

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE DESARROLLO AGROPECUARIO
INGENIERIA EN AGRONEGOCIOS Y DESARROLLO
AGROPECUARIO

**EL PERFIL DE TUESTE COMO FACTOR DIFERENCIADOR EN LA
EXPRESIÓN SENSORIAL DEL CAFÉ DE ESPECIALIDAD (*COFFEA*
ARABICA L.) DE BOQUETE, PANAMÁ, A PARTIR DE LA
EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS VARIEDADES *TYPICA* Y
CATUAÍ. ASPECTOS ESTADÍSTICOS RELEVANTES (2020–2025).**

CRISTELL GUEVARA SAMUDIO
4-827-2417

DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2026

**EL PERFIL DE TUESTE COMO FACTOR DIFERENCIADOR EN LA
EXPRESIÓN SENSORIAL DEL CAFÉ DE ESPECIALIDAD (COFFEA
ARABICA L.) DE BOQUETE, PANAMÁ, A PARTIR DE LA
EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LAS VARIEDADES TYPICA Y
CATUAÍ. ASPECTOS ESTADÍSTICOS RELEVANTES (2020–2025).**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERO EN AGRONEGOCIOS Y DESARROLLO
AGROPECUARIO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE DESARROLLO AGROPECUARIO**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

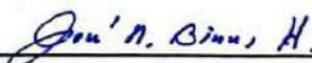
APROBADO:

MGTR. GERARDO SANDOYA



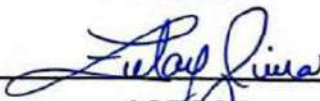
DIRECTOR

DR. JOSÉ R. BINNS



ASESOR

MGTR. ZULAY SUIRA



ASESOR

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2026

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación académica.

Expreso mi más sincero agradecimiento al profesor Gerardo Sandoya, director de esta tesis, por su dedicación, paciencia, orientación y compromiso durante todo el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos, recomendaciones y observaciones fueron fundamentales para fortalecer y culminar este trabajo.

De manera especial, agradezco al profesor José Ramón Binns, por su valiosa participación como asesor y por su constante disposición para orientar, revisar y aportar sus conocimientos durante el desarrollo de esta investigación. Su apoyo, sugerencias y experiencia fueron fundamentales para fortalecer este trabajo.

A la profesora Zulay Suira, le agradezco sinceramente por su apoyo, disposición y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación.

Extiendo mi agradecimiento al señor Francisco Serracín, por su colaboración durante el proceso de tueste y por compartir sus conocimientos y experiencia, fundamentales para el desarrollo práctico de esta investigación.

Finalmente, agradezco a los profesores del Departamento de Desarrollo Agropecuario, especialmente a Enrique Wedemeyer, Raynah Burke, Hipólito Solís y Roberto Atencio, por sus enseñanzas y aportes durante mi formación académica, así como a todas las personas que contribuyeron directa o indirectamente a la culminación de esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía, darme la fortaleza para superar cada desafío y permitirme alcanzar esta importante meta en mi vida.

A mi madre, Nurmi Estela Samudio, por su amor incondicional, sus sacrificios, su apoyo constante y por creer siempre en mí. Gracias por ser mi mayor inspiración y por acompañarme en cada paso de este camino.

A mi familia, por su cariño, comprensión y palabras de aliento durante este proceso. Este logro también les pertenece, porque su apoyo fue fundamental para hacerlo posible.

Con todo mi cariño y gratitud.

RESUMEN

Este estudio se enfoca en el perfil de tueste como factor diferenciador en la expresión sensorial del café de especialidad (*Coffea arabica* L.) de Boquete, Panamá, mediante la evaluación comparativa de las variedades Typica y Catuaí, con la aplicación de aspectos estadísticos relevantes durante el período 2020–2025. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y un alcance descriptivo-comparativo.

Se realizaron tres curvas de tueste para cada variedad, obteniéndose un total de seis perfiles evaluados mediante el protocolo de catación de la Specialty Coffee Association (SCA). Se analizaron atributos sensoriales como fragancia/aroma, sabor, resabio, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, limpieza de taza, dulzor y puntaje del catador, complementando los resultados con herramientas estadísticas para comparar el comportamiento de ambas variedades.

Los resultados mostraron que las seis muestras obtuvieron puntuaciones superiores a 87 puntos, clasificándose como cafés de especialidad. La variedad Typica alcanzó la mayor puntuación con 89.00 puntos en la Curva de Tueste #3, mientras que Catuaí obtuvo 88.50 puntos en la misma curva, evidenciando una mejora progresiva en la expresión sensorial conforme se ajustó el perfil de tueste.

Se concluye que el perfil de tueste influye significativamente en la expresión sensorial del café de especialidad, favoreciendo el desarrollo de atributos de calidad y permitiendo identificar perfiles de referencia que pueden contribuir a optimizar el proceso de tueste y fortalecer la producción de café de especialidad en Boquete, Panamá.

ABSTRACT

This study evaluated the roasting profile as a differentiating factor in the sensory expression of specialty coffee (*Coffea arabica* L.) from Boquete, Panama, through a comparative analysis of the Typica and Catuaí varieties. A quantitative approach with an experimental, descriptive-comparative design was employed. Three roasting curves were developed for each variety and evaluated using the Specialty Coffee Association (SCA) cupping protocol. All six samples scored above 87 points, confirming their classification as specialty coffee. Typica achieved the highest score (89.00) under Roasting Curve #3, while Catuaí reached 88.50 points with the same profile, demonstrating progressive sensory improvement as the roasting profile was optimized. The findings indicate that roasting profile significantly influences sensory quality and provides reference profiles that can enhance roasting practices and support the production of high-quality specialty coffee in Boquete, Panama.

Índice de contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Antecedentes.....	4
1.2.1 Evaluación sensorial de variedades de café arábica en Panamá (IDIAP).....	4
1.2.2 Determinación del perfil químico de los aromas del café de Panamá mediante técnicas analíticas avanzadas (UTP–SENACYT)	5
1.2.3 Modelo matemático para determinar la correlación entre parámetros fisicoquímicos y la calidad sensorial de café Geisha y Pacamara de Panamá.....	6
1.2.4 Influencia de las características del suelo sobre la calidad del café Geisha en Boquete, Panamá.....	7
1.3 Justificación.....	8
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo general.....	9
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
1.5 Hipótesis.....	10
1.6 Alcance y limitaciones del estudio.....	11
1.6.1 Alcance.....	11
1.6.2 Limitaciones.....	11
2. Revisión de literatura.....	14
2.1 El café (<i>Coffea arabica</i> L.).....	14
2.2 Café de especialidad.....	15

2.2.1 Concepto de café de especialidad.....	15
2.2.2 Evolución del café de especialidad.....	16
2.2.3 Criterios de la Specialty Coffee Association (SCA)	17
2.2.4 Sistema de puntuación del café de especialidad.....	18
2.2.5 Importancia del café de especialidad en Panamá.....	18
2.3 Producción de café en Panamá.....	19
2.3.1 Historia de la producción de café en Panamá.....	19
2.3.2 Producción actual de café en Panamá.....	20
2.3.3 Boquete como principal zona cafetalera.....	21
2.3.4 Café Geisha y otras variedades cultivadas en Panamá.....	22
2.3.5 Mercado internacional de café panameño.....	23
2.4 Variedades de café estudiadas.....	23
2.4.1 Variedad Typica.....	23
2.4.2 Variedad Catuai.....	25
2.4.3 Comparación entre las variedades Typica y Catuai.....	26
2.5 Beneficio lavado.....	27
2.5.1 Definición del beneficio lavado.....	27
2.5.2 Etapas del beneficio lavado.....	28
2.5.3 Influencia del beneficio lavado sobre la calidad del café.....	30
2.6 Proceso de tueste del café.....	31
2.6.1 Definición de tueste.....	31
2.6.2 Objetivos del tueste.....	32
2.6.3 Variables del proceso de tueste.....	32

2.7 Curva de tueste.....	34
2.7.1 ¿Qué es una curva de tueste?	34
2.7.2 Construcción de una curva de tueste.....	34
2.7.3 Variables que intervienen en una curva de tueste.....	35
2.7.4 Relación entre las curvas de tueste y la calidad sensorial.....	36
3. Materiales y métodos.....	38
3.1 Materiales.....	38
3.2 Métodos.....	39
3.3 Parámetros a evaluar.....	40
4. Resultados.....	44
4.1 Datos de tueste por variedad de café.....	44
4.1.1 Café Typica lavado (Primer tueste)	44
4.1.2 Café Typica lavado (Segundo tueste)	46
4.1.3 Café Typica lavado (Tercer tueste)	48
4.1.4 Café Catuaí lavado (Primer tueste)	50
4.1.5 Café Catuaí lavado (Segundo tueste)	52
4.1.6 Café Catuaí lavado (Tercer tueste)	54
4.2 Curvas de tueste.....	56
4.2.1 Typica lavado – Curva de tueste #1.....	56
4.2.2 Typica lavado – Curva de tueste #2.....	57
4.2.3 Typica lavado – Curva de tueste #3.....	58
4.2.4 Catuaí lavado – Curva de tueste #1.....	59
4.2.5 Catuaí lavado – Curva de tueste #2.....	60

4.2.6 Catuaí lavado – Curva de tueste #3.....	61
5. Discusión de resultados.....	63
5.1 Discusión de Curvas de tueste.....	63
5.1.1 Discusión de análisis sensorial de la variedad Typica lavado – Curva de Tueste #1...	63
5.1.2 Discusión de análisis sensorial de la variedad Typica lavado – Curva de Tueste #2...	64
5.1.3 Discusión de análisis sensorial de la variedad Typica lavado – Curva de Tueste #3...	65
5.1.4 Discusión de análisis sensorial de la variedad Catuaí lavado – Curva de Tueste #1...	66
5.1.5 Discusión de análisis sensorial de la variedad Catuaí lavado – Curva de Tueste #2...	68
5.1.6 Discusión de análisis sensorial de la variedad Catuaí lavado – Curva de Tueste #3...	69
5.1.7 Discusión de análisis general de las Curvas de tueste de las variedades Typica lavado y Catuaí lavado.....	71
5.2 Discusión de resultados estadísticos.....	74
5.2.1 Modelo Estadístico final basado en los seis escenarios evaluados.....	81
6. Conclusiones.....	84
7. Recomendaciones.....	88
8. Referencias bibliográficas.....	91
Anexos.....	95

Índice de Cuadros

Cuadro I. Correlaciones lineales de Pearson (r) entre tiempo y temperatura para las variedades de café y su respectivo proceso.....	74
Cuadro II. Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para cada uno de los lotes estudiados. Variable: Diferenciación	76
Cuadro III. Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para las variables Temperatura y Score.....	78
Cuadro III. Correlación y Ecuación de Regresión Lineal Simple con $Y=\text{Score}$ y $X=\text{Temperatura}$	79

Índice de Anexos

Anexo I. Datos estadísticos por tueste sobre Correlaciones lineales de Pearson (r) entre tiempo y temperatura para las variedades de café y su respectivo proceso.....	95
Anexo II. Datos estadísticos para Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para cada uno de los lotes estudiados. Variable: Diferenciación.....	101
Anexo III. Datos estadísticos para Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para las variables Temperatura y Score.....	103
Anexo IV. Datos estadísticos para Modelo Estadístico final basado en los seis escenarios evaluados.....	104
Anexo V. Tueste de café (Typica y Catuai).....	105
Anexo VI. Pesaje de Café posterior al tueste.....	106
Anexo VII. Mesa de Cata según protocolo de la SCA.....	106
Anexo VIII. Proceso de cata de las muestras de café.....	107

INTRODUCCIÓN

El café constituye uno de los productos agroindustriales de mayor importancia económica y social a nivel mundial, destacándose *Coffea arabica* por su calidad en mercados de cafés especiales. En Panamá, especialmente en Boquete, Chiriquí, las variedades Typica y Catuaí sobresalen por su adaptación y potencial sensorial.

La calidad en taza depende en gran medida del proceso de tueste, donde variables como el tiempo, la temperatura y el porcentaje de desarrollo influyen en atributos como aroma, acidez, cuerpo y balance. Sin embargo, la definición de perfiles de tueste suele basarse en criterios empíricos, con escaso respaldo estadístico.

Este estudio analiza el efecto de la interacción entre la variedad y el perfil de tueste sobre los atributos sensoriales de las variedades Typica y Catuaí. Para ello, se emplean análisis descriptivos, de correlación y regresión, además de evaluar la relación entre los parámetros físico-térmicos del tueste y los resultados de catación.

La investigación se limita a cafés producidos en Boquete durante el período 2020–2025 y a perfiles de tueste definidos experimentalmente, por lo que sus resultados son aplicables a condiciones similares, aunque la metodología puede servir de referencia para estudios futuros.

El principal aporte del estudio es generar evidencia científica que respalde la optimización de perfiles de tueste según la variedad, reduzca la subjetividad en la evaluación sensorial y fortalezca la competitividad del café de Boquete en mercados de especialidad.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento del problema

En el distrito de Boquete, provincia de Chiriquí, la producción de *Coffea arabica* se orienta cada vez más hacia mercados de cafés especiales, donde la diferenciación por atributos sensoriales constituye un factor determinante de competitividad. Entre las variedades cultivadas en la región, Typica y Catuaí destacan por su importancia productiva y su potencial en taza. Sin embargo, aunque la calidad sensorial del café se asocia frecuentemente a factores agronómicos y ambientales, el proceso de tueste representa una etapa crítica en la transformación del grano verde, ya que variables como el tiempo, la temperatura y el porcentaje de desarrollo influyen directamente en la expresión de atributos como acidez, cuerpo, aroma y balance.

A pesar de esta relevancia, la definición de perfiles de tueste suele realizarse de manera empírica, sin un análisis estadístico que permita evaluar la interacción entre la variedad y el tratamiento térmico aplicado, ni cuantificar la relación entre los parámetros físico-térmicos del tueste y los resultados obtenidos en cata. Esta situación limita la comprensión objetiva de qué factor (la variedad, el perfil de tueste o la combinación de ambos) determina las diferencias sensoriales observadas. En consecuencia, surge la necesidad de realizar un análisis estadístico que permita determinar el efecto de la interacción entre las variedades Typica y Catuaí y distintos perfiles de tueste sobre los atributos sensoriales del café cultivado en Boquete, generando evidencia cuantificable que contribuya a la optimización técnica del proceso de tueste.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Evaluación sensorial de variedades de café arábica en Panamá (IDIAP)

El Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), mediante el proyecto "Innovación Regenerativa y Resiliente para el Mejoramiento del Cultivo de Café frente al Cambio Climático", realizó una evaluación sensorial de 22 variedades de café arábica pertenecientes al banco de germoplasma de Río Sereno, en la provincia de Chiriquí. La investigación tuvo como propósito identificar materiales con mayor potencial para la producción de cafés especiales mediante la aplicación de protocolos de catación realizados por un panel de expertos. Los resultados mostraron que híbridos como Excelencia y Milenio alcanzaron puntuaciones entre 85 y 89 puntos, mientras que otras variedades también presentaron atributos sensoriales sobresalientes. Además, el estudio estableció que la evaluación sensorial constituye una herramienta fundamental para seleccionar materiales con mejor aceptación comercial y mayor valor agregado para los productores panameños. No obstante, la investigación se enfocó principalmente en comparar variedades y no analizó el efecto de diferentes perfiles de tueste sobre la calidad sensorial de una misma variedad, aspecto que representa un vacío que la presente investigación busca abordar mediante la comparación de distintas curvas de tueste en cafés Typica y Catuaí.

1.2.2 Determinación del perfil químico de los aromas del café de Panamá mediante técnicas analíticas avanzadas (UTP–SENACYT)

En 2024, la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), con el financiamiento de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) y el apoyo del Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT AIP), inició el proyecto de investigación titulado “Determinación del perfil químico de los aromas del café de Panamá, mediante técnicas analíticas avanzadas”. El estudio tiene como objetivo identificar y caracterizar los compuestos químicos responsables del aroma de diferentes variedades de café arábica cultivadas en Panamá, entre ellas Geisha, Typica, Catuaí Amarillo, Caturra y Pacamara, utilizando técnicas cromatográficas de alta precisión.

Asimismo, la investigación busca correlacionar el perfil químico del café con variables como la variedad, la altitud, la composición del suelo, el microclima y los resultados obtenidos mediante la evaluación sensorial (catación). Los investigadores destacan que este proyecto permitirá establecer una "huella dactilar" química del café panameño para fortalecer su autenticidad y competitividad en los mercados internacionales. Sin embargo, aunque la investigación relaciona el perfil químico con la calidad sensorial, no evalúa la influencia de diferentes perfiles de tueste sobre las características organolépticas de una misma variedad, aspecto que constituye el principal aporte de la presente investigación.

1.2.3 Modelo matemático para determinar la correlación entre parámetros fisicoquímicos y la calidad sensorial de café Geisha y Pacamara de Panamá

Vega et al. (2021) desarrollaron una investigación con el objetivo de establecer un modelo matemático capaz de predecir la calidad sensorial del café Geisha y Pacamara producido en Panamá a partir de sus características fisicoquímicas. Para ello, analizaron 34 muestras de café mediante la determinación de once parámetros fisicoquímicos y la evaluación sensorial realizada por un panel de doce jueces certificados. Posteriormente, aplicaron un análisis de regresión múltiple para identificar la relación existente entre las variables fisicoquímicas y la puntuación obtenida en la catación. Los resultados demostraron que parámetros como el ácido 3-cafeoilquínico (3-CQA), el ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA), la cafeína, la humedad y los grados Brix presentaron una influencia positiva sobre la calidad sensorial, mientras que el pH, la densidad, el color, la acidez y el ácido 4-cafeoilquínico (4-CQA) mostraron una relación negativa. Los autores concluyeron que el modelo desarrollado permite estimar con un alto nivel de precisión el puntaje sensorial de un lote de café utilizando variables fisicoquímicas, constituyéndose en una herramienta útil para el control de calidad de cafés especiales. Sin embargo, la investigación se centró en relacionar parámetros químicos con la calidad de taza y no evaluó el efecto que ejercen diferentes perfiles de tueste sobre las características sensoriales de una misma variedad, aspecto que constituye uno de los principales objetivos de la presente investigación.

1.2.4 Influencia de las características del suelo sobre la calidad del café Geisha en Boquete, Panamá

En 2023, investigadores de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) desarrollaron un estudio para evaluar la relación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la calidad del café Geisha producido en el distrito de Boquete, provincia de Chiriquí. La investigación tuvo como propósito determinar cómo variables como el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de nutrientes influyen en las características sensoriales del café. Para ello, se recolectaron muestras de suelo y de café provenientes de diferentes fincas, las cuales fueron sometidas a análisis de laboratorio y posteriormente evaluadas mediante protocolos de catación de la Specialty Coffee Association (SCA). Los resultados evidenciaron que las condiciones edáficas influyen significativamente en el desarrollo de atributos como el aroma, la acidez, el cuerpo y el balance de la bebida, demostrando que la calidad del café de especialidad depende de la interacción entre factores agronómicos y ambientales. No obstante, la investigación se centró en las condiciones del suelo como determinantes de la calidad sensorial y no evaluó la influencia del perfil de tueste sobre las características organolépticas del café, aspecto que constituye el eje central de la presente investigación.

1.3 Justificación

El café representa uno de los principales productos agroindustriales de Panamá, siendo el distrito de Boquete, en la provincia de Chiriquí, una de las zonas más reconocidas por la producción de cafés especiales. En este contexto, las variedades *Coffea arabica* Typica y Catuaí constituyen materiales vegetales de amplia presencia en la región, destacándose por su adaptación agronómica y potencial sensorial. Sin embargo, aunque la producción primaria ha sido ampliamente estudiada, existe la necesidad de fortalecer el análisis técnico en la etapa de transformación, particularmente en el proceso de tueste, el cual influye de manera directa en la expresión final de los atributos sensoriales del café.

El proceso de tueste implica la aplicación controlada de variables térmicas como tiempo y temperatura, cuya interacción determina cambios físicos y químicos en el grano que se reflejan posteriormente en la evaluación en taza. En muchos casos, la definición de perfiles de tueste se realiza con base en la experiencia empírica, sin un respaldo estadístico que permita cuantificar la relación entre las variables del proceso y los resultados sensoriales obtenidos. En este sentido, la aplicación de herramientas como análisis de regresión lineal, análisis de varianza y análisis de interacción variedad–perfil de tueste permite interpretar objetivamente los datos y establecer asociaciones estadísticamente significativas.

Desde el punto de vista científico, esta investigación aporta un enfoque cuantitativo al estudio del café en Panamá, integrando variables físico-térmicas del tueste con atributos sensoriales evaluados mediante cata. El análisis estadístico de la interacción entre variedad y perfil de tueste contribuye a generar evidencia técnica que permita comprender el comportamiento diferencial de Typica y Catuaí bajo distintas condiciones térmicas, fortaleciendo el conocimiento aplicado en la etapa de transformación.

En el ámbito productivo, los resultados podrán servir como herramienta para tostadores, productores y actores de la cadena de valor, facilitando la toma de decisiones basada en datos y promoviendo la optimización de perfiles de tueste según la variedad. De esta manera, la investigación contribuye al fortalecimiento de la consistencia sensorial, al incremento del valor agregado del producto final y al posicionamiento competitivo del café de Boquete en mercados especializados.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Analizar estadísticamente la relación entre las variables del proceso de tueste y los atributos sensoriales del café *Coffea arabica* variedades Typica y Catuaí, considerando la interacción entre variedad y perfil térmico aplicado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la relación entre las variables térmicas del tueste (tiempo y temperatura) mediante análisis de regresión lineal, para determinar el grado de asociación entre estos parámetros del proceso.
- Comparar los resultados obtenidos en la cata para las variedades Typica y Catuaí bajo diferentes perfiles de tueste, identificando diferencias estadísticamente significativas en sus atributos sensoriales.
- Analizar la relación entre variedad y perfil de tueste, con el propósito de determinar cómo esta combinación influye en la expresión de los atributos sensoriales evaluados en cata.

1.5 Hipótesis

H₀: No existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de *Coffea arabica* (Typica y Catuaí) y el perfil de tueste aplicado, en relación con la variación de los atributos sensoriales del café determinados en cata realizada.

H_a: Existe una interacción estadísticamente significativa entre las variedades de *Coffea arabica* (Typica y Catuaí) y el perfil de tueste aplicado, en relación con la variación de los atributos sensoriales del café determinados en cata realizada.

1.6 Alcances y limitaciones del estudio

1.6.1 Alcance

La presente investigación tiene como alcance el análisis estadístico de la interacción entre las variedades de *Coffea arabica* (Typica y Catuaí) y tres perfiles de tueste definidos experimentalmente, evaluando su efecto sobre los atributos sensoriales del café determinados en catas realizadas. El estudio incluye la medición y análisis de variables térmicas del proceso de tueste, particularmente tiempo y temperatura, así como la aplicación de herramientas estadísticas como regresión lineal y análisis de interacción para interpretar los resultados obtenidos.

Asimismo, el alcance comprende la comparación cuantitativa de los atributos sensoriales entre tratamientos, con el propósito de identificar relaciones significativas entre el proceso térmico y la expresión en taza. La investigación se limita al análisis de los datos obtenidos en el marco experimental establecido, proporcionando evidencia técnica que puede servir como referencia metodológica para estudios similares y como base para la optimización del proceso de tueste en función de la variedad evaluada.

1.6.2 Limitaciones

Una de las principales limitaciones de esta investigación radica en el alcance experimental del diseño, ya que el estudio se desarrolla únicamente con dos

variedades de *Coffea arabica* (Typica y Catuaí) y con tres perfiles de tueste definidos previamente. Esto implica que los resultados obtenidos no pueden generalizarse a otras variedades, orígenes, métodos de procesamiento o perfiles térmicos distintos a los evaluados. Además, el análisis estadístico se basa en condiciones específicas de tueste y en un número determinado de repeticiones experimentales, lo que restringe la extrapolación de los hallazgos a contextos productivos diferentes.

Otra limitación importante está relacionada con la evaluación sensorial, dado que los resultados de cata, aunque realizados bajo criterios técnicos, pueden estar influenciados por la variabilidad inherente al juicio humano. Factores como la percepción individual, la experiencia de los catadores y las condiciones del entorno de evaluación pueden introducir cierto grado de variabilidad en los datos sensoriales. Aunque el uso de herramientas estadísticas aumenta la objetividad en la interpretación de los resultados, la naturaleza sensorial del análisis constituye un componente que debe considerarse dentro del marco de las limitaciones del estudio.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

2. Revisión de literatura

2.1 El café (*Coffea arabica* L.)

El café (*Coffea arabica* L.) es una de las especies agrícolas de mayor importancia económica a nivel mundial. Pertenece a la familia Rubiaceae y al género *Coffea*, el cual comprende más de un centenar de especies; sin embargo, únicamente unas pocas poseen relevancia comercial, siendo *Coffea arabica* L. la más apreciada por la calidad de sus características sensoriales. Según la Organización Internacional del Café (2021), *"el café es uno de los productos básicos más comercializados del mundo y constituye un medio de vida para millones de personas en los países productores"*. Esta importancia trasciende el ámbito agrícola, ya que representa una fuente significativa de empleo, ingresos y desarrollo económico para numerosas regiones productoras.

El origen del café arábica se sitúa en las tierras altas de Etiopía, específicamente en la región de Kaffa, desde donde posteriormente fue introducido en la península arábica y, con el paso del tiempo, se expandió hacia Asia, Europa y América mediante las rutas comerciales. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), *"el cultivo del café ha experimentado una amplia adaptación a diferentes condiciones agroecológicas tropicales, consolidándose como uno de los principales productos agrícolas de exportación en numerosos países"*.

En la actualidad, *Coffea arabica* representa aproximadamente el 60 % de la producción mundial de café y constituye la especie predominante en el mercado de

café de especialidad debido a la complejidad de sus atributos sensoriales, entre los que destacan una acidez más brillante, mayor dulzor y una amplia diversidad de notas aromáticas. Estas características han permitido que variedades como Typica, Bourbon, Geisha y Catuaí alcancen un elevado reconocimiento en los mercados internacionales. Según la Specialty Coffee Association (2023), “la calidad del café arábica depende de la interacción de diversos factores, entre ellos la variedad, las condiciones ambientales, el procesamiento poscosecha y el perfil de tueste”. Estos elementos determinan la expresión final de sus características organolépticas y su valoración durante la evaluación sensorial.

2.2 Café de especialidad

2.2.1 Concepto de café de especialidad

El concepto de café de especialidad surge para diferenciar aquellos cafés que poseen atributos de calidad superiores y que son producidos, procesados y evaluados bajo estrictos estándares de calidad. Este tipo de café se caracteriza por presentar características sensoriales favorables, ausencia de defectos físicos significativos y una trazabilidad que permite conocer el origen del producto desde la finca hasta el consumidor final. Según la Specialty Coffee Association (SCA, 2023), “el café de especialidad corresponde a aquel que obtiene 80 puntos o más en una escala de evaluación de 100 puntos mediante un proceso de catación estandarizado realizado por catadores certificados”. Esta clasificación garantiza que el café posee

atributos diferenciadores que generan una experiencia sensorial superior para el consumidor.

Asimismo, Samper y Quiñones-Ruiz (2017) señalan que “el café de especialidad no solo depende de la calidad del grano, sino también de la interacción entre factores como la variedad, el ambiente de cultivo, el manejo agronómico, el beneficio, el proceso de tueste y la preparación de la bebida”. Estos elementos permiten desarrollar perfiles sensoriales únicos y con mayor valor agregado dentro del mercado internacional.

2.2.2 Evolución del café de especialidad

El término "café de especialidad" fue utilizado por primera vez en 1974 por Erna Knutsen, quien describió aquellos cafés provenientes de microclimas específicos que, debido a sus condiciones particulares de producción, desarrollaban sabores y aromas excepcionales.

A partir de la década de 1980, el crecimiento del consumo de cafés diferenciados impulsó la creación de organizaciones especializadas, destacándose la fundación de la Specialty Coffee Association of America (SCAA) en 1982, institución que posteriormente se fusionó con la Specialty Coffee Association of Europe (SCAE) para conformar la actual Specialty Coffee Association (SCA). “Esta organización ha establecido estándares internacionales para la producción, evaluación sensorial y comercialización de cafés especiales, contribuyendo al fortalecimiento de la cadena de valor del sector cafetalero a nivel mundial”, (Specialty Coffee Association, 2023).

Actualmente, el mercado del café de especialidad representa uno de los segmentos de mayor crecimiento dentro de la industria cafetera, impulsado por consumidores que demandan productos con mayor calidad, sostenibilidad, trazabilidad y perfiles sensoriales diferenciados.

2.2.3 Criterios de la Specialty Coffee Association (SCA)

La Specialty Coffee Association (SCA) ha desarrollado protocolos internacionales para garantizar la evaluación objetiva de la calidad del café mediante procedimientos estandarizados de catación. Según la SCA (2023), “un café de especialidad debe cumplir con requisitos físicos y sensoriales específicos, entre los cuales destacan la ausencia de defectos, una adecuada uniformidad del lote y la obtención de una puntuación mínima de 80 puntos durante la evaluación sensorial”.

El protocolo de catación considera atributos como fragancia/aroma, sabor, resabio, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, dulzor, limpieza de taza y apreciación global del catador. Cada uno de estos parámetros es evaluado individualmente y posteriormente integrado en una puntuación final que determina la clasificación del café. Este sistema permite estandarizar la evaluación entre diferentes catadores y facilita la comparación objetiva de la calidad de distintos lotes de café.

2.2.4 Sistema de puntuación del café de especialidad

El sistema de puntuación establecido por la Specialty Coffee Association (SCA) utiliza una escala de 0 a 100 puntos, donde los atributos sensoriales son valorados individualmente y posteriormente sumados para obtener la calificación final del café. La SCA dice que los cafés que alcanzan 80 puntos o más son considerados cafés de especialidad, mientras que puntuaciones superiores a 85 puntos corresponden a cafés con características sensoriales sobresalientes y un elevado potencial comercial.

La clasificación generalmente utilizada establece las siguientes categorías:

- 90–100 puntos: Café especial sobresaliente (Outstanding).
- 85–89.99 puntos: Café especial excelente (Excellent).
- 80–84.99 puntos: Café muy bueno (Very Good).
- Menos de 80 puntos: Café fuera de la categoría de especialidad.

Este sistema constituye actualmente la metodología de referencia para la comercialización de cafés especiales a nivel internacional y permite comparar objetivamente la calidad sensorial de diferentes variedades, procesos y perfiles de tueste.

2.2.5 Importancia del café de especialidad en Panamá

Panamá se ha consolidado como uno de los principales productores de café de especialidad a nivel mundial, destacándose especialmente por la calidad de los

café cultivados en las tierras altas de la provincia de Chiriquí, particularmente en los distritos de Boquete, Tierras Altas y Renacimiento. Las condiciones de altitud, clima, precipitación y suelos volcánicos favorecen el desarrollo de perfiles sensoriales altamente apreciados por el mercado internacional.

Según la Asociación de Cafés Especiales de Panamá (SCAP, 2024), “el reconocimiento internacional del café panameño ha permitido que variedades como Geisha, Typica, Caturra y Catuaí alcancen precios altamente competitivos en subastas internacionales, posicionando al país como referente en la producción de cafés de alta calidad”. Este crecimiento ha generado beneficios económicos para los productores, promoviendo la innovación en los procesos de producción, beneficio, tueste y evaluación sensorial.

En este contexto, el desarrollo de investigaciones relacionadas con el comportamiento de diferentes perfiles de tueste y su influencia sobre la calidad sensorial resulta fundamental para fortalecer la competitividad del café panameño y generar información científica que contribuya al mejoramiento continuo de la industria cafetalera nacional.

2.3 Producción de café en Panamá

2.3.1 Historia de la producción de café en Panamá

El cultivo del café en Panamá se remonta a finales del siglo XVIII, cuando las primeras plantas de *Coffea arabica* fueron introducidas desde las Antillas durante el período colonial español. Con el paso del tiempo, el cultivo se expandió hacia las

tierras altas del occidente del país, particularmente en la provincia de Chiriquí, donde las condiciones de altitud, clima y fertilidad de los suelos favorecieron el establecimiento de plantaciones con altos estándares de calidad. Según el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA, 2023), “el café ha representado históricamente una actividad agrícola de importancia económica y social, contribuyendo a la generación de empleo rural, al desarrollo de las comunidades productoras y a la diversificación de las exportaciones agropecuarias del país”.

Durante las últimas décadas, la caficultura panameña ha evolucionado desde un modelo orientado principalmente a la producción de café comercial hacia la elaboración de cafés de especialidad, promovida por la incorporación de nuevas variedades, la adopción de mejores prácticas agronómicas y el fortalecimiento de los procesos de beneficio, catación y comercialización. Este cambio ha permitido que el café panameño obtenga reconocimiento internacional por su calidad diferenciada y elevado valor comercial.

2.3.2 Producción actual de café en Panamá

Actualmente, la producción de café en Panamá se concentra principalmente en las provincias de Chiriquí, Coclé y Veraguas, siendo Chiriquí la región con mayor importancia debido a la calidad de sus cafés especiales. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2024), “el sector cafetalero continúa siendo una actividad estratégica para numerosas familias productoras, especialmente aquellas dedicadas a la producción de café arábica destinado a mercados especializados”.

En los últimos años, la caficultura panameña ha enfrentado desafíos relacionados con el cambio climático, la variabilidad de las precipitaciones, el incremento de enfermedades como la roya (*Hemileia vastatrix*) y el aumento en los costos de producción. Sin embargo, los productores han respondido mediante la implementación de tecnologías, renovación de plantaciones y mejoras en los procesos de producción y beneficiado, orientándose hacia la obtención de cafés con mayor calidad y valor agregado.

2.3.3 Boquete como principal zona cafetalera

El distrito de Boquete, ubicado en la provincia de Chiriquí, constituye una de las regiones cafetaleras más reconocidas de Panamá y del mundo. Sus condiciones agroecológicas, caracterizadas por altitudes que superan los 1,200 metros sobre el nivel del mar, temperaturas moderadas, abundantes precipitaciones y suelos de origen volcánico, favorecen el desarrollo de cafés con perfiles sensoriales complejos y de alta calidad.

Según la Asociación de Cafés Especiales de Panamá (SCAP, 2024), “Boquete se ha consolidado como el principal referente nacional en la producción de cafés de especialidad gracias a la combinación de factores naturales, experiencia de los productores y aplicación de procesos de beneficio y control de calidad que cumplen con estándares internacionales”. Asimismo, esta región alberga algunas de las fincas cafetaleras más reconocidas del país, cuyas producciones participan regularmente en competencias nacionales e internacionales de calidad.

Estas características convierten a Boquete en un escenario idóneo para investigaciones relacionadas con la influencia del perfil de tueste sobre la calidad sensorial del café de especialidad, como la desarrollada en el presente estudio.

2.3.4 Café Geisha y otras variedades cultivadas en Panamá

Panamá es reconocido internacionalmente por la producción de la variedad Geisha, considerada una de las más exclusivas del mundo debido a su perfil sensorial caracterizado por intensas notas florales, frutales y cítricas. Según Peterson et al. (2022), “el éxito internacional del Geisha panameño ha incrementado significativamente el prestigio de la caficultura nacional y ha impulsado el crecimiento del mercado de cafés especiales”.

No obstante, además del Geisha, en Panamá se cultivan otras variedades de *Coffea arabica* de gran importancia agronómica y comercial, entre ellas Typica, Catuaí, Caturra, Pacamara y Bourbon. Estas variedades presentan diferencias en productividad, resistencia a enfermedades y características sensoriales, permitiendo a los productores diversificar su oferta de cafés especiales. En particular, las variedades Typica y Catuaí, objeto de la presente investigación, son ampliamente utilizadas en la provincia de Chiriquí por su capacidad para desarrollar perfiles sensoriales de alta calidad cuando son sometidas a adecuados procesos de producción y tueste.

2.3.5 Mercado internacional del café panameño

El café panameño ocupa una posición privilegiada dentro del mercado internacional de cafés especiales debido a la elevada calidad alcanzada por sus principales variedades y al reconocimiento obtenido en eventos como la competencia Best of Panama. Según la Asociación de Cafés Especiales de Panamá (SCAP, 2024), “esta competencia ha contribuido significativamente al posicionamiento del café panameño en mercados de alto valor, permitiendo que diversos lotes alcancen precios récord en subastas internacionales”.

La creciente demanda de cafés diferenciados por parte de consumidores especializados ha incrementado el interés por productos con trazabilidad, sostenibilidad y perfiles sensoriales únicos. En este contexto, Panamá ha fortalecido su imagen como productor de cafés de excelencia, generando mayores oportunidades comerciales para los caficultores nacionales y promoviendo el desarrollo de investigaciones orientadas a optimizar los procesos que determinan la calidad final de la bebida, entre ellos el perfil de tueste.

2.4 Variedades de café estudiadas

2.4.1 Variedad Typica

La variedad Typica constituye una de las variedades más antiguas y representativas de la especie *Coffea arabica* L., siendo considerada el punto de partida de numerosas variedades comerciales cultivadas en la actualidad. Su origen se remonta a las primeras plantas de café introducidas desde Etiopía hacia Yemen y

posteriormente distribuidas a Asia, Europa y América durante los siglos XVII y XVIII. Según World Coffee Research (2019), “la variedad Typica fue introducida inicialmente en Indonesia por colonizadores neerlandeses y posteriormente llegó al continente americano, donde dio origen a gran parte de la caficultura tradicional de la región”.

Desde el punto de vista agronómico, Typica se caracteriza por presentar un porte alto, ramas laterales con amplia separación entre nudos y una arquitectura cónica. Además, posee una productividad moderada y una elevada susceptibilidad a enfermedades como la roya del café (*Hemileia vastatrix*), razón por la cual en muchos países ha sido reemplazada parcialmente por variedades de mayor rendimiento. No obstante, continúa siendo ampliamente cultivada en regiones productoras de cafés especiales debido a la excelente calidad de su taza.

En cuanto a sus características sensoriales, la variedad Typica es reconocida por producir cafés de gran complejidad aromática, con una acidez brillante, dulzor pronunciado, cuerpo medio y perfiles que pueden presentar notas florales, cítricas, frutales, caramelizadas y achocolatadas, dependiendo de las condiciones de cultivo, el procesamiento y el perfil de tueste. Según Wintgens (2012), “Typica es una de las variedades más apreciadas dentro del mercado de cafés de especialidad, debido a su capacidad para expresar con claridad las características propias del origen donde es cultivada”.

Respecto a su adaptación, Typica presenta un mejor desempeño en zonas montañosas ubicadas entre los 1,000 y 2,000 metros sobre el nivel del mar, donde predominan temperaturas moderadas, buena disponibilidad hídrica y suelos fértiles.

Estas condiciones favorecen una maduración más lenta del fruto, permitiendo una mayor acumulación de azúcares y compuestos aromáticos responsables de la calidad sensorial del café.

2.4.2 Variedad Catuaí

La variedad Catuaí fue desarrollada en Brasil durante la década de 1940 mediante el cruzamiento entre las variedades Caturra y Mundo Novo, con el objetivo de obtener plantas de menor altura, mayor productividad y mejor adaptación al manejo agronómico. Según World Coffee Research (2019), “Catuaí fue liberada comercialmente en la década de 1970 y actualmente constituye una de las variedades más cultivadas en América Latina debido a su buen rendimiento y estabilidad productiva”.

Entre sus principales características agronómicas destaca su porte bajo, lo que facilita las labores de manejo, cosecha y renovación de plantaciones. Asimismo, presenta una alta capacidad productiva y una adecuada adaptación a diferentes condiciones agroclimáticas, aunque requiere un manejo agronómico cuidadoso para reducir problemas asociados a enfermedades y mantener una adecuada calidad del grano.

Desde el punto de vista sensorial, Catuaí produce cafés con una taza equilibrada, cuerpo medio a alto, dulzor pronunciado y una acidez agradable. Dependiendo del origen y del proceso de beneficio, puede desarrollar notas de chocolate, caramelo, frutos secos, cítricos y frutas maduras. Esta variedad posee un elevado potencial

para la producción de cafés especiales cuando es cultivada en condiciones de alta montaña y sometida a procesos adecuados de beneficio y tueste.

En relación con su adaptación, Catuaí presenta un excelente comportamiento en regiones tropicales de altitud media y alta, mostrando buena respuesta productiva en zonas con precipitaciones bien distribuidas y temperaturas moderadas. Estas características han favorecido su amplia adopción por productores de países como Brasil, Costa Rica, Honduras y Panamá.

2.4.3 Comparación entre las variedades Typica y Catuaí

Aunque ambas variedades pertenecen a la especie *Coffea arabica* L., presentan diferencias importantes desde el punto de vista agronómico y sensorial. La variedad Typica se caracteriza por su porte alto, menor productividad y mayor susceptibilidad a enfermedades; sin embargo, es ampliamente reconocida por producir cafés con perfiles aromáticos complejos y una elevada calidad sensorial. En contraste, Catuaí presenta un porte bajo, mayor rendimiento productivo y mejor adaptación al manejo agrícola, manteniendo al mismo tiempo una excelente calidad de taza cuando es cultivada bajo condiciones favorables.

En cuanto al perfil sensorial, Según World Coffee Research (2019), “Typica suele expresar una mayor complejidad aromática, destacándose por notas florales, cítricas y frutales, mientras que Catuaí desarrolla con mayor frecuencia perfiles caracterizados por notas de chocolate, caramelo y frutos secos, acompañados de un cuerpo ligeramente más pronunciado”. No obstante, ambas variedades poseen

el potencial de alcanzar puntuaciones superiores a los 80 puntos establecidos por la Specialty Coffee Association (SCA), siempre que las condiciones de producción, beneficio y tueste permitan expresar adecuadamente sus características organolépticas.

Estas diferencias justifican la selección de ambas variedades en la presente investigación, ya que permiten evaluar cómo distintos perfiles de tueste influyen sobre la calidad sensorial de dos materiales genéticos ampliamente utilizados en la producción de café de especialidad en Panamá.

2.5 Beneficio lavado

2.5.1 Definición del beneficio lavado

El beneficio lavado constituye uno de los principales métodos de procesamiento postcosecha del café y consiste en la eliminación del mucílago que recubre el grano mediante un proceso controlado de despulpado, fermentación, lavado y secado. Este método tiene como finalidad preservar las características propias de la variedad y del lugar de cultivo, permitiendo obtener cafés con perfiles sensoriales limpios, mayor acidez y una mejor definición de aromas y sabores. Según World Coffee Research (2023), “el beneficio lavado se caracteriza por utilizar agua durante el proceso de fermentación y limpieza del café, lo que facilita la remoción completa del mucílago antes del secado del grano”.

Asimismo, Puerta-Quintero (2012) señala que “este método permite reducir la presencia de defectos asociados a fermentaciones no controladas, contribuyendo a

mejorar la uniformidad y estabilidad de la calidad del café”. Debido a estas ventajas, el beneficio lavado es ampliamente utilizado en la producción de cafés de especialidad, especialmente en regiones donde las condiciones climáticas favorecen un adecuado control del proceso.

2.5.2 Etapas del beneficio lavado

El beneficio lavado comprende una serie de operaciones que deben ejecutarse de manera controlada para conservar la calidad del café y evitar alteraciones físicas o sensoriales del grano. Según la Organización Internacional del Café (ICO, 2021), las principales etapas del beneficio lavado son las siguientes:

- Recepción y selección de frutos:

El proceso inicia con la recolección de cerezas maduras, las cuales son clasificadas para eliminar frutos verdes, sobre maduros o afectados por plagas y enfermedades. Esta selección constituye uno de los factores más importantes para garantizar una adecuada calidad del café.

- Despulpado:

Posteriormente, las cerezas son sometidas al despulpado, operación mediante la cual se retira la pulpa externa utilizando equipos mecánicos. En esta etapa el grano permanece cubierto por el mucílago, compuesto principalmente por azúcares y pectinas.

- Fermentación:

Después del despulpado, los granos son colocados en tanques de fermentación durante un período controlado, permitiendo que microorganismos degraden el mucílago adherido al pergamino. Según Puerta-Quintero (2012), “la duración de esta etapa depende de factores como la temperatura ambiente, la variedad y las condiciones climáticas, siendo fundamental evitar fermentaciones excesivas que puedan generar sabores indeseables”.

- Lavado:

Finalizada la fermentación, el café es lavado con agua limpia para eliminar completamente los residuos de mucílago. Este proceso contribuye a obtener una taza más limpia y uniforme, además de disminuir el riesgo de aparición de defectos sensoriales.

- Secado:

Finalmente, el café es secado hasta alcanzar un contenido de humedad cercano al 10–12 %, condición necesaria para garantizar su conservación durante el almacenamiento. El secado puede realizarse de forma natural mediante patios o camas africanas, o utilizando secadores mecánicos cuando las condiciones climáticas así lo requieren.

2.5.3 Influencia del beneficio lavado sobre la calidad del café

El beneficio lavado ejerce una influencia significativa sobre la calidad física y sensorial del café, ya que permite conservar con mayor fidelidad las características propias de la variedad y del origen. Según World Coffee Research (2023), “este método favorece la obtención de cafés con perfiles sensoriales más limpios, una acidez brillante, mayor claridad en los aromas y sabores, así como una mejor percepción del balance durante la catación”.

Diversas investigaciones han demostrado que la eliminación controlada del mucílago reduce la probabilidad de fermentaciones indeseadas y disminuye la aparición de defectos de sabor, permitiendo expresar de manera más precisa las características organolépticas del café. Un beneficio lavado correctamente ejecutado contribuye a incrementar la uniformidad del lote, mejorar la estabilidad de la calidad y facilitar la obtención de altas puntuaciones durante la evaluación sensorial.

En la presente investigación, las muestras analizadas correspondieron a cafés procesados mediante beneficio lavado, condición que permitió minimizar la influencia de otros métodos de procesamiento y centrar el análisis en el efecto de las diferentes curvas de tueste sobre la calidad sensorial de las variedades Typica y Catuaí. De esta manera, las diferencias observadas en los atributos evaluados mediante el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA) pueden atribuirse principalmente a la interacción entre la variedad y el perfil de tueste, manteniendo constante el método de beneficio utilizado.

2.6 Proceso de tueste del café

2.6.1 Definición del tueste

El tueste constituye una de las etapas más importantes dentro de la cadena de producción del café, ya que durante este proceso el grano verde experimenta una serie de transformaciones físicas y químicas que permiten desarrollar el aroma, el sabor, el color y las demás características sensoriales de la bebida. Mediante la aplicación controlada de calor, el café pasa de ser una semilla prácticamente inodora y de color verde a un producto con una amplia diversidad de compuestos aromáticos y organolépticos que determinan su calidad final.

Según Illy y Viani (2005), "el proceso de tueste transforma el café verde en un producto complejo mediante una secuencia de reacciones físicas y químicas responsables del desarrollo de cientos de compuestos volátiles que caracterizan el aroma del café". Estas transformaciones incluyen la evaporación del agua, la degradación de ácidos orgánicos, la formación de compuestos aromáticos y el desarrollo del color característico del café tostado.

Asimismo, Specialty Coffee Association (2023) indica que "el control adecuado del proceso de tueste resulta fundamental para expresar el potencial sensorial de cada variedad, ya que pequeñas variaciones en las condiciones del proceso pueden modificar significativamente atributos como la acidez, el cuerpo, el dulzor y el balance de la bebida".

2.6.2 Objetivos del tueste

El principal objetivo del proceso de tueste consiste en desarrollar las características sensoriales propias del café mediante la aplicación controlada de energía térmica. Durante esta etapa se busca potenciar el aroma, mejorar el sabor, disminuir la humedad del grano y favorecer la formación de compuestos responsables de la calidad de la bebida.

Según Clarke y Vitzthum (2008), “el proceso de tueste tiene como finalidad producir una combinación equilibrada de reacciones químicas que permitan expresar las características propias de cada variedad sin generar defectos ocasionados por un calentamiento insuficiente o excesivo”.

2.6.3 Variables del proceso de tueste

- Temperatura:

La temperatura constituye una de las variables más importantes durante el proceso de tueste, debido a que controla la velocidad con que ocurren las reacciones químicas responsables del desarrollo del aroma y del sabor. Según Illy y Viani (2005), “un incremento excesivo de la temperatura puede acelerar las reacciones de degradación térmica y generar sabores amargos o carbonizados, mientras que temperaturas insuficientes podrían producir cafés poco desarrollados y con escasa complejidad aromática”.

Por esta razón, el control de la temperatura resulta esencial para obtener perfiles de tueste consistentes y reproducibles, especialmente en la producción de cafés de especialidad.

- Tiempo:

El tiempo de tueste determina la duración de las transformaciones físicas y químicas que experimenta el café durante el calentamiento. Según Specialty Coffee Association (2023), “la relación entre tiempo y temperatura influye directamente sobre el desarrollo del perfil sensorial, ya que un tiempo insuficiente de tueste limita la formación de compuestos aromáticos, mientras que tiempos excesivos pueden disminuir la acidez, incrementar el amargor y reducir la intensidad de los aromas característicos del café”. En consecuencia, el tiempo debe controlarse conjuntamente con la temperatura para lograr una adecuada evolución del proceso de tueste.

- Flujo de aire:

El flujo de aire permite regular la transferencia de calor dentro del tostador y facilita la eliminación del vapor de agua, dióxido de carbono y otros compuestos generados durante el calentamiento del café. Según Rao (2014), “un adecuado manejo del flujo de aire favorece un desarrollo uniforme del tueste y evita la acumulación de humo que podría alterar negativamente las características sensoriales del café”.

Asimismo, el flujo de aire influye en la estabilidad térmica del proceso y contribuye a obtener una mayor uniformidad entre los granos tostados, aspecto especialmente importante cuando se busca reproducir una misma curva de tueste.

2.7 Curvas de tueste

2.7.1 ¿Qué es una curva de tueste?

Una curva de tueste es la representación gráfica del comportamiento de la temperatura del café durante todo el proceso de tostado. Esta herramienta permite registrar y controlar las variaciones térmicas que experimenta el grano desde el inicio del calentamiento hasta el final del tueste, facilitando la reproducción de perfiles específicos y garantizando la consistencia del producto. Según Rao (2014), "una curva de tueste describe la evolución de la temperatura del grano a lo largo del tiempo y constituye la principal herramienta para controlar y repetir un perfil de tueste". Por ello, las curvas de tueste son generalmente utilizadas en la industria del café de especialidad para optimizar la calidad sensorial y mantener la uniformidad entre diferentes lotes.

La construcción y el análisis de las curvas permiten al tostador identificar el comportamiento térmico del café durante cada etapa del proceso, facilitando la toma de decisiones relacionadas con el suministro de energía, el flujo de aire y el tiempo de desarrollo.

2.7.2 Construcción de una curva de tueste

La construcción de una curva de tueste se basa en el registro continuo de la temperatura del grano y del tiempo transcurrido durante el proceso. Generalmente, estas variables son monitoreadas mediante sensores instalados en el tostador, los

cuales permiten representar gráficamente la evolución térmica del café en cada etapa del tueste.

Según Specialty Coffee Association (2023), “la interpretación de una curva de tueste requiere identificar momentos clave como el inicio del calentamiento, la fase de secado, el primer crack, el desarrollo del tueste y el enfriamiento final”. Cada una de estas etapas influye en las transformaciones físicas y químicas del grano, determinando la intensidad del aroma, el sabor, la acidez, el cuerpo y el balance del café. La posibilidad de registrar y reproducir estas condiciones permite estandarizar el proceso de tueste y reducir la variabilidad entre diferentes lotes, aspecto fundamental en la producción de cafés de especialidad.

2.7.3 Variables que intervienen en una curva de tueste

El comportamiento de una curva de tueste depende de la interacción de diversas variables operacionales que determinan la velocidad de transferencia de calor y el desarrollo del grano durante el proceso. Entre las más importantes se encuentran la temperatura, el tiempo y el flujo de aire.

La temperatura regula la intensidad del calentamiento y controla la velocidad de las reacciones químicas responsables del desarrollo del aroma y del sabor. El tiempo determina la duración de dichas transformaciones, mientras que el flujo de aire favorece la transferencia uniforme del calor y la eliminación del vapor de agua y de los compuestos volátiles generados durante el tueste.

2.7.4 Relación entre las curvas de tueste y la calidad sensorial

Las curvas de tueste ejercen una influencia directa sobre la calidad sensorial del café, debido a que controlan la intensidad y duración de las reacciones responsables de la formación de los compuestos aromáticos. Según Specialty Coffee Association (2023), “pequeñas variaciones en el perfil térmico pueden modificar significativamente atributos como la fragancia, el sabor, el resabio, la acidez, el cuerpo y el balance evaluados durante la catación”.

Diversas investigaciones han demostrado que un mismo lote de café puede desarrollar perfiles sensoriales diferentes cuando es sometido a distintas curvas de tueste, aun manteniendo constantes factores como la variedad, el origen y el método de beneficio. Por esta razón, el diseño y la reproducción de curvas de tueste constituyen herramientas fundamentales para optimizar la calidad del café de especialidad y garantizar la consistencia del producto final.

En la presente investigación, las seis curvas de tueste evaluadas permitieron analizar la influencia de diferentes perfiles térmicos sobre la calidad sensorial de las variedades Typica y Catuaí procesadas mediante beneficio lavado, proporcionando información que contribuye a comprender la interacción entre el proceso de tueste y la expresión de las características organolépticas del café.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3. Materiales y métodos

3.1 Materiales

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron muestras de café verde (*Coffea arabica* L.) de las variedades Typica y Catuaí, provenientes del distrito de Boquete, provincia de Chiriquí, las cuales fueron procesadas mediante beneficio lavado y seleccionadas para la aplicación de diferentes perfiles de tueste.

Los materiales y equipos empleados durante la investigación fueron los siguientes:

- Muestras de café verde (*Coffea arabica* L.) de las variedades Typica y Catuaí.
- Tostadora de café con control de temperatura, tiempo, flujo de aire y nivel de flama.
- Molino de café con configuración uniforme para la preparación de las muestras.
- Balanza digital de precisión.
- Estación de catación equipada conforme al protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA).
- Tazas de catación de cerámica.
- Cucharas de catación de acero inoxidable.
- Agua filtrada para la preparación de las muestras.
- Termómetro y cronómetro para el control de las condiciones de preparación.
- Formato oficial de evaluación sensorial de la SCA.

- Computadora con el software Statistical Analysis System (SAS) para el procesamiento y análisis de los datos.

3.2 Métodos

La investigación se desarrolló mediante la aplicación de un proceso experimental compuesto por tres etapas: elaboración de los perfiles de tueste, evaluación sensorial mediante catación y análisis estadístico de los datos obtenidos.

- Proceso de tueste:

Se elaboraron seis curvas de tueste, correspondientes a tres perfiles para la variedad Typica y tres perfiles para la variedad Catuaí. Durante cada proceso se registraron variables como el tiempo de tueste, la temperatura del grano, el flujo de aire, la gradualidad de la flama y las observaciones correspondientes a cada etapa del proceso. Estos registros permitieron caracterizar cada perfil de tueste y establecer las diferencias entre las curvas evaluadas.

- Evaluación sensorial:

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a evaluación sensorial mediante el protocolo oficial de catación de la Specialty Coffee Association (SCA). La catación fue realizada por un catador especializado y el investigador, bajo condiciones controladas de preparación, utilizando una molienda uniforme, agua filtrada y recipientes estandarizados.

Durante la evaluación se calificaron los atributos de fragancia/aroma, sabor, retrogusto (aftertaste), acidez, cuerpo, balance, uniformidad, dulzor, taza limpia, puntaje del catador y puntuación final, registrando los resultados en la ficha oficial de catación de la SCA.

- Análisis estadístico:

Los datos obtenidos durante el proceso de tueste y la evaluación sensorial fueron organizados en una base de datos y procesados mediante el software Statistical Analysis System (SAS). Se realizó un análisis estadístico descriptivo y un análisis de regresión lineal múltiple para determinar la influencia de las variables del perfil de tueste sobre los atributos sensoriales evaluados. Asimismo, se aplicó un análisis de correlación para identificar el grado de asociación entre las variables del proceso de tueste y la calidad sensorial del café.

3.3 Parámetros evaluados

Los parámetros considerados durante la investigación se agruparon en dos categorías:

- Parámetros del proceso de tueste:

Durante la elaboración de cada curva de tueste se registraron las siguientes variables:

- ✓ Tiempo de tueste.

- ✓ Temperatura del grano en cada etapa del proceso.
- ✓ Flujo de aire.
- ✓ Gradualidad de la flama.
- ✓ Observaciones registradas durante el desarrollo del tueste.
- ✓ Etapas del proceso (inicio, intervalos de 30 segundos, primer crack y finalización del tueste).

Estos parámetros permitieron caracterizar cada una de las seis curvas de tueste desarrolladas en la investigación.

- Parámetros de la evaluación sensorial:

Tabla 1. Atributos evaluados mediante el protocolo de catación de la SCA

Atributo	Descripción
Fragancia/Aroma	Intensidad y calidad de los aromas percibidos antes y después de la infusión.
Sabor	Percepción global del gusto del café durante la degustación.
Retrogusto (Aftertaste)	Sensaciones de sabor que permanecen después de ingerir el café.
Acidez	Intensidad y calidad de la acidez percibida en la bebida.
Cuerpo	Sensación táctil o textura del café en la boca.
Balance	Armonía entre todos los atributos sensoriales.
Uniformidad	Consistencia del sabor entre todas las tazas evaluadas.
Dulzor	Presencia de dulzor natural sin sabores desagradables.
Taza limpia (Clean Cup)	Ausencia de sabores o aromas defectuosos durante toda la degustación.
Puntaje del catador	Valoración integral otorgada por el catador.
Puntuación final	Resultado total obtenido según el protocolo oficial de la SCA.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4. Resultados

4.1 Datos de Tueste por variedad de café:

4.1.1 Café Typica Lavado (Primer Tueste)

Datos generales

Variable	Información
Fecha	10-01-2026
Variedad	Típica lavada
Peso café entrada	1.0 kg
Peso café salida	0.882 kg
Merma	11.8 %
Temperatura inicial	300 °F
Flujo de aire	20 %
Gradación de flama	3 milibares

Observaciones de Tueste

Evento	Tiempo / Temperatura
Cambio de aire (50 %)	8:59 min
Primer crack	12:50 min – 386 °F
Salida del café	14:25 min – 389 °F
Tipo de tueste	Medio

Registro Tiempo – Temperatura de Tueste

Tiempo (min)	Temperatura (°F)
0.0	300
0.5	297
1.0	208
1.5	198
2.0	206
2.5	217
3.0	230
3.5	244
4.0	256
4.5	267
5.0	277
5.5	287
6.0	296
6.5	304
7.0	312
7.5	321
8.0	327
8.5	334
9.0	342
9.5	349

10.0	355
10.5	361
11.0	367
11.5	372
12.0	378
12.5	383
13.0	387
13.5	392
14.0	396
14.5	399

4.1.2 Café Typica Lavado (Segundo Tueste)

Datos generales

Variable	Información
Fecha	10-01-2026
Variedad	Típico lavado
Peso café entrada	1.0 kg
Peso café salida	0.847 kg
Merma	15.3 %
Temperatura inicial	350 °F
Flujo de aire	25 %
Gradación de flama	3 milibares

Observaciones de Tueste

Evento	Tiempo / Temperatura
Cambio de aire (50 %)	6:50 min – 340°F
Primer crack	10:15 min – 388 °F (100% aire)
Salida del café	11:40 min – 399 °F
Tipo de tueste	Medio-oscuro

Registro Tiempo – Temperatura de Tueste

Tiempo (min)	Temperatura (°F)
0.0	350
0.5	281
1.0	243
1.5	235
2.0	242
2.5	253
3.0	267
3.5	280
4.0	293
4.5	304
5.0	315
5.5	324
6.0	332
6.5	340
7.0	353
7.5	356
8.0	363
8.5	370
9.0	377
9.5	381

10.0	386
10.5	390
11.0	394
11.5	398

4.1.3 Café Typica Lavado (Tercer Tueste)

Datos generales

Variable	Información
Fecha	10-01-2026
Variedad	Típico lavado
Peso café entrada	1.0 kg
Peso café salida	0.894 kg
Merma	10.6 %
Temperatura inicial	400 °F
Flujo de aire	30 %
Gradación de flama	3 milibares

Observaciones de Tueste

Evento	Tiempo / Temperatura
Cambio de aire (50 %)	5:08 min – 350°F
Primer crack	8:18 min – 389 °F (100% aire)
Salida del café	9:40 min – 403 °F
Tipo de tueste	Medio

Registro Tiempo – Temperatura de Tueste

Tiempo (min)	Temperatura (°F)
0.0	400
0.5	305
1.0	263
1.5	255
2.0	262
2.5	275
3.0	289
3.5	302
4.0	315
4.5	376
5.0	337
5.5	347
6.0	355
6.5	363
7.0	371
7.5	380
8.0	386
8.5	388
9.0	391
9.5	401

4.1.4 Café Catuaí Lavado (Primer Tueste)

Datos generales

Variable	Información
Fecha	10-01-2026
Variedad	Catuaí lavado
Peso café entrada	1.0 kg
Peso café salida	0.874 kg
Merma	12.6 %
Temperatura inicial	300 °F
Flujo de aire	20 %
Gradación de flama	3 milibares

Observaciones de Tueste

Evento	Tiempo / Temperatura
Cambio de aire (50 %)	7:30 min – 340°F
Primer crack	11:51 min – 397 °F (100%)
Salida del café	12:54 min – 409 °F
Tipo de tueste	Medio

Registro Tiempo – Temperatura de Tueste

Tiempo (min)	Temperatura (°F)
0.0	300
0.5	245
1.0	213
1.5	208
2.0	216
2.5	228
3.0	242
3.5	256
4.0	269
4.5	281
5.0	293
5.5	303
6.0	313
6.5	322
7.0	331
7.5	340
8.0	349
8.5	356
9.0	364
9.5	371

10.0	378
10.5	383
11.0	389
11.5	394
12.0	399
12.5	404

4.1.5 Café Catuaí Lavado (Segundo Tueste)

Datos generales

Variable	Información
Fecha	10-01-2026
Variedad	Catuaí lavado
Peso café entrada	1.0 kg
Peso café salida	0.859 kg
Merma	14.1 %
Temperatura inicial	350 °F
Flujo de aire	25 %
Gradación de flama	3 milibares

Observaciones de Tueste

Evento	Tiempo / Temperatura
Cambio de aire (50 %)	5:45 min – 340°F
Primer crack	9:13 min – 396 °F (100%)
Salida del café	10:56 min – 409 °F
Tipo de tueste	Medio - oscuro

Registro Tiempo – Temperatura de Tueste

Tiempo (min)	Temperatura (°F)
0.0	350
0.5	284
1.0	247
1.5	240
2.0	247
2.5	270
3.0	274
3.5	288
4.0	302
4.5	314
5.0	325
5.5	336
6.0	345
6.5	355
7.0	365
7.5	373
8.0	381
8.5	388
9.0	393
9.5	399

10.0	404
------	-----

4.1.6 Café Catuai Lavado (Tercer Tueste)

Datos generales

Variable	Información
Fecha	10-01-2026
Variedad	Catuai lavado
Peso café entrada	1.0 kg
Peso café salida	0.880 kg
Merma	12.0 %
Temperatura inicial	400 °F
Flujo de aire	30 %
Gradación de flama	3 milibares

Observaciones de Tueste

Evento	Tiempo / Temperatura
Cambio de aire (50 %)	5:15 min – 340°F
Primer crack	8:25 min – 392 °F (100%)
Salida del café	10:0 min – 409 °F
Tipo de tueste	Oscuro

Registro Tiempo – Temperatura de Tueste

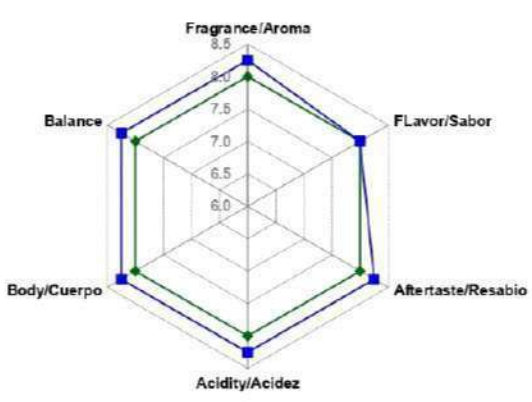
Tiempo (min)	Temperatura (°F)
0.0	400
0.5	311
1.0	262
1.5	250
2.0	255
2.5	267
3.0	281
3.5	296
4.0	310
4.5	322
5.0	334
5.5	344
6.0	355
6.5	364
7.0	372
7.5	381
8.0	388
8.5	394
9.0	398
9.5	403

10.0	409
------	-----

4.2 Curvas de Tueste

4.2.1 Typica lavado – Curva de tueste #1:

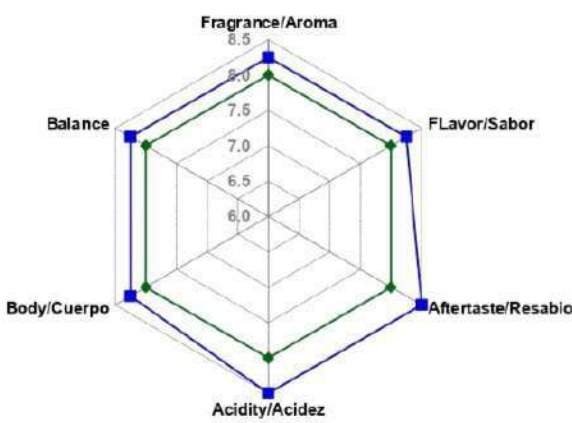
En la curva de tueste #1 correspondiente a café Typica lavado se observa el comportamiento sensorial del grano durante la evaluación de cata, donde la mayoría de los atributos presentan puntuaciones entre 8.00 y 8.25, reflejando un perfil sensorial uniforme y una calificación final de 87.50 puntos.

 															
Farm name/Nombre Finca: CRISTEL GUEVARA															
Lot Number/Numero de lote: TYPICA LAVADO CURVA #1															
Mill/Beneficio:															
ICO Number:															
Exporter:															
Number of Bags:															
Grading Location:															
Coffee Year: 2025-2026															
Grading Date: 23-ene-26															
DIFFERENTIATION AND QUALIFICATION															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>STANDARD</th> <th>LOT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8.00</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>8.00</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>8.00</td> <td>8.25</td> </tr> </tbody> </table>	STANDARD	LOT	8.00	8.25	8.00	8.00	8.00	8.25	8.00	8.25	8.00	8.25	8.00	8.25
STANDARD	LOT														
8.00	8.25														
8.00	8.00														
8.00	8.25														
8.00	8.25														
8.00	8.25														
8.00	8.25														
Fragrance/Aroma FLavor/Sabor Aftertaste/Resabio Acidity/Acidez Body/Cuerpo Balance	Uniformity Clean Cup/Limpieza Sweetness/Dulzor Cupper Points/Puntaje Catador TOTAL POINTS														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>STANDARD</th> <th>LOT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>10.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>10.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>6.00</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>TYPE SCORE</td> <td>LOT SCORE</td> </tr> <tr> <td>80.00</td> <td>87.50</td> </tr> </tbody> </table>	STANDARD	LOT	6.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	6.00	8.25	TYPE SCORE	LOT SCORE	80.00	87.50
STANDARD	LOT														
6.00	10.00														
10.00	10.00														
10.00	10.00														
6.00	8.25														
TYPE SCORE	LOT SCORE														
80.00	87.50														
															
Additional Notes: FLORAL, CARAMELO, DULCE DE LECHE, PANELA, CITRICO, MANDARINA.															

4.2.2 Typica lavado – Curva de tueste #2:

En la curva de tueste #2 correspondiente a café Typica lavado se observa el comportamiento sensorial del grano durante la evaluación de cata, donde la mayoría de los atributos presentan puntuaciones entre 8.25 y 8.50, reflejando un perfil sensorial uniforme y una calificación final de 88.50 puntos.

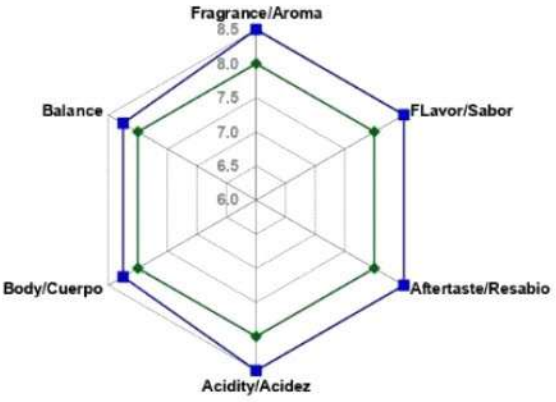
			
Farm name/Nombre Finca: CRISTEL GUEVARA		Number of Bags:	
Lot Number/Numero de lote: TYPICA LAVADO CURVA #2			
Mill/Beneficio:		Grading Location:	
ICO Number:		Coffee Year: 2025-2026	
Exporter:		Grading Date: 23-ene-26	
DIFFERENTIATION AND QUALIFICATION			
	STANDARD	LOT	
Fragrance/Aroma	8.00	8.25	Uniformity
FLavor/Sabor	8.00	8.25	Clean Cup/Limpieza
Aftertaste/Resabio	8.00	8.50	Sweetness/Dulzor
Acidity/Acidez	8.00	8.50	Cupper Points/Puntaje Catador
Body/Cuerpo	8.00	8.25	
Balance	8.00	8.25	
			TOTAL POINTS
			TYPE SCORE
			LOT SCORE



Additional Notes:
MUY FLORAL, CITRICO, DULCE DE LECHE, CARAMELO, MANDARINA, PANELA

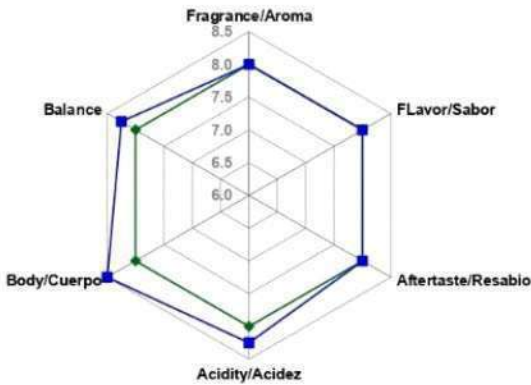
4.2.3 Typica lavado – Curva de tueste #3:

En la curva de tueste #3 correspondiente a café Typica lavado se observa el comportamiento sensorial del grano durante la evaluación de cata, donde la mayoría de los atributos presentan puntuaciones entre 8.25 y 8.50, reflejando un perfil sensorial uniforme y una calificación final de 89.00 puntos.

 					
Farm name/Nombre Finca: CRISTEL GUEVARA Number of Bags:					
Lot Number/Numero de lote: TYPICALAVADO CURVA #3 Grading Location:					
Mill/Beneficio: Coffee Year: 2025-2026					
ICO Number: Grading Date: 23-ene-26					
Exporter:					
DIFFERENTIATION AND QUALIFICATION					
	STANDARD	LOT		STANDARD	LOT
Fragrance/Aroma	8.00	8.50	Uniformity	6.00	10.00
FLavor/Sabor	8.00	8.50	Clean Cup/Limpieza	10.00	10.00
Aftertaste/Resabio	8.00	8.50	Sweetness/Dulzor	10.00	10.00
Acidity/Acidez	8.00	8.50	Cupper Points/Puntaje Catador	6.00	8.50
Body/Cuerpo	8.00	8.25			
Balance	8.00	8.25			
			TOTAL POINTS	TYPE SCORE	LOT SCORE
				80.00	89.00
					
Additional Notes: MUY FLORAL, CITRICO, NARANJA, PANELA, CHOCOLATE DE LECHE, VAINILLA, ALMENDRAS, CUERPO MEDIO					

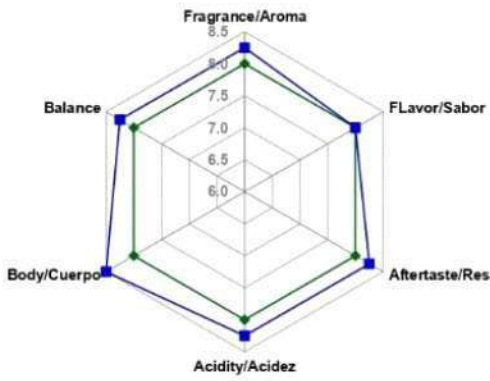
4.2.4 Catuaí lavado – Curva de tueste #1:

En la curva de tueste #1 correspondiente al café Catuaí lavado se observa el comportamiento sensorial del grano durante la evaluación de cata, donde la mayoría de los atributos presentan puntuaciones entre 8.00 y 8.50, reflejando un perfil sensorial uniforme y una calificación final de 87.25 puntos.

				
Farm name/Nombre Finca: CRISTEL GUEVARA		Number of Bags:		
Lot Number/Numero de lote: CATUAI LAVADO CURVA #1		Grading Location:		
Mill/Beneficio:		Coffee Year: 2025-2026		
ICO Number:		Grading Date: 23-ene-26		
Exporter:				
DIFFERENTIATION AND QUALIFICATION				
	STANDARD	LOT		
Fragrance/Aroma	8.00	8.00	Uniformity	6.00
FLavor/Sabor	8.00	8.00	Clean Cup/Limpieza	10.00
Aftertaste/Resabio	8.00	8.00	Sweetness/Dulzor	10.00
Acidity/Acidez	8.00	8.25	Cupper Points/Puntaje Catador	6.00
Body/Cuerpo	8.00	8.50		
Balance	8.00	8.25		
			TOTAL POINTS	80.00
				LOT SCORE
				87.25
				
Additional Notes: LIGERO FLORAL, MADEROSO, CITRICO, AZUCAR MORENA, LIGERA ASTRINGENCIA, CAFÉ MUY NUEVO.				

4.2.5 Catuai lavado – Curva de tueste #2:

En la curva 2 correspondiente al café Catuai lavado se observa el comportamiento sensorial del grano durante la evaluación de cata, donde la mayoría de los atributos presentan puntuaciones entre 8.00 y 8.50, reflejando un perfil sensorial uniforme y una calificación final de 87.75 puntos.

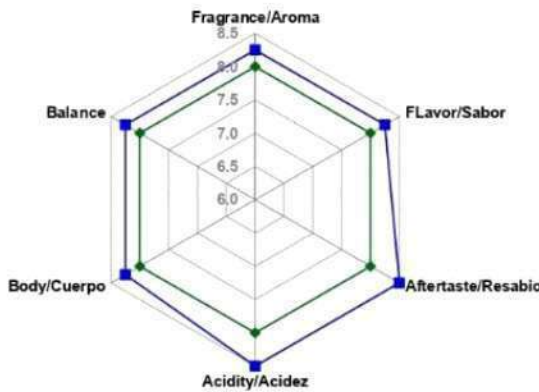
 																																																	
Farm name/Nombre Finca: CRISTEL GUEVARA Number of Bags:																																																	
Lot Number/Numero de lote: CATUAI LAVADO CURVA #2 Grading Location:																																																	
Mill/Beneficio: Coffee Year: 2025-2026																																																	
ICO Number: Grading Date: 23-ene-26																																																	
Exporter:																																																	
DIFFERENTIATION AND QUALIFICATION																																																	
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>STANDARD</th> <th>LOT</th> <th></th> <th>STANDARD</th> <th>LOT</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fragrance/Aroma</td> <td>8.00</td> <td>8.25</td> <td>Uniformity</td> <td>6.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>FLavor/Sabor</td> <td>8.00</td> <td>8.00</td> <td>Clean Cup/Limpieza</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>Aftertaste/Resabio</td> <td>8.00</td> <td>8.25</td> <td>Sweetness/Dulzor</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>Acidity/Acidez</td> <td>8.00</td> <td>8.25</td> <td>Cupper Points/Puntaje Catador</td> <td>6.00</td> <td>8.25</td> </tr> <tr> <td>Body/Cuerpo</td> <td>8.00</td> <td>8.50</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Balance</td> <td>8.00</td> <td>8.25</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>TOTAL POINTS</td> <td>80.00</td> <td>87.75</td> </tr> </tbody> </table>		STANDARD	LOT		STANDARD	LOT	Fragrance/Aroma	8.00	8.25	Uniformity	6.00	10.00	FLavor/Sabor	8.00	8.00	Clean Cup/Limpieza	10.00	10.00	Aftertaste/Resabio	8.00	8.25	Sweetness/Dulzor	10.00	10.00	Acidity/Acidez	8.00	8.25	Cupper Points/Puntaje Catador	6.00	8.25	Body/Cuerpo	8.00	8.50				Balance	8.00	8.25							TOTAL POINTS	80.00	87.75
	STANDARD	LOT		STANDARD	LOT																																												
Fragrance/Aroma	8.00	8.25	Uniformity	6.00	10.00																																												
FLavor/Sabor	8.00	8.00	Clean Cup/Limpieza	10.00	10.00																																												
Aftertaste/Resabio	8.00	8.25	Sweetness/Dulzor	10.00	10.00																																												
Acidity/Acidez	8.00	8.25	Cupper Points/Puntaje Catador	6.00	8.25																																												
Body/Cuerpo	8.00	8.50																																															
Balance	8.00	8.25																																															
			TOTAL POINTS	80.00	87.75																																												
																																																	
Additional Notes: FLORAL, CITRICO, PANELA, TE NEGRO, SIROPE DE MAPLE, LIGERA ASTRINGENCIA, FALTA DE REPOSO																																																	

4.2.6 Catuaí lavado – Curva de tueste #3:

En la curva de tueste #3 correspondiente al café Catuaí lavado se observa el comportamiento sensorial del grano durante la evaluación de cata, donde la mayoría de los atributos presentan puntuaciones entre 8.25 y 8.50, reflejando un perfil sensorial uniforme y una calificación final de 88.50 puntos.

			
Farm name/Nombre Finca: CRISTEL GUEVARA		Number of Bags:	
Lot Number/Numero de lote: CATUAI LAVADO CURVA #3		Grading Location:	
Mill/Beneficio:		Coffee Year: 2025-2026	
ICO Number:		Grading Date: 23-ene-26	
Exporter:			

DIFFERENTIATION AND QUALIFICATION					
	STANDARD	LOT		STANDARD	LOT
Fragrance/Aroma	8.00	8.25	Uniformity	6.00	10.00
FLavor/Sabor	8.00	8.25	Clean Cup/Limpieza	10.00	10.00
Aftertaste/Resabio	8.00	8.50	Sweetness/Dulzor	10.00	10.00
Acidity/Acidez	8.00	8.50	Cupper Points/Puntaje Catador	6.00	8.50
Body/Cuerpo	8.00	8.25			
Balance	8.00	8.25			
			TOTAL POINTS	80.00	88.50



Additional Notes:
FLORAL, CITRICO, TORONJA, CHOCOLATE DE LECHE, CANELA, TOFFI, LIGERA ASTRINGENCIA, FALTA DE REPOSO

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

5. Discusión de resultados

5.1 Discusión de Curvas de tueste

5.1.1 Discusión de análisis sensorial de la variedad Typica Lavado – Curva de Tueste #1

La Curva de Tueste #1 de la variedad Typica Lavado obtuvo una puntuación final de 87.50 puntos, clasificándose como un café de especialidad de acuerdo con el protocolo de evaluación de la Specialty Coffee Association (SCA). Los atributos de fragancia/aroma, resabio, acidez, cuerpo y balance alcanzaron una valoración de 8.25 puntos, mientras que el sabor obtuvo 8.00 puntos. Además, la muestra presentó uniformidad, limpieza de taza y dulzor con la máxima puntuación (10.00), indicando que no se detectaron defectos durante la evaluación sensorial. El puntaje otorgado por el catador fue de 8.25 puntos.

Desde el punto de vista sensorial, esta curva permitió desarrollar un perfil aromático caracterizado por notas florales, caramelo, dulce de leche, panela y cítricos, principalmente mandarina, lo que refleja una adecuada conservación de los compuestos aromáticos propios de la variedad Typica durante el proceso de tueste. Estas características evidencian un equilibrio entre dulzor y acidez, aportando una taza agradable y de buena complejidad aromática.

La acidez obtuvo una calificación de 8.25, indicando una acidez brillante pero equilibrada, mientras que el cuerpo alcanzó el mismo valor, proporcionando una sensación táctil media y agradable en boca. El balance también fue calificado con 8.25 puntos, lo que demuestra que ninguno de los atributos predominó

excesivamente sobre los demás y que el perfil sensorial se mantuvo armónico durante toda la degustación.

En conjunto, los resultados muestran que la Curva de Tueste #1 favoreció el desarrollo de una taza limpia, dulce y equilibrada, resaltando principalmente las notas caramelizadas y cítricas características del café Typica lavado, aunque todavía existe margen para potenciar la intensidad aromática y la complejidad sensorial mediante ajustes en el perfil de tueste.

5.1.2 Discusión de análisis sensorial de la variedad Typica Lavado – Curva de Tueste #2

La Curva de Tueste #2 alcanzó una puntuación final de 88.50 puntos, superando en un punto a la Curva #1 y manteniéndose dentro de la categoría de café de especialidad. En esta evaluación se observó un incremento en los atributos de resabio, acidez y puntaje del catador, los cuales alcanzaron 8.50 puntos, mientras que la fragancia/aroma, sabor, cuerpo y balance obtuvieron 8.25 puntos. Asimismo, la uniformidad, limpieza de taza y dulzor conservaron la puntuación máxima de 10.00 puntos, confirmando la excelente calidad física y sensorial de la muestra.

El perfil sensorial estuvo compuesto por notas muy florales, cítricas, dulce de leche, caramelo, mandarina y panela, observándose una mayor intensidad aromática respecto a la Curva #1. La presencia de notas dulces combinadas con matices cítricos permitió obtener una taza más compleja y expresiva, conservando la identidad característica de la variedad Typica Lavado.

El incremento en la puntuación del resabio indica que las sensaciones agradables permanecieron durante mayor tiempo después de la degustación, mientras que la mejora en la acidez demuestra un perfil más definido, brillante y agradable. Estas características sugieren que el perfil térmico aplicado durante esta curva favoreció una mejor transformación de los compuestos químicos responsables del aroma y del sabor, permitiendo expresar con mayor claridad las características propias del café.

En términos generales, la Curva de Tueste #2 mostró un avance importante respecto a la primera curva, obteniendo una taza más aromática, con mayor persistencia del sabor y una acidez mejor integrada, factores que contribuyeron al incremento de la puntuación final otorgada por el panel de catación.

5.1.3 Discusión de análisis sensorial de la variedad Typica Lavado – Curva de Tueste #3

La Curva de Tueste #3 obtuvo la mayor puntuación de las tres evaluadas, alcanzando 89.00 puntos, lo que evidencia que este perfil de tueste fue el que mejor expresó el potencial sensorial de la variedad Typica Lavado. Los atributos de fragancia/aroma, sabor, resabio, acidez y puntaje del catador recibieron 8.50 puntos, mientras que el cuerpo y el balance obtuvieron 8.25 puntos. Al igual que en las curvas anteriores, la uniformidad, limpieza de taza y dulzor alcanzaron la puntuación máxima de 10.00 puntos, confirmando una excelente consistencia y ausencia de defectos.

Durante la catación se identificaron notas muy florales, cítricas, naranja, panela, chocolate de leche, vainilla y almendras, acompañadas de un cuerpo medio, lo que demuestra un perfil aromático considerablemente más complejo que el observado en las dos curvas anteriores. La incorporación de notas de chocolate, vainilla y frutos secos evidencia que el desarrollo del tueste permitió una mayor formación de compuestos derivados de las reacciones de Maillard y caramelización, sin perder las características florales y cítricas propias de la variedad.

La mejora simultánea en la fragancia, el sabor y el resabio indica una taza más intensa y con mayor persistencia de los atributos positivos. Asimismo, la acidez conservó un comportamiento brillante y equilibrado, complementándose adecuadamente con el cuerpo medio y el balance general de la bebida. Estas características permitieron obtener una experiencia sensorial más completa y armoniosa.

Los resultados permiten inferir que la Curva de Tueste #3 fue la más eficiente para potenciar las cualidades organolépticas del café Typica Lavado, ya que presentó la mayor complejidad aromática, una mejor integración entre dulzor y acidez, así como el puntaje global más alto entre las tres curvas evaluadas.

5.1.4 Discusión de análisis sensorial de la variedad Catuaí Lavado – Curva de Tueste #1

La Curva de Tueste #1 de la variedad Catuaí Lavado obtuvo una puntuación final de 87.25 puntos, clasificándose como un café de especialidad de acuerdo con el

protocolo de evaluación de la Specialty Coffee Association (SCA). Los atributos de fragancia/aroma, sabor y resabio alcanzaron una valoración de 8.00 puntos, mientras que la acidez obtuvo 8.25 puntos, el cuerpo 8.50 puntos y el balance 8.25 puntos. Asimismo, la uniformidad, limpieza de taza y dulzor recibieron la puntuación máxima de 10.00 puntos, indicando que durante la evaluación sensorial no se detectaron defectos en la muestra. El puntaje otorgado por el catador fue de 8.25 puntos.

Desde el punto de vista sensorial, esta curva permitió desarrollar un perfil aromático caracterizado por notas ligeramente florales, maderosas, cítricas y de azúcar morena, acompañado de una ligera astringencia propia de un café muy nuevo. Estas características reflejan un perfil de taza con predominio de notas frescas y dulces, conservando la identidad varietal del Catuaí lavado y evidenciando una adecuada preservación de sus compuestos aromáticos durante el proceso de tueste.

La acidez obtuvo una calificación de 8.25 puntos, indicando una acidez agradable y equilibrada que aporta frescura a la bebida, mientras que el cuerpo alcanzó 8.50 puntos, proporcionando una sensación táctil más consistente y envolvente en comparación con otros atributos. El balance fue calificado con 8.25 puntos, demostrando una adecuada integración entre las características sensoriales, sin que alguno de los atributos predominara excesivamente sobre los demás durante la degustación.

En conjunto, los resultados muestran que la Curva de Tueste #1 favoreció el desarrollo de una taza limpia, dulce y equilibrada, resaltando principalmente las

notas florales, cítricas y de azúcar morena características del Catuaí lavado. No obstante, la presencia de una ligera astringencia y la limitada complejidad aromática indican que aún existía margen para optimizar el perfil de tueste y potenciar la expresión sensorial de esta variedad.

5.1.5 Discusión de análisis sensorial de la variedad Catuaí Lavado – Curva de Tueste #2

La Curva de Tueste #2 alcanzó una puntuación final de 87.75 puntos, superando en 0.50 puntos a la Curva #1 y manteniéndose dentro de la categoría de café de especialidad. En esta evaluación se observó un incremento en los atributos de fragancia/aroma, resabio, acidez, balance y puntaje del catador, los cuales alcanzaron 8.25 puntos, mientras que el sabor conservó 8.00 puntos y el cuerpo mantuvo la mayor valoración con 8.50 puntos. De igual manera, la uniformidad, limpieza de taza y dulzor conservaron la puntuación máxima de 10.00 puntos, confirmando la excelente calidad física y sensorial de la muestra.

El perfil sensorial estuvo compuesto por notas florales, cítricas, panela, té negro y sirope de maple, observándose una mayor complejidad aromática respecto a la Curva #1. La incorporación de notas dulces más definidas permitió obtener una taza con mayor riqueza sensorial, aunque durante la evaluación todavía se percibió una ligera astringencia atribuida a la falta de reposo del café después del tueste.

El incremento en la puntuación del resabio indica que las sensaciones agradables permanecieron durante mayor tiempo después de la degustación, mientras que la

mejora en la fragancia y el balance evidencia una mejor integración de los atributos sensoriales. Asimismo, la acidez mantuvo un comportamiento brillante y agradable, complementándose con un cuerpo consistente que proporcionó una experiencia más completa durante la catación. Estas características sugieren que el perfil térmico aplicado durante esta curva favoreció una mejor transformación de los compuestos responsables del aroma y del sabor, permitiendo expresar con mayor claridad las características propias del Catuaí lavado.

En términos generales, la Curva de Tueste #2 mostró una mejoría respecto a la primera curva, obteniendo una taza más compleja y con mayor persistencia de los atributos positivos. Sin embargo, la ligera astringencia observada durante la evaluación sugiere que un mayor tiempo de reposo posterior al tueste podría favorecer una expresión aún más completa del perfil sensorial del café.

5.1.6 Discusión de análisis sensorial de la variedad Catuaí Lavado – Curva de Tueste #3

La Curva de Tueste #3 obtuvo la mayor puntuación de las tres evaluadas, alcanzando 88.50 puntos, lo que evidencia que este perfil de tueste fue el que mejor expresó el potencial sensorial de la variedad Catuaí Lavado. Los atributos de fragancia/aroma y sabor recibieron 8.25 puntos, mientras que el resabio, la acidez y el puntaje del catador alcanzaron 8.50 puntos. El cuerpo y el balance obtuvieron 8.25 puntos, y al igual que en las curvas anteriores, la uniformidad, limpieza de taza

y dulzor alcanzaron la puntuación máxima de 10.00 puntos, confirmando una excelente consistencia y ausencia de defectos en la bebida.

Durante la catación se identificaron notas florales, cítricas, toronja, chocolate de leche, canela y toffi, acompañadas de una ligera astringencia atribuida a la falta de reposo del café. Este perfil evidencia una complejidad aromática superior a la observada en las curvas anteriores, incorporando notas dulces y especiadas que enriquecieron significativamente la experiencia sensorial sin perder la frescura característica de la variedad.

La mejora simultánea en el sabor, el resabio y la acidez indica una taza más expresiva y con mayor persistencia de las características positivas después de la degustación. La incorporación de notas de chocolate de leche, canela y toffi evidencia que el desarrollo del tueste favoreció una mayor formación de compuestos derivados de las reacciones de Maillard y caramelización, permitiendo obtener una bebida más compleja y equilibrada. Aunque el cuerpo disminuyó ligeramente respecto a las curvas anteriores, mantuvo una sensación agradable en boca y se integró adecuadamente con el resto de los atributos sensoriales.

Los resultados permiten inferir que la Curva de Tueste #3 fue la más eficiente para potenciar las cualidades organolépticas del café Catuaí Lavado, ya que presentó la mayor complejidad aromática, una mejor persistencia del sabor y el puntaje global más alto entre las tres curvas evaluadas. A pesar de la ligera astringencia registrada por el catador, la muestra demostró un perfil sensorial sobresaliente que confirma el efecto positivo del perfil de tueste aplicado sobre la calidad final de la taza.

5.1.7 Discusión de análisis general de las curvas de tueste de las variedades Typica Lavado y Catuaí Lavado

Los resultados obtenidos en las seis curvas de tueste demuestran que tanto la variedad Typica Lavado como Catuaí Lavado alcanzaron puntuaciones superiores a 87 puntos, clasificándose en todos los casos como cafés de especialidad. Este comportamiento confirma que ambas variedades poseen un alto potencial para desarrollar perfiles sensoriales de excelente calidad cuando se aplican perfiles de tueste adecuados.

En ambas variedades se observó una evolución progresiva de la calidad sensorial a medida que avanzaron las curvas de tueste. En el caso de Typica Lavado, la puntuación aumentó de 87.50 en la Curva #1, a 88.50 en la Curva #2 y alcanzó 89.00 puntos en la Curva #3, mientras que Catuaí Lavado presentó una evolución de 87.25 a 87.75 y finalmente 88.50 puntos. Estos resultados evidencian que los ajustes realizados en el perfil térmico favorecieron el desarrollo de las características organolépticas en ambas variedades, incrementando progresivamente la complejidad aromática, la persistencia del sabor y el equilibrio de la bebida.

Al comparar ambas variedades, se observó que Typica Lavado obtuvo las puntuaciones más altas en las tres curvas evaluadas, alcanzando un máximo de 89.00 puntos, lo que indica una mayor capacidad para expresar atributos sensoriales complejos bajo las condiciones de tueste aplicadas. Esta variedad destacó por presentar perfiles aromáticos con notas florales, cítricas, caramelo, dulce de leche, panela, vainilla, chocolate de leche y almendras, reflejando una

evolución constante hacia una taza más compleja y armoniosa conforme aumentó el desarrollo del tueste. Por su parte, Catuaí Lavado también mostró una mejora progresiva, conservando notas florales y cítricas durante las tres curvas e incorporando posteriormente atributos como panela, té negro, sirope de maple, toronja, chocolate de leche, canela y toffi, lo que demuestra una adecuada respuesta al proceso de tueste, aunque con una expresión aromática ligeramente menor en comparación con Typica.

Otro aspecto relevante fue que las seis muestras conservaron la puntuación máxima en los atributos de uniformidad, limpieza de taza y dulzor, indicando una excelente calidad física y sensorial del café, así como la ausencia de defectos durante la evaluación. De igual manera, la acidez, el cuerpo y el balance se mantuvieron dentro de valores elevados en todas las curvas, evidenciando una buena integración de los atributos sensoriales independientemente de la variedad evaluada.

En el caso específico de Catuaí Lavado, el catador registró una ligera astringencia en las tres curvas y señaló la falta de reposo en las curvas dos y tres, observaciones que sugieren que el café aún no había alcanzado su estabilización sensorial después del tueste. Por el contrario, las muestras de Typica Lavado no presentaron este tipo de observaciones, lo que pudo contribuir a obtener puntuaciones ligeramente superiores y una percepción sensorial más limpia durante la catación.

En términos generales, los resultados permiten concluir que el perfil de tueste influyó directamente en la calidad sensorial de ambas variedades, favoreciendo una evolución gradual desde perfiles aromáticos más simples hacia otros de mayor complejidad y mejor integración de los atributos. La Curva de Tueste #3 fue la que

presentó el mejor desempeño en ambas variedades, alcanzando las puntuaciones más altas y desarrollando perfiles aromáticos más completos como consecuencia de un adecuado equilibrio entre las reacciones de Maillard, la caramelización y el desarrollo final del grano. Estos resultados sugieren que la optimización del perfil de tueste constituye un factor determinante para optimizar el potencial organoléptico del café, independientemente de la variedad, aunque la respuesta sensorial obtenida evidencia que Typica Lavado presentó una mayor capacidad para expresar complejidad aromática y alcanzar puntuaciones superiores, mientras que Catuai Lavado destacó por su consistencia, dulzor y equilibrio, mostrando igualmente un comportamiento sobresaliente dentro de la categoría de cafés de especialidad.

5.2 Discusión de resultados estadísticos

Cuadro I. Correlaciones lineales de Pearson (r) entre tiempo y temperatura para las variedades de café y su respectivo proceso.

VARIEDAD	PROCESO	TUESTE #	r	P	Int.
Typica	Lavado	1	0.91448	<0.0001	**
Typica	Lavado	2	0.87306	<0.0001	**
Typica	Lavado	3	0.71122	0.0004	**
Catuaí	Lavado	1	0.94034	<0.0001	**
Catuaí	Lavado	2	0.86377	<0.0001	**
Catuaí	Lavado	3	0.75358	<0.0001	**

El cuadro realizado resume los resultados de las correlaciones entre el tiempo y la temperatura durante el proceso de tueste de las variedades Typica y Catuaí. En todos los casos se observaron coeficientes de correlación positivos y altos ($r = 0.71122$ a 0.94034), además de ser estadísticamente significativos ($p < 0.01$), lo que indica que ambas variables estuvieron estrechamente relacionadas durante el desarrollo de cada curva de tueste. Esto significa que, a medida que transcurría el tiempo, la temperatura aumentaba de manera constante, mostrando un comportamiento similar en ambas variedades.

Se observó además que los coeficientes de correlación tendieron a disminuir desde el Tueste 1 hasta el Tueste 3 en ambas variedades. Sin embargo, la relación entre las variables continuó siendo fuerte y significativa en todos los tratamientos. Este

comportamiento sugiere que, aunque las curvas de mayor temperatura presentaron una dinámica de calentamiento ligeramente diferente, la asociación entre tiempo y temperatura se mantuvo estable.

Inicialmente se esperaba encontrar una correlación inversa entre el tiempo y la temperatura, debido a que, en teoría, temperaturas más altas permiten alcanzar el grado de tueste deseado en un menor tiempo. No obstante, los resultados obtenidos mostraron una correlación positiva. Esto se debe a que el análisis se realizó utilizando mediciones de temperatura registradas cada 30 segundos durante cada curva de tueste. Por lo tanto, conforme avanzaba el tiempo, la temperatura también aumentaba progresivamente, generando una relación directa entre ambas variables. En consecuencia, la correlación encontrada refleja el comportamiento de la curva de calentamiento y no necesariamente la duración total requerida para completar el tueste.

En conjunto, los resultados indican que existió una fuerte relación entre el tiempo y la temperatura durante el proceso de tueste de ambas variedades de café. Asimismo, las temperaturas más altas favorecieron un mayor desarrollo sensorial, destacando la importancia de controlar adecuadamente estas variables para optimizar la calidad final del producto.

Cuadro II. Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para cada uno de los lotes estudiados. Variable: Diferenciación.

LOTE	MEDIA ($\bar{x}$)	RANGO	VARIANZA	DESV. STD	C.V.
Catuaí lavado Curva #1	8.725	2.00	0.7979	0.8932	10.24%
Catuaí lavado Curva #2	8.775	2.00	0.7285	0.8535	9.72%
Catuaí lavado Curva #3	8.850	1.75	0.6416	0.8010	9.05%
Typica lavado Curva #1	8.925	2.00	0.8618	0.9283	10.40%
Typica lavado Curva #2	8.850	1.75	0.6416	0.8010	9.05%
Typica lavado Curva #3	8.900	1.75	0.5856	0.7655	8.60%

El cuadro II presenta los valores medios de diferenciación obtenidos para cada uno de los lotes evaluados, permitiendo comparar su comportamiento. Los resultados muestran que el mayor valor medio (8.925) correspondió al lote Typica lavado, curva #1, lo que indica que este tratamiento fue el que alcanzó la mejor calificación promedio en el atributo de diferenciación. En contraste, el menor valor medio se registró en el lote Catuaí lavado, curva #1, evidenciando un desempeño inferior respecto a los demás tratamientos evaluados.

Por otra parte, aunque el lote Typica lavado, curva #3 obtuvo una media ligeramente inferior (8.90), destacó por presentar el menor coeficiente de variación (8.60%), lo que refleja una mayor uniformidad y precisión en las evaluaciones realizadas por los catadores. Un coeficiente de variación más bajo indica que las puntuaciones fueron más homogéneas, lo cual aporta mayor confiabilidad a la calificación obtenida y sugiere un perfil sensorial más estable.

En conjunto, estos resultados permiten inferir que, si bien el lote Typica lavado, curva #1 alcanzó la media más alta de diferenciación, el lote Typica lavado, curva #3 mostró un comportamiento más consistente entre las evaluaciones. Por ello, al considerar tanto la calidad de la calificación como la precisión de los resultados, este último puede considerarse el lote con el desempeño más favorable en el atributo de diferenciación.

Cuadro III. Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para las variables Temperatura y Score.

VARIABLE	MEDIA	DESV. STANDARD
Temperatura	350	50.0
Score	88.33	0.76

El cuadro III muestra que la temperatura promedio registrada durante el proceso fue de 350 °C, mientras que el Score promedio alcanzó un valor de 88.33, resultados que se consideran aceptables para las condiciones establecidas en el presente estudio. Estos valores indican que el proceso se desarrolló dentro de un rango adecuado, permitiendo obtener mediciones consistentes y comparables entre los tratamientos evaluados.

La temperatura constituye uno de los factores más importantes durante el proceso de tueste ya que influye directamente en el desarrollo de las reacciones físicas y químicas responsables de la formación del aroma, sabor y color del café. Mantener una temperatura promedio de 350 °C favorece un desarrollo uniforme del grano, evitando tanto un tueste insuficiente como un sobrecalentamiento que pueda afectar negativamente la calidad sensorial del producto final.

Por otra parte, el Score promedio de 88.33 refleja un nivel de desempeño aceptable en la evaluación realizada, lo que sugiere que las condiciones de procesamiento permitieron obtener resultados confiables y con un comportamiento relativamente homogéneo entre las muestras. Aunque este valor no representa el máximo posible,

evidencia que el proceso fue estable y que las diferencias observadas entre los tratamientos responden principalmente a las características propias de cada lote y no a variaciones significativas en las condiciones de evaluación.

En conjunto, estos resultados indican que tanto la temperatura promedio como el Score obtenido proporcionan una base adecuada para la interpretación de los análisis posteriores, ya que demuestran que el proceso experimental se desarrolló bajo condiciones controladas, permitiendo evaluar con mayor precisión el efecto de los tratamientos sobre la calidad del café.

Cuadro III. Correlación y Ecuación de Regresión Lineal Simple con Y=Score y X=Temperatura.

VARIABLES CORRELACIONADAS	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	ECUACIÓN DE REGRESIÓN	COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN (r^2)
Temp = x Score = y	0.9819	$\hat{y} = 83.08 +$ 0.015	0.9643

El cuadro III muestra una alta correlación positiva entre la temperatura y el Score, lo que indica que ambas variables presentan una relación directa. Los resultados evidencian que, a medida que la temperatura aumenta dentro del rango evaluado, el Score también tiende a incrementarse. Este comportamiento sugiere que la

temperatura desempeña un papel importante en el desarrollo de las características que contribuyen a una mejor calificación del café durante la evaluación.

Asimismo, el coeficiente de determinación (r^2) alcanzó un valor elevado, lo que indica que el modelo de regresión presenta un buen ajuste a los datos experimentales. Desde el punto de vista práctico, estos resultados permiten inferir que la temperatura es un factor determinante en el comportamiento del Score.

En conjunto, la elevada correlación positiva y el alto coeficiente de determinación demuestran que el modelo explica adecuadamente la relación entre la temperatura y el Score, respaldando la importancia de controlar este parámetro para optimizar el desempeño y la calidad del café durante el proceso de tueste.

5.2.1 Modelo Estadístico final basado en los seis escenarios evaluados.

A partir del análisis de los seis escenarios evaluados, se obtuvo el siguiente modelo estadístico para explicar el comportamiento de la puntuación promedio de la percepción sensorial:

$$\text{Scopro} = 9.6621 - 0.1452 (\text{psc}) + 0.1596 (\text{caire}) - 0.1532 (\text{sc}).$$

El modelo presentó un coeficiente de determinación ($r^2 = 0.7858$), lo que indica que existe un ajuste adecuado entre el modelo y los datos obtenidos durante el estudio. Esto significa que la ecuación representa de manera aceptable el comportamiento de la percepción sensorial en función de las variables analizadas.

Donde:

- Scopro = puntaje promedio de la percepción sensorial.
- Psc = peso de salida del café.
- Caire = cambio de flujo de aire.
- Sc = salida del café.

De acuerdo con los coeficientes del modelo, el cambio de flujo de aire (Caire) presentó un efecto positivo sobre la puntuación promedio, lo que sugiere que un mayor flujo de aire tiende a favorecer una mejor percepción sensorial del café. Por el contrario, el peso de salida del café (psc) y la salida del café (sc) mostraron coeficientes negativos, indicando que, al aumentar estas variables, la puntuación promedio tiende a disminuir ligeramente.

Aunque las variables incluidas en el modelo no presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), fueron las que mostraron mayor influencia sobre la percepción sensorial en comparación con las demás variables evaluadas.

En general, el modelo obtenido constituye una herramienta útil para describir la relación entre las variables del proceso y la percepción sensorial del café. No obstante, se recomienda continuar investigando e incorporar otras variables que puedan mejorar el ajuste y la capacidad predictiva del modelo.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Conclusiones

1. La aplicación de diferentes perfiles de tueste influyó directamente en la calidad sensorial de las variedades Typica y Catuaí procesadas mediante beneficio lavado. En ambas variedades se observó un incremento progresivo de la puntuación sensorial a medida que se modificaron las condiciones del proceso de tueste, evidenciando que el control de variables como el tiempo, la temperatura y el flujo de aire constituyen un factor determinante para maximizar el potencial organoléptico del café de especialidad.
2. La variedad Typica lavado presentó el mejor desempeño sensorial entre los tratamientos evaluados, alcanzando una puntuación máxima de 89.00 puntos en la Curva de Tueste #3. Este perfil permitió desarrollar una mayor complejidad aromática, caracterizada por notas florales, cítricas, chocolate de leche, vainilla, almendras y panela, además de una adecuada integración entre acidez, cuerpo y balance, confirmando una mayor capacidad de esta variedad para expresar atributos sensoriales de alta calidad bajo las condiciones experimentales aplicadas.
3. La variedad Catuaí lavado también respondió favorablemente a la modificación de los perfiles de tueste, alcanzando una puntuación máxima de 88.50 puntos en la Curva de Tueste #3. Aunque presentó una ligera astringencia durante la evaluación sensorial, atribuida al escaso tiempo de reposo posterior al tueste, mantuvo una excelente uniformidad, limpieza de taza y dulzor, demostrando un

comportamiento estable y un alto potencial para la producción de cafés de especialidad.

4. El análisis estadístico reveló una relación significativa entre las variables del proceso de tueste y la calidad del café. Las correlaciones de Pearson obtenidas entre el tiempo y la temperatura fueron positivas y altamente significativas ($r = 0.71122$ a 0.94034 ; ($p < 0.01$), indicando que ambas variables mantuvieron un comportamiento directamente relacionado durante el desarrollo de las curvas de tueste. Asimismo, la regresión lineal simple mostró una asociación muy alta entre la temperatura y el puntaje sensorial ($r = 0.9819$; $r^2 = 0.9643$), evidenciando que la temperatura constituye uno de los factores con mayor influencia sobre la calidad final de la bebida.
5. El modelo de regresión lineal múltiple desarrollado permitió identificar que el cambio de flujo de aire ejerció un efecto positivo sobre la percepción sensorial promedio del café, mientras que el peso de salida y el momento de salida del café presentaron una influencia negativa. Aunque estas variables no alcanzaron significancia estadística individual, el modelo explicó el 78.58 % de la variabilidad de la percepción sensorial ($r^2 = 0.7858$), demostrando su utilidad para describir el comportamiento del proceso y apoyar la toma de decisiones durante el diseño de perfiles de tueste.

6. En términos generales, las seis curvas de tueste evaluadas produjeron cafés con puntuaciones superiores a 87 puntos, clasificándose como cafés de especialidad de acuerdo con el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA). Los resultados obtenidos confirman que la optimización del perfil de tueste permite potenciar las características propias de cada variedad y constituye una herramienta tecnológica fundamental para incrementar el valor agregado y la competitividad del café de especialidad producido en Boquete, provincia de Chiriquí.

CAPÍTULO 7

RECOMENDACIONES

Recomendaciones

1. Se recomienda a los productores y tostadores de café de especialidad implementar un control riguroso de las variables del proceso de tueste, especialmente la temperatura, el tiempo, el flujo de aire y el punto de finalización del tueste, debido a que estas demostraron ejercer una influencia directa sobre la calidad sensorial y la puntuación final del café.
2. Se sugiere utilizar perfiles de tueste similares a la Curva de Tueste #3 como punto de referencia para las variedades Typica y Catuaí, ya que este perfil permitió obtener las mayores puntuaciones sensoriales y favoreció el desarrollo de una mayor complejidad aromática, equilibrio y persistencia del sabor en ambas variedades.
3. Se recomienda respetar un período adecuado de reposo del café después del tueste antes de realizar la evaluación sensorial, con el propósito de permitir la estabilización de los compuestos aromáticos y reducir la posible presencia de astringencia, especialmente en la variedad Catuaí.
4. Se recomienda ampliar futuras investigaciones incorporando otras variedades de *Coffea arabica* cultivadas en Panamá, como Geisha, Caturra, Bourbon o Pacamara, con el fin de comparar su respuesta a diferentes perfiles de tueste y generar información que contribuya a optimizar los procesos de tueste para distintas condiciones de producción.

5. Se sugiere incrementar el número de tratamientos experimentales y evaluar un mayor rango de perfiles de tueste, incluyendo variaciones en la velocidad de calentamiento, el desarrollo posterior al primer crack y diferentes niveles de flujo de aire, con el objetivo de identificar combinaciones que maximicen la calidad sensorial del café.
6. Se recomienda desarrollar estudios que incorporen un mayor número de muestras, cosechas y catadores certificados, así como variables fisicoquímicas del grano (humedad, densidad, actividad de agua y color del tueste), con el propósito de fortalecer los modelos estadísticos y mejorar la capacidad predictiva de la relación entre el proceso de tueste y la calidad sensorial.
7. Se recomienda promover la aplicación de herramientas de análisis estadístico, como el SAS, en la industria cafetalera panameña para apoyar la toma de decisiones durante el diseño de perfiles de tueste, permitiendo optimizar la calidad del producto, estandarizar los procesos y aumentar la competitividad del café de especialidad en los mercados nacionales e internacionales.
8. Se recomienda que los resultados obtenidos en esta investigación sean considerados como una base técnica para el desarrollo de protocolos de tueste adaptados a las condiciones del café producido en Boquete, favoreciendo la diferenciación del producto, el incremento de su valor agregado y el fortalecimiento de la cadena de producción del café de especialidad en Panamá.

CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias bibliográficas

- Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. (2026). Evaluación sensorial de 22 variedades de café arábica. <https://www.idiap.gob.pa/evaluacion-sensorial-de-22-variedades-de-cafe-arabica/>
- Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. (2024). Investigadores de la Universidad Tecnológica de Panamá estudiarán el perfil químico de los aromas y sabores del café panameño. <https://www.senacyt.gob.pa/investigadores-de-la-universidad-tecnologica-de-panama-estudiaran-el-perfil-quimico-de-los-aromas-y-sabores-del-cafe-panameno/>
- Vega, A., De León, J. A., 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. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642021000100089
- Pérez, A., Salgado, T., & Rico, F. (2023). Influencia de las propiedades fisicoquímicas del suelo sobre la calidad sensorial del café Geisha (Coffea arabica L.) cultivado en Boquete, Chiriquí, Panamá. Universidad Tecnológica de Panamá. <https://publicaciones.apanac.org.pa/index.php/congreso2025/article/view/24/46>

- Food and Agriculture Organization. (2023). FAOSTAT: Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- International Coffee Organization. (2021). Coffee Development Report 2021: The future of coffee. International Coffee Organization.
https://issuu.com/internationalcoffeeorg/docs/coffee_development_report_2021_final_version/13?e=32&o=1
- Specialty Coffee Association. (2023). Coffee Value Assessment System.
<https://sca.coffee/value-assessment>
- Samper, L. F., & Quiñones-Ruiz, X. F. (2017). Towards a balanced sustainability vision for the coffee industry. <https://www.mdpi.com/2079-9276/6/2/17>
- Specialty Coffee Association. (2023). Coffee Value Assessment.
<https://sca.coffee/research/coffee-standards>
- Asociación de Cafés Especiales de Panamá. (2024). Sobre SCAP. <https://scap-panama.com/>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2024). Panamá en cifras. Contraloría General de la República de Panamá. <https://www.inec.gob.pa/>
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2023). Cadena agroalimentaria del café en Panamá. Gobierno de Panamá. <https://mida.gob.pa/>
- Peterson, J., Avelino, J., & Bertrand, B. (2022). Geisha coffee: Origin, expansion and quality attributes. World Coffee Research.
<https://varieties.worldcoffeeresearch.org/varieties/geisha-panama>

World Coffee Research. (2019). Variety catalog.

https://varieties.worldcoffeeresearch.org/es?_gl=1*kmyj8a*_up*MQ..*_ga*N DczNTI3MTkxLjE3ODQ2ODg5OTE.*_ga_K1B2K05JTC*czE3ODQ2ODg5ODgkbzEkZzAkdDE3ODQ2ODg5ODgkaiYwJGwwJGgw

International Coffee Organization. (2021). Coffee Development Report 2021: The future of coffee. International Coffee Organization.

<https://www.ico.org/documents/cy2022-23/coffee-development-report-2021.pdf>

Puerta-Quintero, G. I. (2012). Factores, procesos y controles en la fermentación del café. Cenicafé.

<https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/327/1/avt0422.pdf>

World Coffee Research. (2023). Coffee Processing Methods.

https://www.researchgate.net/publication/362520691_Coffee_Processing_Methods_Coffee_Quality_and_Related_Environmental_Issues

Clarke, R. J., & Vitzthum, O. G. (2008). Coffee: Recent developments.

https://www.researchgate.net/publication/327549658_Coffee_Recent_Developments

Illy, A., & Viani, R. (2005). Espresso coffee: The science of quality (2.^a ed.).

Elsevier Academic Press.

https://www.academia.edu/98161715/Andrea_Illy_and_Rinantonio_Viani_Editors_Espresso_Coffee_The_Science_of_Quality_2nd_ed_Elsevier_Academic_Press_2005_ISBN_0_12_370371_9

Rao, S. (2014). The Coffee Roaster's Companion.

<https://es.scribd.com/document/522196700/Coffee-Roasters-Companion>

Anexos

Anexo I: Datos estadísticos por tueste sobre Correlaciones lineales de Pearson (r) entre tiempo y temperatura para las variedades de café y su respectivo proceso.

a.m.

Resultados: Programa 1

corre tiempo vs temperatura Tueste #1 Typica lavado

Procedimiento CORR

2 Variables:	tie tem
---------------------	---------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
tie	30	7.25000	4.40170	217.50000	0	14.50000
tem	30	312.06667	62.45050	9362	198.00000	399.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 30 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	tie	tem
tie	1.00000	0.91448 <.0001
tem	0.91448 <.0001	1.00000

) a.m.

Resultados: Programa 2

corre tiempo vs temp tueste #2 Typica lavado**Procedimiento CORR**

2 Variables:	tie tem
---------------------	---------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
tie	24	5.75000	3.53553	138.00000	0	11.50000
tem	24	326.12500	53.46540	7827	235.00000	398.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 24 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	tie	tem
tie	1.00000	0.87306 <.0001
tem	0.87306 <.0001	1.00000

Resultados: Programa 3

corre tiempo vs temperatura Tueste #3 Typica lavado**Procedimiento CORR**

2 Variables: tie tem

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
tie	20	4.75000	2.95804	95.00000	0	9.50000
tem	20	338.05000	50.41561	6761	255.00000	401.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 20 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	tie	tem
tie	1.00000	0.71122 0.0004
tem	0.71122 0.0004	1.00000

corre tiempo vs temperatura Tueste #1 Catuaí lavado

Procedimiento CORR

2 Variables: tie tem

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
tie	26	6.25000	3.82426	162.50000	0	12.50000
tem	26	313.34615	63.74383	8147	208.00000	404.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 26 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	tie	tem
tie	1.00000	0.94034 <.0001
tem	0.94034 <.0001	1.00000

m.

Resultados: Programa 5

corre tiempo vs temperatura Tueste #2 Catuaí lavado**Procedimiento CORR**

2 Variables:	tie tem
---------------------	---------

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
tie	21	5.00000	3.10242	105.00000	0	10.00000
tem	21	327.61905	53.83816	6880	240.00000	404.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 21 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	tie	tem
tie	1.00000	0.86377 <.0001
tem	0.86377 <.0001	1.00000

a.m.

Resultados: Programa 6

corre tiempo vs temperatura Tueste #3 Catuaí lavado**Procedimiento CORR**

2 Variables: tie tem

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
tie	21	5.00000	3.10242	105.00000	0	10.00000
tem	21	337.90476	54.12939	7096	250.00000	409.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 21 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	tie	tem
tie	1.00000	0.75358 <.0001
tem	0.75358 <.0001	1.00000

Anexo II: Datos estadísticos para Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para cada uno de los lotes estudiados. Variable: Diferenciación.

Procedimiento MEANS

lote=cl1

Analysis Variable : diferen					
N	Media	Rango	Varianza	Desv. est	Coef. de variación
10	8.7250000	2.0000000	0.7979167	0.8932618	10.2379577

lote=cl2

Analysis Variable : diferen					
N	Media	Rango	Varianza	Desv. est	Coef. de variación
10	8.7750000	2.0000000	0.7284722	0.8535058	9.7265623

lote=cl3

Analysis Variable : diferen					
N	Media	Rango	Varianza	Desv. est	Coef. de variación
10	8.8500000	1.7500000	0.6416667	0.8010410	9.0513106

lote=tl1

Analysis Variable : diferen					
N	Media	Rango	Varianza	Desv. est	Coef. de variación
10	8.9250000	2.0000000	0.8618056	0.9283348	10.4015107

lote=tl2

Analysis Variable : diferen					
N	Media	Rango	Varianza	Desv. est	Coef. de variación
10	8.8500000	1.7500000	0.6416667	0.8010410	9.0513106

lote=tlc3

Analysis Variable : diferen					
N	Media	Rango	Varianza	Desv. est	Coef. de variación
10	8.9000000	1.7500000	0.5861111	0.7655789	8.6020105

Anexo III: Datos estadísticos para Indicadores de Tendencia Central y Dispersión para las variables Temperatura y Score.

Procedimiento CORR

2 Variables: temp score

Estadísticos simples						
Variable	N	Media	Desv. est.	Suma	Mínimo	Máximo
temp	3	350.00000	50.00000	1050	300.00000	400.00000
score	3	88.33333	0.76376	265.00000	87.50000	89.00000

Coeficientes de correlación Pearson, N = 3 Prob > r suponiendo H0: Rho=0		
	temp	score
temp	1.00000	0.98198 0.1210
score	0.98198 0.1210	1.00000

Procedimiento REG
Modelo: MODEL1
Variable dependiente: score

N.º observaciones leídas	3
N.º observaciones usadas	3

Análisis de varianza					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	1	1.12500	1.12500	27.00	0.1210
Error	1	0.04167	0.04167		
Total corregido	2	1.16667			

Raíz MSE	0.20412	R-cuadrado	0.9643
Media dependiente	88.33333	R-Sq Adjust	0.9286
Coef Var	0.23108		

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación de parámetros	Error estándar	t valor	Pr > t
Intercept	1	83.08333	1.01721	81.68	0.0078
temp	1	0.01500	0.00269	5.20	0.1210

Anexo IV: Datos estadísticos para Modelo Estadístico final basado en los seis escenarios evaluados.

Procedimiento REG
Modelo: MODEL1
Variable dependiente: scopro

N.º observaciones leídas	6
N.º observaciones usadas	6

Análisis de varianza					
Origen	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr > F
Modelo	3	0.01834	0.00611	2.45	0.3034
Error	2	0.00500	0.00250		
Total corregido	5	0.02333			

Raíz MSE	0.04999	R-cuadrado	0.7858
Media dependiente	8.80833	R-Sq Ajust	0.4645
Coef Var	0.56753		

Estimaciones de parámetro					
Variable	DF	Estimación de parámetros	Error estándar	t valor	Pr > t
Intercept	1	9.66218	1.36459	7.08	0.0194
pcs	1	-0.14521	1.39274	-0.10	0.9265
caire	1	0.15961	0.12527	1.27	0.3306
sc	1	-0.15318	0.09811	-1.56	0.2588

Anexo V. Tueste de Café (Typica y Catuaí).



Anexo VI. Pesaje de Café posterior al tueste.**Anexo VII. Mesa de cata según protocolo de la SCA.**

Anexo VIII. Proceso de cata de las muestras de café.

