5	7.75	7.75	7.5	7.67
5	Cuerpo	7.5	7.5	7.75	7.75	7.5	7.75	7.63	7.5	7.75	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.75	8	7.75	7.75	7.5	7.75	7.75
6	Uniformidad	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10.00
7	Balance	7.5	7.5	7.5	7.75	7.5	7.75	7.58	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.75	8	7.75	7.75	7.5	7.75	7.75
8	Taza limpia	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10.00
9	Dulzor	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.0	10	10	10	10	10	10	10.00
10	Puntaje del catador	7.5	7.5	8	7.5	7.5	7.75	7.63	7.5	7.5	8	7.75	7.5	7.5	7.6	8	8	8.5	7.75	7.75	7.75	7.96
	TOTAL	83	83	83.5	83.5	83.5	84.25	83.46	83	83	83	83.00	82.75	82.00	82.79	85	85.75	84.5	84.25	83.5	84.25	84.54

Anexo 18. Resultado de análisis sensorial de 60°C

T°	60 °C	PERFILES DE PÉRDIDA DE ATRIBUTOS																				
		R1							R2							R3						
N°	Atributos	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO	CAT. 1 (Elton)	Cat. 2 (Alex)	Cat. 3 (Agenor)	CAT. 4 (Elias)	Cat. 5 (Miguel)	Cat. 6 (Yulisa)	PROMEDIO
1	Fragancia/roma	8	8.25	7.5	7.75	7.5	7	7.67	7.5	7.5	7	7.5	7.75	7.5	7.46	8	8	8	7.75	7.75	8	7.92
2	Sabor	8	8	7.5	7.5	7.5	7	7.58	7.5	7.25	7.25	7.25	7.5	7	7.29	8	8	7.5	7.75	7.75	7.5	7.75
3	Sabor residual	8	8	8	7.25	7.5	8	7.79	7.5	7.25	7.25	7.25	7.25	7	7.25	7	7.75	7.5	7.75	7.5	7.75	7.54
4	Acidez	8	8.25	8.25	7.5	7.5	8	7.92	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.25	7.46	8	8	8	7.5	7.75	7	7.71
5	Cuerpo	8	8	8.25	7.5	7.5	8	7.88	7.5	7.5	7	7.75	7.25	7.25	7.38	8	7.75	8	7.5	7.75	7.25	7.71
6	Uniformidad	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.00
7	Balance	8	8	8	7.5	7.5	7	7.67	7.5	7.5	7	7.25	7.5	7	7.29	8	7.75	8.5	7.5	7.75	7.75	7.88
8	Taza limpia	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.00
9	Dulzor	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.00	10	10	10	10	10	10	10.00
10	Puntaje del catador	8	8	8	7.5	7.5	7	7.67	7.25	7.5	7	7	7.25	7	7.17	8	7.75	8.25	7.5	7.75	7.75	7.83
	TOTAL	86	86.5	85.5	82.5	82.5	82	84.17	82.25	82	80	81.50	82.00	80.00	81.29	85	85	85.75	83.25	84	83	84.33

Anexo 19. Resultado de ficha SCAA

La Asociación de cafés especiales de América Formulario de catación

Nombre: ALEX SANCHEZ MALCA Fecha: 04/10/24

Sección 2. Autofis

Clasificación				
6.00 - Buena	7.00 - Muy Buena	8.00 - Excelente	9.00 - Extraordinaria	
6.25	7.25	8.25	9.25	
6.50	7.50	8.50	9.50	
6.75	7.75	8.75	9.75	

Muestra # <u>CA43FZ</u>	Café de muestra	Fragancia/Aroma <u>8</u>	Sabor <u>8</u>	Acidez <u>7.75</u>	Cuerpo <u>8</u>	Uniformidad <u>10</u>	Taza Limpia <u>10</u>	Puntaje Catación <u>8</u>	Suma <u>85</u>	
		Seco: <u>Floral</u> Caramelado: <u>Miel</u> Espuma:	Sabor Residual <u>8</u> Intensidad Alto: <u>delicado</u> Intensidad Bajo:	Intensidad Alto: <u>delicado</u> Intensidad Bajo:	Intensidad Alto: <u>sedoso</u> Intensidad Bajo: <u>sedoso</u>	Balance <u>8</u>	Dulzor <u>10</u>	Defectos (sustraer) Ligeros=2 # Tacos Intensidad Rechazos=4 <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> =		
		Notas: <u>Miel, panela, Huevo base Algorobina, caramelo. Henta, final Prolongado agradable.</u>								Puntaje Final <u>85.75</u>
Muestra # <u>W2YUD</u>	Café de muestra	Fragancia/Aroma <u>7</u>	Sabor <u>7</u>	Acidez <u>7.25</u>	Cuerpo <u>7.25</u>	Uniformidad <u>10</u>	Taza Limpia <u>10</u>	Puntaje Catación <u>7.25</u>	Suma <u>80</u>	
		Seco: <u>Herbal</u> Caramelado: <u>Papa</u> Espuma:	Sabor Residual <u>7</u> Intensidad Alto: <u>suave</u> Intensidad Bajo:	Intensidad Alto: <u>leve</u> Intensidad Bajo:	Balance <u>7.25</u>	Dulzor <u>10</u>	Defectos (sustraer) Ligeros=2 # Tacos Intensidad Rechazos=4 <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> =			
		Notas: <u>Papa, madera, cereal, Paja seca. base a Chocolate, tabaco. Pos gusto Astringente Henta</u>								Puntaje Final <u>80</u>
Muestra # <u>AS3RH</u>	Café de muestra	Fragancia/Aroma <u>8</u>	Sabor <u>8</u>	Acidez <u>8</u>	Cuerpo <u>7.75</u>	Uniformidad <u>10</u>	Taza Limpia <u>10</u>	Puntaje Catación <u>7.75</u>	Suma <u>85</u>	
		Seco: <u>Floral</u> Caramelado: <u>Limon</u> Espuma:	Sabor Residual <u>7.75</u> Intensidad Alto: <u>pirotado</u> Intensidad Bajo:	Intensidad Alto: <u>cremoso</u> Intensidad Bajo:	Balance <u>7.75</u>	Dulzor <u>10</u>	Defectos (sustraer) Ligeros=2 # Tacos Intensidad Rechazos=4 <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> =			
		Notas: <u>Limon Jonez a caramelo, base a Algorobina. Henta. final dulce.</u>								Puntaje Final <u>85</u>

10 de septiembre 2013





Anexo 22. Resultados de análisis sensorial de catador 03

La Asociación de cafés especiales de América Formulario de catación

Nombre: ALEX ESPINER HALLA

Fecha: 04/10/24

Clasificación: Arabica

Mostrador: USO BK

Nota: Fufo, fufu, hincado, Chocolate toques, Sreales final corto

Puntaje Final: 87

---

La Asociación de cafés especiales de América Formulario de catación

Nombre: ALEX SANCHEZ HALLA

Fecha: 04/10/24

Clasificación: Arabica

Mostrador: Y 101

Nota: el Hople, avco, jels, base a base dar vino, final dulce especiada

Puntaje Final: 86.5

---

La Asociación de cafés especiales de América Formulario de catación

Nombre: ALEX SANCHEZ HALLA

Fecha: 04/10/24

Clasificación: Arabica

Mostrador: SH 009

Nota: Torajo, cianito, chocolate, nota naranja, final corto chico

Puntaje Final: 83



Anexo 24. Resultados de análisis sensorial de catador 05

