



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

**“OPTIMIZACIÓN DEL PERFIL DE TOSTADO DEL PROCESO DE
CAFÉ MOLIDO EN LAS VARIEDADES ARÁBIGO Y ROBUSTA”**

Autor:

Zambrano López Ana Lucia

Tutor de Titulación:

Ing. Reyes Solórzano Segundo Javier

Manta - Manabí - Ecuador

2026



UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y
ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“OPTIMIZACIÓN DEL PERFIL DE TOSTADO DEL PROCESO DE CAFÉ
MOLIDO EN LAS VARIEDADES ARÁBIGO Y ROBUSTA”

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD

Ing.

DIRECTOR

Ing.

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

Certificación del Tutor

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **zambrano López Ana Lucía**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Industrial, período académico **2026-1**, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "**optimización del perfil de tostado del café molido en las variedades Arabigo y robusta**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad de este, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.



Ing. Reyes Solórzano Segundo Javier
TUTOR DE TITULACIÓN

DECLARACION DE AUTORIA DE TESIS

Zambrano López Ana Lucía, estudiante de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **“Optimización del perfil de tostado del café molido en las variedades Arabigo y robusta.”** Es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Reyes Solórzano Segundo Javier y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Zambrano López Ana lucía
C. I. 1315257426



Ing. Reyes Solorzano Segundo Javier
C. I. 1315257426

Manta, 17 de agosto de 2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para superar cada desafío presentado a lo largo de mi formación académica.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo constante durante cada etapa de mi vida, gracias por ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación, por demostrarme con sus acciones que los sueños se alcanzan con constancia y valentía, su fortaleza e inteligencia son una fuente de inspiración que me impulsa a seguir adelante y nunca rendirme. A mis hermanos Rodrigo y Ana Paula, por acompañarme y regalarme sonrisas haciendo más ameno todo este proceso estudiantil.

Por último, pero no menos importante, a mis amigos y futuros colegas, quienes hicieron de esta etapa un camino más llevadero con su apoyo, compañía y momentos compartidos, especialmente a Ximena y Daniela. Gracias por las experiencias, aprendizajes y recuerdos que llevaré conmigo más allá de la vida universitaria.

Reconocimiento

Expreso mi reconocimiento a quienes contribuyeron al desarrollo de esta investigación, especialmente a mis docentes y tutor por su orientación y aportes académicos durante el proceso.

Reconozco al emprendimiento cafetalero café con fe, que permitió la realización de este estudio, brindando las facilidades necesarias para evaluar y proponer mejoras en el proceso de elaboración de café tostado y molido. A todas las personas que aportaron directa o indirectamente en la culminación de este trabajo, mi más sincero reconocimiento.

Índice de Contenido

Certificación del tutor	iii
Declaración de Autoría de Tesis	iv
Dedicatoria	v
Reconocimiento.....	vi
Índice de Contenido	vii
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras.....	x
Resumen Ejecutivo	xi
Executive Summary	xii
Introducción	1
Planteamiento del problema	2
Formulación del problema.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos	4
Justificación	5
Capítulo 1	6
1 Fundamentación Teórica.....	6
1.1 Antecedentes Investigativos	6
1.2 Bases Teóricas.....	8
1.3 Marco Legal y Ambiental.....	10
1.4 Hipótesis y Variables (sólo proyecto de investigación).....	11
1.4.1 Hipótesis.....	11
1.4.2 Identificación de las Variables	11

1.4.3	Operacionalización de las Variables	12
1.5	Marco Metodológico	13
1.5.1	Modalidad Básica de la Investigación	13
1.5.2	Enfoque	14
1.5.3	Nivel de Investigación	14
1.5.4	Población de Estudio	14
1.5.5	Tamaño de la Muestra	14
1.5.6	Técnicas de recolección de datos	15
1.5.7	Plan de recolección de datos	15
1.5.8	Procesamiento de la Información	16
Capítulo 2		16
2	Diagnóstico o Estudio de Campo	16
2.1	Diagnóstico de la situación inicial	16
2.2	Desarrollo del diseño experimental	17
2.3	Evaluación sensorial	19
2.4	Análisis de varianza ANOVA	25
2.5	Resultados de los análisis físico químicos	30
2.6	Resultados de los análisis microbiológicos	31
Capítulo 3		32
3	Propuesta de Mejora	32
3.1	Selección y estandarización del perfil de tostado	32
3.2	Propuesta de optimización operativa de la tostadora	33
3.3	Limitaciones de la investigación	33
Conclusiones		34
Recomendaciones		35
4	Bibliografía	36
Anexos		38

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Variable Independiente</i>	12
Tabla 2	<i>Variable Dependiente</i>	12
Tabla 3	<i>Plan de recolección de datos</i>	15
Tabla 4	<i>combinación de tratamientos del diseño experimental.</i>	18
Tabla 5	<i>Registro de las calificaciones de la evaluación sensorial de los tratamientos experimentales</i>	19
Tabla 6	<i>Tabla operativa para el perfil de tostado de café robusta a 42 minutos</i>	33

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Ficha de evaluación sensorial de café</i>	19
Figura 2	<i>Resultados del ANOVA</i>	25
Figura 3	<i>Normalidad de los residuos</i>	27
Figura 4	<i>Contrastes Post-hoc</i>	27
Figura 5	<i>Medias Marginales</i>	28
Figura 6	<i>Puntaje sensorial promedio según el tiempo de tostado y la variedad de café</i>	29
Figura 7	<i>Puntaje sensorial promedio según la variedad de café y el tiempo de tostado</i>	30

Resumen Ejecutivo

El tostado del café es una etapa clave para el desarrollo de sus características sensoriales y la calidad final del producto, la falta de estandarización en este proceso puede generar variaciones en el café molido, afectando su aceptación y consistencia. Esta investigación tuvo como objetivo optimizar el perfil de tostado del café molido en las variedades arábigo y robusta mediante un diseño experimental factorial, considerando la variedad del grano y el tiempo de tostado.

La evaluación sensorial de los tratamientos obtenidos permitió identificar la combinación de variables que genero una mejor aceptación del café molido, de esta manera el tratamiento que resulto más favorable se sometio a análisis físico químicos y análisis microbiológicos, con el fin de verificar el cumplimiento de los criterios de inocuidad alimentaria. Los resultados previstos contribuyeron a establecer un perfil de tostado de referencia que apoye el control del proceso productivo y la mejora de la calidad del café del emprendimiento seleccionado.

Palabras claves: Café molido, tostado, calidad sensorial, arábigo, robusta, inocuidad

Executive Summary

Coffee roasting is a key stage in the development of its sensory characteristics and the final quality of the product. The lack of standardization in this process can generate variations in ground coffee, affecting its acceptance and consistency. This research aimed to optimize the roasting profile of ground coffee from Arabica and Robusta varieties through a factorial experimental design, considering coffee bean variety and roasting time.

The sensory evaluation of the treatments obtained made it possible to identify the combination of variables that generated greater acceptance of the ground coffee. Therefore, the most favorable treatment was subjected to physicochemical and microbiological analyses in order to verify compliance with food safety criteria. The results contributed to establishing a reference roasting profile to support production process control and improve the quality of the coffee produced by the selected enterprise.

Keywords: Ground coffee, roasting, sensory quality, arabica, robusta, food safety

Introducción

La etapa de tueste se ha consolidado como el factor más crítico en la cadena de valor del café, siendo el punto donde el potencial químico del grano se transforma en el perfil sensorial final y define su valor comercial. En el contexto de la producción local, la consecución de un perfil térmico óptimo se enfrenta a un desafío que es la significativa variabilidad en las características de la materia prima, como la densidad y la humedad especialmente en la variedad robusta. Esta falta de uniformidad dificulta la estandarización del proceso por lo cual en la presente investigación se justifica en la necesidad de determinar y validar un perfil de tueste optimizado frente a las variedades arábica y robusta. Los resultados buscan proveer una base técnica para que los emprendimientos mejoren la calidad del producto, su eficiencia operativa y competitividad en el mercado.

El objetivo principal de este estudio es optimizar el perfil de tostado del café molido en las variedades arábica y robusta mediante la aplicación de un diseño experimental factorial 2×3 . Esto va a permitir identificar los parámetros operacionales que logran maximizar el puntaje de la calidad sensorial en cada caso, se presentarán los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico asimismo la propuesta de optimización con las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

Planteamiento del problema

A nivel mundial la calidad del café tostado depende del control del proceso de tueste, ya que durante este ocurren cambios físicos y químicos que determinan el aroma y el sabor del producto, organismos internacionales han señalado que el manejo adecuado del tostado influye en la calidad percibida por los consumidores y en la competitividad global del café (Internacional Trade Centre, 2021). La organización internacional del café también resalta que la industria requiere procesos estandarizados para asegurar consistencia y trazabilidad, porque las variaciones en el tueste generan diferencias sensoriales que afectan la aceptación del producto (International Coffee Organization, 2024).

Las normas ISO 6668 establecen procedimientos para preparar muestras destinadas a análisis sensorial, lo que refuerza la importancia de contar con parámetros de tueste controlados para evaluaciones confiables (ISO, 2008).

En Ecuador el café es un cultivo relevante para la economía rural, los informes del ministerio de Agricultura y ganadería indican que la calidad final del café depende del manejo del procesamiento y de la aplicación de parámetros operativos adecuados en cada etapa, incluido el tueste (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2022). El país ha trabajado en mejorar la cadena productiva del café, sin embargo, los informes oficiales muestran que aún existe variabilidad en los procesos de postcosecha y transformación lo que limita la oferta de productos con valor agregado (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2024).

Aunque existen normas y protocolos que sirven de referencia para la evaluación sensorial, no se dispone de lineamientos nacionales específicos que definan perfiles de tostado adaptados a las variedades arábigo y robusta cultivadas en el territorio ecuatoriano (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2024).

En Manabí el café es parte de la actividad agrícola del territorio, el plan de desarrollo y ordenamiento territorial señala que el sector agro productivo es estratégico y que requiere fortalecer la transformación local de productos como el café para generar mayor competitividad (Prefectura de Manabí, 2024).

No existe documentación técnica local que establezca perfiles de tostado para las variedades arábigo y robusta utilizadas por los emprendimientos de la provincia, esta falta de parámetros definidos provoca diferencias en la calidad sensorial del café molido, lo que dificulta la estandarización y la producción de lotes con características consistentes. Para el emprendimiento en estudio esta carencia genera incertidumbre sobre los tiempos y temperaturas que permiten obtener una calidad sensorial óptima y limita la posibilidad de mejorar su proceso de tostado, por ello es necesario identificar un perfil de tostado que pueda reproducirse de manera confiable y que eleve la calidad del café productivo en la zona (Prefectura de Manabí, 2024).

Formulación del problema

¿Cuál es el perfil de tostado del café molido en las variedades arábigo y robusta que permite alcanzar la mejor calidad sensorial y definir parámetros confiables de procesamiento confiables para un emprendimiento?

Preguntas directrices:

- ¿De que manera el tiempo de tostado afecta en las variedades arábigo y robusta en un diseño experimental factorial bajo condiciones de procesamiento del café molido?
- ¿Qué diferencias sensoriales se observan en las muestras de ambas variedades tostadas en distintas condiciones experimentales según la metodología de catación?
- ¿Qué combinación de variedad y tiempo de tostado que genera la mayor calidad sensorial del café?
- ¿Cuáles son las características físico-químicas y microbiológicas del tratamiento seleccionado como óptimo?

Objetivos

Objetivo General

- Optimizar el perfil de tostado del proceso de café molido en las variedades arábigo y robusta para maximizar su calidad sensorial y establecer parámetros confiables de procesamiento para un emprendimiento.

Objetivos Específicos

- Implementar un diseño experimental factorial que evalúe el tiempo de tostado en las variedades arábigo y robusta para definir las condiciones de procesamiento del café molido.
- Evaluar las muestras de café arábigo y robusta tostado bajo las diferentes condiciones experimentales, mediante la aplicación de la metodología de catación para cuantificar los atributos sensoriales.
- Identificar mediante análisis estadístico la combinación óptima entre la variedad del grano y el tiempo de tostado que permita alcanzar el mayor puntaje de calidad sensorial y establecer el perfil de tueste.
- Definir características físico-químicas, en específico acidez titulable, cenizas, humedad, pH y microbiológicas de levaduras y mohos al mejor tratamiento obtenido del análisis sensorial.

Justificación

El café es un producto importante en Manabí y forma parte de las actividades agrícolas que se buscan fortalecer para mejorar la competitividad del sector. No existen documentos técnicos locales que definan perfiles de tostado para las variedades arábigo y robusta, lo que genera diferencias en la calidad sensorial del café molido y limita la estandarización del proceso, el emprendimiento en estudio no cuenta con parámetros claros de tiempo y busca inclinarse hacia la mejor variedad de café, al no tener los parámetros claros dificulta identificar el punto óptimo de tostado y mantener la calidad del producto.

La investigación es necesaria ya que permitirá definir un perfil de tostado reproducible que contribuya a mejorar la calidad sensorial del café y funcione como referencia para los productores locales además el estudio se vincula con la ODS al fortalecer la actividad productiva del sector y fomentar procesos controlados que incrementan la eficiencia y la calidad del producto final.

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes Investigativos

Duicela Guambi, Moreano y Talledo (2018) En su investigación titulada Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta en la Amazonia del Ecuador, desarrollaron un estudio experimental para comparar como los métodos de beneficio influyen en la calidad sensorial del café robusta. Su objetivo fue determinar el efecto del tipo de beneficio sobre la percepción sensorial de los granos. La metodología combinó en ensayos agronómicos y análisis en laboratorio junto con un panel de catadores entrenados, los autores concluyeron que el beneficio seco aplicado a frutos maduros mejora notablemente la calidad de taza lo que evidencia que las condiciones iniciales del grano condicionan la respuesta durante el tueste.

El desafío central de la estandarización en el tueste ecuatoriano comienza con el propio grano, el Instituto nacional de investigaciones agropecuarias INIAP (2017) Abordó este tema mediante un riguroso estudio de diagnóstico enfocado en la robusta local, buscando comprender su variabilidad genética y agronómica a través de inventarios técnicos y mediciones de campo, la investigación concluyó que la amplia diversidad genética del café robusta genera una marcada disparidad en características físicas cruciales como la densidad, la humedad y el tamaño de los granos. Esta falta de uniformidad tiene un impacto directo en el proceso de tostado del café ya que condiciona la forma en que cada lote reacciona el calor, dificultando la estandarización de perfiles de alta calidad.

El Instituto interamericano de cooperación para la agricultura IICA (2010) En su manual técnico protocolo de análisis de calidad del café desarrolló un estudio normativo cuyo objetivo fue establecer lineamientos para la evaluación sensorial del café a fin de homogenizar los resultados de laboratorio y de los paneles de cata. La metodología se basó en la formulación de procedimientos estandarizados para el tueste de muestras la preparación de bebidas y la evaluación de atributos sensoriales, el documento concluyó que la

estandarización del tueste es esencial para asegurar compatibilidad entre análisis e identificar perfiles que maximicen en la calidad sensorial.

La international Coffee Organization ICO (2024) En el Coffee Development Report 2022-23 realizó un estudio analítico cuyo objetivo fue descubrir las tendencias del mercado mundial y los factores que afectan la Calidad del café desde la producción hasta el tueste, la organización empleo análisis estadísticos, revisión documental y consultas técnicas con actores de la cadena global. El informe determinó que el tueste es una etapa crítica porque define la expresión final de acidez, dulzor y aroma y señaló que la eficiencia del proceso depende de la selección de curvas térmicas adaptadas al tipo de grano, lo que tiene impacto económico y sensorial.

Osorio y Pabón (2022) Desarrollaron la investigación titulada efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la calidad sensorial del café con el objetivo de analizar como diferentes temperaturas iniciales influyen en el desarrollo sensorial del café durante el tueste, el estudio aplicó una metodología experimental donde se generaron cinco curvas de tostado con temperaturas de inicio entre 170 °C y 230 °C y se definieron los niveles finales de todo este según la escala AGTRON. Los autores concluyeron que los atributos sensoriales dependen principalmente de la variedad mientras que la temperatura modifica la velocidad de las reacciones químicas lo que demuestra que no existe una única temperatura óptima y que cada variedad requiere ajuste específicos para obtener su máxima calidad.

1.2 Bases Teóricas

El proceso de tostado del café y su importancia

El tostado del café es un proceso térmico que transforma el grano verde a través de la aplicación controlada de calor. Esto provoca reacciones físicas y químicas que definen el color, el aroma, el sabor y la textura del café. Según Illy y Viani (2005), el tostado consta de tres etapas clave: secado, fase de reacciones de Maillard y el desarrollo final o tueste profundo. Cada una de estas fases altera la masa, el volumen, la humedad, la estructura interna y la composición aromática del grano, lo que impacta directamente en su calidad sensorial y a medida que se calienta el grano pierde humedad, se forman gases, la matriz celular se expande y se liberan compuestos volátiles.

Variedades de café

El café arábigo se distingue por presentar aromas agradables sabores equilibrados, una acidez definida y un cuerpo medio, estas características lo hacen altamente valorado en la evaluación sensorial. La valoración de estos atributos se realiza mediante protocolos de catación que permiten identificar cualidades positivas y defectos sensoriales de forma sistemática (Duicela Guambi L. A., 2004).

El café robusto se caracteriza porque tiene mayor cuerpo, pero menor aroma, por lo general se consume en mercados emergentes y desarrollados como café mixto o instantáneo y se plantan en tierras bajas con alta humedad y condiciones cálidas, en comparación con el arábigo que se planta bajo temperaturas moderadas de regiones altas (Campuzano Duque, Herrera, Ged, & Blair , 2021)

Fases de tostado del café

El proceso de tostado del café implica tres fases principales durante el calentamiento de los granos verdes, la primera es la fase de secado donde la mayor parte del agua libre del grano se evapora a temperaturas cercanas a 100°C. La segunda fase se denomina pirólisis, comienza aproximadamente a 150°C y continua hasta temperaturas superiores a 170°C, momento en el cual las reacciones fisicoquímicas modifican profundamente la composición del grano

dando lugar a compuestos que le confieren aroma y sabor, al alcanzar valores altos de temperatura los granos se enfrían para detener el proceso y preservar las características obtenidas durante el tostado (Hernández Estrada, y otros, 2024)

Grados de tostado

El grado de tostado del café puede variar según el tiempo y la temperatura aplicados y se clasifica en tostado claro, tostado medio y tostado oscuro, para lograr estos diferentes perfiles se tuestan los granos a temperaturas entre 180°C y 250°C dependiendo del resultado deseado, los tostados más oscuros se obtienen a mayor tiempo de tostado. Los grados de tostado se adaptan a las preferencias de los distintos mercados consumidores (Hernández Estrada, y otros, 2024).

Cafeína

La cafeína es un alcaloide termoestable y es responsable de no más del 10% del amargo percibido en la bebida del café

Evaluación sensorial del café

Los métodos de la evaluación sensorial se usan principalmente en la industria de los alimentos para la determinación de la calidad de las materias primas y del producto, en el control de los procesos de fabricación y para el estudio de las preferencias de los consumidores (Guzmán, Cortes , & Gómez)

Catación

La catación es el método usado para conocer el aroma, sabor y la sanidad del café. Este análisis también se llama evaluación sensorial de la calidad del café y prueba de taza. Por medio de esta técnica se pueden identificar los efectos presentes en la bebida de café, medir la intensidad de una característica sensorial como la acidez y el dulzor y de igual forma, calificar el sabor, el aroma y la calidad global del producto (Guzmán, Cortes , & Gómez).

Características físicas del café

Las características físicas del café están relacionadas con el estado del grano después de la cosecha y durante la postcosecha y permiten determinar su calidad antes del tostado, en este análisis se consideran aspectos como el tamaño del grano, su uniformidad, consistencia y el color ya que influyen en el comportamiento del café durante el proceso térmico.

El color del grano verde es un indicador importante del manejo postcosecha debido a que tonalidades verdes intensas reflejan frescura y un proceso adecuado, los cambios hacia colores amarillentos o apagados evidencian deterioro por almacenamiento inadecuado o envejecimiento. La clasificación física permite separar granos defectuosos como los partidos, negros o dañados por insectos lo cual contribuye a mejorar la calidad del café tostado y molido (Duicela Guambi L. A., 2004).

Características organolépticas del café

La calidad del café está determinada por sus características organolépticas deseables como el aroma, sabor, acidez y cuerpo, estas propiedades se desarrollan principalmente durante el tostado, aunque su potencial está condicionado por el estado físico del grano y las prácticas postcosecha (Duicela Guambi L. A., 2004).

1.3 Marco Legal y Ambiental

El rigor científico y la validez de los parámetros de procesamiento que se buscan establecer en esta tesis se fundamentan en la normativa técnica legal del Ecuador. El objetivo de definir las características físico químicas del mejor tratamiento se respalda en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1123, la cual fija los requisitos mínimos de calidad para el café tostado y molido o en grano (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2016).

Para cuantificar los atributos sensoriales y el puntaje SCA, esta investigación incorpora el protocolo de catación de la Specialty Coffee Association SCA, este protocolo no es una ley gubernamental, pero constituye el estándar técnico

internacional que confiere rigor y validez global a los resultados obtenidos en el análisis sensorial (Specialty Coffe Association(SCA), 2015).

La inocuidad del producto constituye un aspecto fundamental dentro de la presente investigación, por esto el tratamiento que presenta el mejor desempeño sensorial se le realizarán análisis microbiológicos de levadura y mohos, con el propósito de verificar sus condiciones de calidad e inocuidad, estos análisis se sustentan en la normativa ecuatoriana aplicable a alimentos procesados, la cual establece criterios que contribuyen a garantizar la seguridad del producto destinado al consumo humano (Ministerio de Industrias y Productividad, 2012).

1.4 Hipótesis y Variables (sólo proyecto de investigación)

1.4.1 Hipótesis

Hipótesis nula (H_0)

La variedad de café y el tiempo de tostado no influyen significativamente en la calidad sensorial del café molido y no existe interacción significativa entre ambos factores.

Hipótesis alternativa (H_1)

La variedad de café y el tiempo de tostado influyen significativamente en la calidad sensorial del café molido, existiendo interacción significativa entre ambos factores.

1.4.2 Identificación de las Variables

- **Variable Independiente:**

Factor A: Variedad de café: arábigo y robusta

Factor B: Tiempo de tostado

- **Variable Dependiente:**

La calidad sensorial del café (puntaje de calidad sensorial basado en la SCA).

1.4.3 Operacionalización de las Variables

1.4.3.1 Operacionalización de la Variable Independiente

- Variable independiente:

Tabla 1

Variable Independiente

Variable independiente	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Factor A: Variedad de café	Selección del grano base	1.Tipo de granos seleccionado: Arábigo/Robusta	Nominal
		2. Tratamiento de variedad aplicado en el diseño experimental	Nominal
Factor B: Tiempo de tostado	Control del perfil término	1.Duración del ciclo de tueste en minutos (38, 42, 46 min)	Escala

1.4.3.2 Operacionalización de la Variable Dependiente

- Variable dependiente:

Tabla 2

Variable Dependiente

Variable dependiente	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Puntaje de calidad sensorial SCA	Medición organoléptica estandarizada	1.Puntaje total final del café	Escala

	2. Evaluación de Escala los atributos individuales basado en la ficha SCA
Conformidad técnica	1. Medición de las Escala características físicas químicas y microbiológicas del tratamiento óptimo

1.5 Marco Metodológico

1.5.1 Modalidad Básica de la Investigación

La presente investigación adopta una modalidad combinada, enfocándose principalmente en la vía experimental y descriptiva. El componente experimental es fundamental pues el estudio requiere de la manipulación directa de factores que son la variedad del café y el tiempo de tostado mediante un diseño factorial completamente al azar (DCA) 2×3 . Esta manipulación es esencial para establecer como la variación en el tueste impacta la calidad sensorial del café, por otro lado, la modalidad descriptiva es indispensable para documentar con precisión los resultados obtenidos esto incluye la cuantificación objetiva del puntaje SCA y la descripción de las características fisicoquímicas y microbiológicas del tratamiento óptimo.

El Marco metodológico se completa con el soporte de las modalidades bibliográfica y de campo la investigación bibliográfica asegura la solidez teórica del proyecto mediante la revisión de literatura especializada, protocolos internacionales y la normativa técnica aplicable en Ecuador y la modalidad de campo constituye la ejecución práctica del experimento. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

1.5.2 Enfoque

La investigación se basa en un enfoque mixto ya que combina métodos cuantitativos y cualitativos para analizar el proceso de tostado, la parte cuantitativa se basa en los datos obtenidos del diseño factorial completamente al azar (DCA) 2×3 , midiendo variables como color y comportamiento físico químico de las variedades arábigo y robusta. El componente cualitativo incorpora la observación directa y la experiencia del tostado lo que permite interpretar aspectos operativos y sensoriales que complementan los resultados numéricos, de esta forma la integración de ambos enfoques ofrece una visión más completa del desarrollo del perfil de tostado.

1.5.3 Nivel de Investigación

El nivel de esta investigación corresponde a un nivel explicativo y experimental, ya que se orienta a determinar el efecto que ejercen la variedad de café y el tiempo de tostado sobre la calidad sensorial del café molido, para esto se manipulan de manera controlada los factores de estudio mediante la aplicación de un diseño experimental factorial 2×3 , permitiendo analizar tanto los efectos individuales de cada factor como su interacción. En cuanto al nivel experimental las variables independientes son sometidas condiciones obviamente establecidas para evaluar su influencia sobre la variable dependiente, representada por el puntaje de calidad sensorial obtenido mediante la metodología de catación, este enfoque permite establecer relaciones de causa y efecto entre los factores evaluados y la respuesta observada.

1.5.4 Población de Estudio

La población de estudio de este proyecto está conformada por los lotes de café específicamente de la provincia Manabí, correspondientes a las dos variedades de café: arábigo y robusta que son procesadas en el área de tostado, estos lotes representan la totalidad del producto disponible para la ejecución del diseño factorial 2×3 y así obtener la información necesaria sobre su comportamiento durante los diferentes tiempos de tostado evaluados.

1.5.5 Tamaño de la Muestra

El tamaño de muestra de esta investigación se establece a través de la generación controlada de lotes para el diseño factorial completamente al azar

(DCA) 2 × 3, combinando la variedad de café arábica/ robusta y el tiempo de tostado (38 min, 42 min y 46 min) esto resulta en un total de seis tratamientos de café tostado por lo cual la muestra se fija en 150 g de café tostado, esta masa garantiza 100 g para la evaluación sensorial en todos los lotes y una reserva de 50 g para los análisis físico químicos que se realizarán únicamente al tratamiento óptimo.

1.5.6 Técnicas de recolección de datos

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon dos técnicas principales de recolección de datos, una de ellas es la evaluación sensorial del café realizada mediante una ficha de evaluación elaborada con base a los criterios de la Specialty Coffee Association SCA, la evaluación fue realizada por 30 jueces, quienes calificaron los atributos sensoriales de cada uno de los tratamientos experimentales, permitiendo obtener información para comparar la calidad sensorial de las diferentes combinaciones de variedad y tiempo de tostado. La segunda técnica corresponde a los análisis físico- químicos y microbiológicos en el laboratorio CESECCA, ambas técnicas permitieron obtener información objetiva y confiable sobre la calidad del café tostado bajo las diferentes combinaciones experimentales el diseño factorial planteado.

1.5.7 Plan de recolección de datos

Tabla 3

Plan de recolección de datos

Nº	Preguntas Frecuentes	Explicación
1	¿Para qué?	Para obtener datos sensoriales y analíticos que permitan optimizar el perfil de tostado
2	¿De qué personas?	Catadores certificados
3	¿Sobre qué aspectos?	Atributos sensoriales SCA y parámetros físico-químicos
4	¿Quién investiga?	Ana Lucía zambrano López
5	¿Cuándo?	Enero 2026
6	¿Dónde?	Laboratorio CESECCA

7	¿Cuántas veces?	Una vez por cada tratamiento del diseño factorial
8	¿Qué técnica de recolección?	Evaluación sensorial SCA y análisis de laboratorio
9	¿Con que?	Ficha de catación SCA, reportes de laboratorio y software JASP
10	¿En qué situación?	Condiciones controladas de tostado, catación y análisis

1.5.8 Procesamiento de la Información

Los datos obtenidos de las fichas de catación basadas en la SCA y los resultados de los análisis físico-químicos serán digitalizados en tablas, también se usará el software JASP para aplicar el diseño factorial y comparar los puntajes sensoriales según los criterios del protocolo SCA, este procesamiento permitirá identificar la combinación óptima de variedad y tiempo de tostado sustentando así la propuesta de optimización del perfil de tostado.

Capítulo 2

2 Diagnóstico o Estudio de Campo

2.1 Diagnóstico de la situación inicial

El emprendimiento Café con Fe se dedica a la producción y comercialización de café tostado y molido, elaborando sus productos bajo la modalidad de pedidos, lo que permite ajustar la producción a la demanda de sus clientes y reducir pérdidas por almacenamiento. Para el procesamiento del café dispone de un área de producción acondicionada para las operaciones de tostado y molienda, la cual cumple con las condiciones de calidad e inocuidad requeridas para este tipo de actividad y cuenta con los permisos sanitarios otorgados por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria ARCSA.

La capacidad de producción del emprendimiento alcanza aproximadamente 50 libras de café tostado por día, dependiendo del volumen de pedidos recibidos. El proceso de tostado se realiza mediante una tostadora semi industrial con

capacidad aproximada de 25 libras por ciclo, permitiendo procesar diferentes lotes durante la jornada de trabajo cuando la demanda lo requiere.

Durante la visita técnica y el análisis del proceso productivo se identificó que el emprendimiento no dispone de un perfil de tostado estandarizado para las variedades de café que procesa. Actualmente los tiempos de tostados se ajustan principalmente con base en la experiencia del operador, lo que puede generar variaciones en las características sensoriales del producto final entre diferentes lotes de producción.

La ausencia de parámetros técnicos definidos dificulta la obtención de una calidad sensorial uniforme y limita la estandarización del proceso productivo, esta situación representa una dificultad para la planeación de la producción y la futura organización del trabajo cuando el emprendimiento incremente su capacidad operativa mediante la contratación de personal, ya que la inexistencia de un procedimiento estandarizado impide establecer tiempos de proceso claramente definidos y garantizar que diferentes operarios obtengan resultados consistentes.

La presente investigación evalúa experimentalmente el comportamiento de las variedades arábigo y robusta bajo diferentes tiempos de tostado, mediante un diseño factorial y la aplicación de una ficha de evaluación basada en el protocolo de catación de la Specialty Coffee Association SCA con el propósito de identificar el perfil de tostado que permite alcanzar la mayor calidad sensorial y establecer parámetros técnicos que puedan ser adoptados como referencia para la estandarización del proceso productivo del emprendimiento.

2.2 Desarrollo del diseño experimental

Con el propósito de determinar el perfil de tostado que permitiera obtener la mayor calidad sensorial del café molido, se utilizó un diseño factorial completamente al azar (DCA) 2×3 , el factor A correspondió a la variedad de café, evaluándose dos niveles: arábigo y robusta, el factor B estuvo representado por el tiempo de tostado, estableciéndose tres niveles experimentales de 38, 42 y 46 minutos definidos de acuerdo con las condiciones operativas y la capacidad de la tostadora semi industrial utilizada durante la investigación.

Los niveles de tiempo de tostados seleccionados para la investigación fueron definidos a partir de pruebas preliminares realizadas en la tostadora semi industrial del emprendimiento y de la experiencia operativa del proceso, se identificó que tiempos inferiores a 38 minutos producían granos con desarrollo insuficiente de las características sensoriales y no se terminaba de tostar el café, mientras que tiempo superiores a 48 minutos tendían a generar notas asociadas a sobre tostado, por esta razón se seleccionaron los tiempos de 38, 42 y 46 minutos como niveles representativos para evaluar el comportamiento sensorial del café dentro del rango operativo habitual del proceso.

La evaluación sensorial fue realizada por 30 jueces, quienes calificaron la totalidad de los tratamientos; por ello, el juez se consideró como un efecto aleatorio en el análisis estadístico.

La combinación de ambos factores originó un total de seis tratamientos experimentales, los cuales fueron elaborados bajo las mismas condiciones de operación, manteniendo constantes las demás variables del proceso con el fin de qué las diferencias observadas respondieran únicamente a los factores estudiados.

Tabla 4
combinación de tratamientos del diseño experimental.

tratamiento	Variedad	Tiempo de tostado
T1	Arábigo	38 min
T2	Arábigo	42 min
T3	Arábigo	46 min
T4	Robusta	38 min
T5	Robusta	42 min
T6	Robusta	46 min

Ya finalizado el proceso de tostado, las muestras fueron molidas y preparadas para pasar a realizar los análisis sensoriales, cada tratamiento fue codificado para garantizar una evaluación imparcial por parte de 30 catadores, donde cada

uno evaluó los 6 tratamientos. Para la evaluación utilizaron una ficha basada en la hoja clásica de catación SCA de 100 puntos (Arabica Cupping Form) de la SCA para calificar los atributos sensoriales y obtener el puntaje total de calidad.

Figura 1
Ficha de evaluación sensorial de café

FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE CAFÉ
(Basado en protocolo SCA)

Código	Juez	Fecha	Hora
--------	------	-------	------

Observaciones

EVALUACIÓN		
Atributo	Puntaje	Notas
Fragancia/Aroma		
Sabor		
Retrogusto		
Acidez		
Cuerpo		
Balance		
Dulzor		
Taza limpia		
Uniformidad		
Global		
Defectos (-)		
Puntaje final		

DEFECTOS		
Tipo	Descripción	Cantidad
Taint		
Fault		

2.3 Evaluación sensorial

Tabla 5
Registro de las calificaciones de la evaluación sensorial de los tratamientos experimentales

JUEZ	TIEMPO	VARIEDAD	PUNTAJE
1	38	Arábigo	86
1	42	Arábigo	91
1	46	Arábigo	84
1	38	Robusta	85,5

1	42	Robusta	93,7
1	46	Robusta	77,5
2	38	Arábigo	85,5
2	42	Arábigo	94
2	46	Arábigo	90
2	38	Robusta	86
2	42	Robusta	89
2	46	Robusta	70,5
3	38	Arábigo	93
3	42	Arábigo	89,5
3	46	Arábigo	96,5
3	38	Robusta	89
3	42	Robusta	99
3	46	Robusta	78,5
4	38	Arábigo	84
4	42	Arábigo	96,5
4	46	Arábigo	95
4	38	Robusta	83
4	42	Robusta	98
4	46	Robusta	72
5	38	Arábigo	85
5	42	Arábigo	93,5
5	46	Arábigo	89
5	38	Robusta	88,5
5	42	Robusta	99
5	46	Robusta	76
6	38	Arábigo	87
6	42	Arábigo	85
6	46	Arábigo	89,5
6	38	Robusta	78
6	42	Robusta	95
6	46	Robusta	90

7	38	Arábigo	86,5
7	42	Arábigo	91,5
7	46	Arábigo	88
7	38	Robusta	75
7	42	Robusta	91,5
7	46	Robusta	75,5
8	38	Arábigo	82
8	42	Arábigo	89,5
8	46	Arábigo	88
8	38	Robusta	85
8	42	Robusta	89,7
8	46	Robusta	72
9	38	Arábigo	78
9	42	Arábigo	89
9	46	Arábigo	84
9	38	Robusta	87
9	42	Robusta	90,8
9	46	Robusta	79,5
10	38	Arábigo	80
10	42	Arábigo	94,5
10	46	Arábigo	86
10	38	Robusta	88,5
10	42	Robusta	93
10	46	Robusta	82
11	38	Arábigo	92
11	42	Arábigo	94
11	46	Arábigo	88,5
11	38	Robusta	89
11	42	Robusta	90,5
11	46	Robusta	87
12	38	Arábigo	87,25
12	42	Arábigo	90

12	46	Arábigo	86,5
12	38	Robusta	78,6
12	42	Robusta	93,5
12	46	Robusta	86
13	38	Arábigo	86
13	42	Arábigo	88,5
13	46	Arábigo	79
13	38	Robusta	83
13	42	Robusta	91,2
13	46	Robusta	81
14	38	Arábigo	83
14	42	Arábigo	89,5
14	46	Arábigo	92
14	38	Robusta	79,5
14	42	Robusta	93,2
14	46	Robusta	78
15	38	Arábigo	89,5
15	42	Arábigo	91
15	46	Arábigo	86,5
15	38	Robusta	78
15	42	Robusta	89,5
15	46	Robusta	76
16	38	Arábigo	87,5
16	42	Arábigo	89
16	46	Arábigo	77,5
16	38	Robusta	82
16	42	Robusta	92,5
16	46	Robusta	85
17	38	Arábigo	78
17	42	Arábigo	92
17	46	Arábigo	76,5
17	38	Robusta	81,5

17	42	Robusta	94,5
17	46	Robusta	84
18	38	Arábigo	83
18	42	Arábigo	86,5
18	46	Arábigo	82
18	38	Robusta	89
18	42	Robusta	93
18	46	Robusta	85
19	38	Arábigo	89,5
19	42	Arábigo	91
19	46	Arábigo	78
19	38	Robusta	87
19	42	Robusta	96,5
19	46	Robusta	79
20	38	Arábigo	87
20	42	Arábigo	94
20	46	Arábigo	90
20	38	Robusta	91
20	42	Robusta	98
20	46	Robusta	83,5
21	38	Arábigo	86,5
21	42	Arábigo	95
21	46	Arábigo	90
21	38	Robusta	85
21	42	Robusta	97
21	46	Robusta	84
22	38	Arábigo	75,5
22	42	Arábigo	89
22	46	Arábigo	78
22	38	Robusta	74
22	42	Robusta	92,5
22	46	Robusta	79

23	38	Arábigo	85
23	42	Arábigo	93
23	46	Arábigo	89,5
23	38	Robusta	91
23	42	Robusta	97
23	46	Robusta	89
24	38	Arábigo	87,5
24	42	Arábigo	92
24	46	Arábigo	90
24	38	Robusta	89
24	42	Robusta	97
24	46	Robusta	85,5
25	38	Arábigo	89
25	42	Arábigo	91
25	46	Arábigo	87,5
25	38	Robusta	85,5
25	42	Robusta	95,5
25	46	Robusta	85
26	38	Arábigo	86
26	42	Arábigo	92
26	46	Arábigo	89,6
26	38	Robusta	79,5
26	42	Robusta	95
26	46	Robusta	78,5
27	38	Arábigo	82
27	42	Arábigo	92
27	46	Arábigo	88,7
27	38	Robusta	83,5
27	42	Robusta	96,5
27	46	Robusta	78,5
28	38	Arábigo	85,5
28	42	Arábigo	94

28	46	Arábigo	91
28	38	Robusta	86,5
28	42	Robusta	96,5
28	46	Robusta	82
29	38	Arábigo	91
29	42	Arábigo	93,2
29	46	Arábigo	89
29	38	Robusta	80,5
29	42	Robusta	97
29	46	Robusta	82
30	38	Arábigo	84,5
30	42	Arábigo	89
30	46	Arábigo	86,2
30	38	Robusta	78
30	42	Robusta	92,5
30	46	Robusta	75,6

2.4 Análisis de varianza ANOVA

Se aplicó un análisis para un diseño completamente al azar (DCA) 2×3, donde los factores son la variedad de café arábigo/ robusta y el tiempo de tostado (38 min, 42 min y 46 min) esto resulta en un total de seis tratamientos, el objetivo es evaluar cómo afectan estas variables al puntaje de sensorial del café.

Figura 2
Resultados del ANOVA

ANOVA

ANOVA – Puntaje

Casos	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado Medio	F	p
Tiempo	2988.028	2	1494.014	85.456	< .001
Variedad	119.479	1	119.479	6.834	0.010
Tiempo * Variedad	638.747	2	319.373	18.268	< .001
Residuals	3042.033	174	17.483		

Nota. Suma de Cuadrados Tipo III

Verificaciones de Supuestos

Contraste de Igualdad de Varianzas (de Levene)

F	gl1	gl2	p
3.957	5.000	174.000	0.002

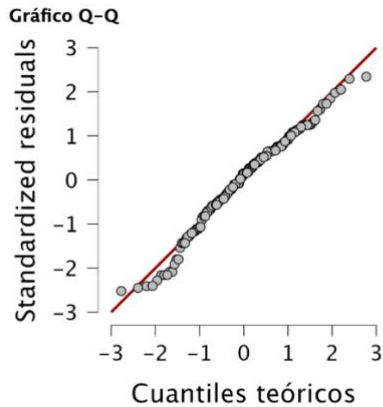
El análisis de varianza ANOVA mostró que el tiempo de tostado influyó significativamente en la calidad sensorial del café ($F= 85,456$; $p<0,001$). Asimismo, la variedad de café presentó diferencias significativas ($F=6,834$; $p=0,010$). Además, también se evidenció una interacción significativa entre el tiempo de tostado y la variedad ($F= 18, 268$; $p<0,001$), lo que indica que el efecto del tiempo de tostado depende de la variedad evaluada, por esto es necesario realizar la prueba de operaciones múltiples de Tukey para identificar las diferencias entre los tratamientos.

Previo a la interpretación de los resultados del análisis de varianza, se verificaron los supuestos estadísticos del modelo, la prueba de Levene presentó un valor de significancia de $p=0,002$, indicando que el supuesto de homogeneidad de varianzas no se cumplió completamente entre los tratamientos evaluados, por lo cual se procedió a evaluar la normalidad de los residuos mediante el análisis gráfico de probabilidad normal Q-Q Plot.

NORMALIDAD DE LOS RESIDUOS

Figura 3

Normalidad de los residuos



Visualmente se puede observar que la normalidad de los recibos es aceptable, ya que la mayoría de los puntos siguen la línea roja, sólo hay una ligera desviación en los extremos, por lo cual se interpreta que si hay una distribución normal en los datos. Considerando que el diseño experimental presenta un número equilibrado de observaciones por tratamiento y que el ANOVA es relativamente robusto frente a las desviaciones moderadas de homogeneidad, se procedió con la interpretación de los resultados obtenidos.

Tukey

Figura 4

Contrastes Post-hoc

Contrastes Post-hoc

Estándar (DSH, HSD)

Comparaciones Post-hoc – Tiempo

		Diferencia de Medias	ET	gl	t	P _{Tukey}
38	42	-8.141	0.763	174	-10.664	< .001
	46	0.929	0.763	174	1.217	0.445
42	46	9.070	0.763	174	11.881	< .001

Nota. Los resultados se promedian sobre los niveles de: Variedad

Nota. Valor P ajustado para comparar una familia de estimaciones de 3.

La prueba de comparación es múltiple de tukey se realizó con el fin de identificar entre qué niveles del factor tiempo de tostado existían diferencias significativas en las calificaciones sensoriales obtenidas.

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de 38 y 42 minutos ($p < 0,001$), así como entre 42 y 46 minutos ($p < 0,001$). En ambos casos el tratamiento de 42 minutos presentó una media sensorial superior, indicando que este tiempo de tostado generó una mejor aceptación por parte de los jueces en comparación con los otros dos niveles evaluados.

La comparación entre 38 y 46 minutos no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,445$), lo que indica que ambos tiempos produjeron calificación de sensoriales similares.

En conjunto de estos resultados sugieren que el tiempo de tostado de 42 minutos presentó un comportamiento diferenciado respecto a los demás tiempos evaluados, debido a que el análisis de varianza evidenció una interacción significativa entre el tiempo de tostado y la variedad de café ($p < 0,001$) la interpretación del efecto del tiempo debe complementarse con el análisis de dicha interacción, ya que la respuesta sensorial depende de la combinación de ambos factores y no únicamente el tiempo de tostado.

Figura 5
Medias Marginales

Medias Marginales ▼

*Medias Marginales – Tiempo * Variedad*

Tiempo	Variedad	Media Marginal	IC del 95% para la Diferencia de Medias		ET
			Inferior	Superior	
38	Arábigo	85.408	83.902	86.915	0.763
42		91.323	89.817	92.830	0.763
46		86.867	85.360	88.373	0.763
38	Robusta	83.887	82.380	85.393	0.763
42		94.253	92.747	95.760	0.763
46		80.570	79.063	82.077	0.763

Las medias marginales estimadas de la interacción entre el tiempo de tostado y la variedad de café evidencia en que la respuesta sensorial varía según la

combinación de ambos factores. En la variedad arábigo, la mayor calificación promedio se obtuvo con un tiempo de tostado de 42 minutos (91,323 puntos), seguido por 46 minutos (86,867 puntos) y 38 minutos (85,408 puntos). Por su parte, en la variedad robusta, el mayor puntaje también correspondió al tiempo de 42 minutos (94,253 puntos), mientras que los tiempos de 38 y 46 minutos alcanzaron promedios de 83,887 y 80,570 puntos.

En términos generales, la combinación robusta 42 minutos presento la mayor media marginal (94,253 puntos), constituyéndose como el tratamiento con mejor desempeño sensorial entre los seis tratamientos evaluados, estos resultados concuerdan con la interacción significativa obtenida en el ANOVA ($p < 0,001$), confirmando que la respuesta sensorial depende de la combinación entre el tiempo de tostado y la variedad de café.

Por lo tanto, el tratamiento seleccionado para la realización de los análisis físico-químicos corresponde a la variedad robusta con un tiempo de tostado de 42 minutos.

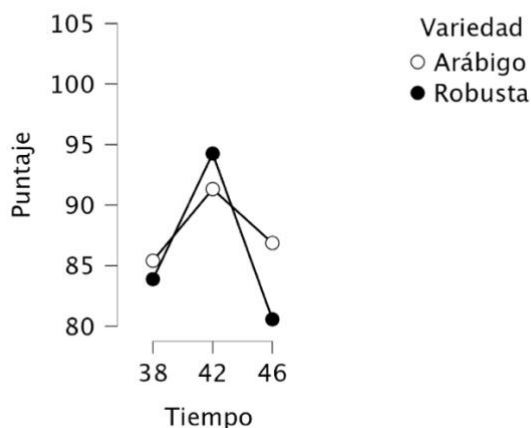
Gráficos descriptivos

Figura 6

Puntaje sensorial promedio según el tiempo de tostado y la variedad de café

Descriptivos

Gráficos descriptivos



El gráfico de interacción evidencia que el efecto del tiempo de tostado sobre la calidad sensorial varía según la variedad de café, ambas variedades alcanzaron

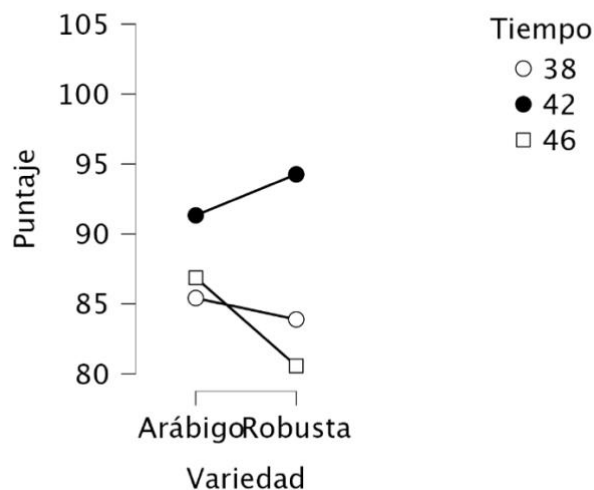
su mayor calificación a los 42 minutos; sin embargo, la variedad robusta presento el puntaje promedio más alto (94,253). Además, se puede observar que las líneas no son paralelas, lo que confirma la existencia de una interacción entre el tiempo de tostado y la variedad de café, en concordancia con los resultados del ANOVA ($<0,001$).

Figura 7

Puntaje sensorial promedio según la variedad de café y el tiempo de tostado

Descriptivos ▼

Gráficos descriptivos



La figura muestra que el tiempo de tostado de 42 minutos obtuvo los mayores puntajes sensoriales en ambas variedades, siendo robusta la de mayor valoración, también se observa que los tiempos de 38 y 46 minutos registraron menores puntajes, especialmente en la variedad robusta.

2.5 Resultados de los análisis físico químicos

Los análisis físico químicos se realizaron únicamente al tratamiento seleccionado por presentar la mejor aceptación sensorial. Los resultados se compararon con los límites de aceptación establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1123. Se obtuvo una humedad de 1,56% por lo cual, si cumple ya que el límite máximo es de 3,5%, un contenido de cenizas de 1,34% encontrándose dentro del límite máximo de 5%.

En cuanto a la una acidez titulable, se obtuvo un valor de 2,27% y un pH de 5,3, estos parámetros contribuyen a las características sensoriales del café tostado y molido. La baja humedad favorece la conservación del producto, mientras que la acidez y el pH influyen en sus características sensoriales, el contenido de cenizas refleja la presencia de minerales naturales del café.

2.6 Resultados de los análisis microbiológicos

En los análisis microbiológicos se obtuvo un recuento de 1×10 UFC/g tanto para levaduras como para mohos, estos resultados evidencian una baja carga microbiana en la muestra analizada según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1123, ya que el límite de aceptación es de 100 UFC/g. Por lo cual, el café presenta condiciones adecuadas de calidad para su consumo.

Capítulo 3

3 Propuesta de Mejora

3.1 Selección y estandarización del perfil de tostado

Con base en los resultados obtenidos mediante la evaluación sensorial y el análisis estadístico del diseño experimental factorial 2×3 , se propone la implementación de un perfil de tostado estandarizado para el emprendimiento café con fe. La propuesta tiene como finalidad establecer parámetros técnicos que permitan obtener un producto con características sensoriales consistentes y reducir la variabilidad asociada al proceso de tostado.

Los resultados del análisis de varianza evidenciaron que tanto el tiempo de tostado como la variedad de café influyen significativamente en la calidad sensorial del producto, se determinó una interacción significativa entre ambos factores, lo que indica que la respuesta es sensorial depende de la combinación específica entre la variedad de café y el tiempo de tostado.

De acuerdo con las medias obtenidas, el tratamiento corresponde a la variedad robusta con un tiempo de tostado de 42 minutos alcanzó la mayor calificación sensorial promedio (94,253 puntos), constituyéndose como la alternativa principal para la estandarización del proceso productivo, por esta razón se propone adoptar este perfil de tostado como referencia operativa para la elaboración de café tostado y molido en el emprendimiento.

Cabe recalcar que la variedad arábigo tostada durante 42 minutos también presentó un desempeño sensorial sobresaliente, alcanzando una valoración promedio de 91,323 puntos. Por lo cual este tratamiento puede considerarse una alternativa viable para la producción de cafés diferenciados o para atender segmentos de mercado con preferencias específicas asociadas a esta variedad.

La aplicación de estos parámetros permitirá disponer de un procedimiento de tostado más uniforme, facilitando la capacitación de futuros operarios, mejorando la repetitividad del proceso y fortaleciendo el control de calidad del producto final.

Tabla 6*Tabla operativa para el perfil de tostado de café robusta a 42 minutos*

Parámetro	Parámetro establecido	Control	Responsable
Variedad	Robusta	Verificar variedad antes del proceso	Operario
Temperatura operativa	150 °C	Controlar durante el tostado	Operario
Tiempo de tostado	42 min	Cronometrar desde el inicio del proceso	Operario
Perfil de tostado	Robusta- 42 min	Mantener las condiciones establecidas	Responsable de producción
Condición del producto	Café tostado según perfil establecido	Inspección visual y sensorial	Responsable de producción

3.2 Propuesta de optimización operativa de la tostadora

La tostadora semi industrial utilizada durante el estudio operó a 150 °C, obteniéndose los mejores resultados sensoriales con un tiempo de tostado de 42 minutos. Como alternativa de mejora en base a lo observado, se recomienda analizar posibles ajustes en la válvula de regulación térmica con el fin de aumentar la temperatura de operación y evaluar su influencia en la duración del proceso. No obstante, debido a que la temperatura no fue considerada como un factor experimental en esta investigación, se recomienda validar esta alternativa mediante estudios posteriores.

3.3 Limitaciones de la investigación

Una limitación del estudio fue que para cada tratamiento se preparó un solo lote de café tostado, el cual fue evaluado por los 30 jueces. Por ello las 30 valoraciones corresponden a opiniones sobre un mismo lote y no a repeticiones independientes del proceso de tostado.

Conclusiones

- La aplicación de diseño experimental factorial 2×3 permitió evaluar el efecto de la variedad de café y del tiempo de tostado sobre la calidad sensorial del café molido, identificando diferencias significativas entre los tratamientos analizados.
- El análisis de varianza evidenció que el tiempo de tostado influyó significativamente en la calidad sensorial del café, observándose el mejor desempeño en los tratamientos sometidos a 42 minutos de tostado.
- Se determinó la existencia de una interacción significativa entre la variedad de café y el tiempo de tostado, demostrando que la respuesta sensorial depende de la combinación de ambos factores y no únicamente de cada variable por separado.
- El tratamiento conformado por la variedad robusta y un tiempo de tostado de 42 minutos obtuvo la mayor calificación promedio en la evaluación sensorial, alcanzando 94,253 puntos por lo que se identificó como la mejora alternativa para la estandarización del proceso de tostado en el emprendimiento.
- La variedad arábigo tostada durante 42 minutos también presentó una valoración sensorial elevada, constituyéndose como una alternativa técnicamente viable para la elaboración de productos diferenciados dentro del portafolio del emprendimiento.
- Los análisis realizados al tratamiento seleccionado permitieron verificar que el café tostado y molido presentó características físico químicas adecuadas y una baja carga de microbiológica, estos resultados evidencian que el producto cumple con condiciones favorables de calidad.

Recomendaciones

- Implementar como perfil de tostado de referencia la combinación correspondiente a la variedad robusta con un tiempo de tostado de 42 minutos, debido a que presentó la mayor valoración sensorial durante la investigación.
- Considerar la variable arábigo tostada durante 42 minutos como una alternativa de producción para diversificar la oferta comercial y atender distintos perfiles de consumidores.
- Mantener registros operativos de los parámetros de tostado aplicados en cada lote, con el fin de fortalecer la trazabilidad y el control de calidad del proceso productivo.
- Capacitar al personal encargado del tostado en la aplicación de los parámetros estandarizados obtenidos en esta investigación, garantizando la repetibilidad de los resultados y reduciendo la variabilidad entre lotes.
- Realizar investigaciones futuras que incorporen la temperatura de tostado como el factor experimental, con el propósito de determinar combinaciones óptimas de tiempo y temperatura que permitan mejorar simultáneamente la calidad sensorial y la eficiencia operativa del proceso.
- Evaluar técnicamente posibles ajustes en el sistema de calentamiento de la tostadora, verificando su influencia sobre la duración del ciclo de tostado, la capacidad productiva y la calidad final del café.
- Realizar nuevamente los análisis exigidos por ARCSA para el producto terminado, a fin de respaldar la producción bajo las nuevas condiciones de proceso y garantizar el cumplimiento de los requisitos regulatorios aplicables.

4 Bibliografía

- Internacional Trade Centre. (2021). *La guía del café (4.ª ed.)*. Centro de Comercio Internacional.
- International Coffee Organization. (2024). Overview and reports on the global coffe sector.
- ISO. (2008). ISO 6668: Café verde. Preparación de muestras para uso en análisis sensorial. Organización Internacional de la Normalización.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2022). Informe de gestión. Gobierno del Ecuador.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2024). Informe del análisis de los determinantes de la productividad del café arábigo 2023. Proyecto PIDARA.
- Prefectura de Manabí. (2024). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de Manabí 2003-2027 (PDOT).
- Duicela Guambi , L., Moreano , J., & Talledo, D. (2018). Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta en la amazonía del Ecuador. INIAP.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2017). Café robusta (*Coffea canephora*) en Ecuador: caracterización agronómica y genética. INIAP.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2010). Protocolo de análisis de calidad del café. IICA.
- International Coffee Organization. (2024). Coffee Development Report 2022-23. ICO.
- Osorio , V., & Pabón , J. (2022). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la calidad sensorial del café. *Revista Cenicafé*, 73(1), e73102.

- Guzmán, N., Cortes , J., & Gómez, N. (s.f.). Evaluación sensorial en café Espresso. Una comparación entre jueces internacionales. Ingeniería y región, (11), 101-106.
- Ministerio de Industrias y Productividad. (2012). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 070: Control de Contaminantes en Alimentos Procesados.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Illy , A., & Viani , R. (2005). Espresso Coffe: The Science of Quality (2nd ed.). Academic Press.
- Foster , R., & Chambers , E. (2018). The Craft and Science of Coffee. . Academic Press.
- Duicela Guambi, L. A. (2004). Post-cosecha y calidad del café arábigo. INIAP Archivo Historico.
- Campuzano Duque, L. F., Herrera, J. C., Ged, C., & Blair , M. W. (2021). Bases para el establecimiento del café robusta (*Coffea canephora*) como nuevo cultivo para Colombia. *11(12)*, 2550. Agronomía .
- Hernández Estrada, Z. J., Rodríguez España , M., Ángel Juarez, S., Suárez Quiroz , M. L., Gonzáles Rios , O., & Figueroa Hernández , C. (2024). Efecto del tostado en la composición química de los granos de café. *Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*, (135), 5-15.
- Specialty Coffe Association(SCA). (2015). Coffe Tasters Flavor Wheel and Cupping Protocol.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2016). NTE INEN 1123: Café tostado en grano o molido. Requisitos. .

Anexos





INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/67858

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ZAMBRANO LOPEZANA LUCIA
 ATENCIÓN: ZAMBRANO LOPEZANA LUCIA
 DIRECCIÓN: ULEAM -MANA
 ESPECIE: N/A
 TIPO ENVASE: FUNDAS
 No. CASA SI N/A
 UNIDAD/PESO: 1 MUESTRA (4 LIBRAS)
 MARCA: N/A
 PAIS DE DESTINO: N/A
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: CAPE ROBUSTA TOSTADO Y MOLIDO.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 10/7/2026 0:00:00
 FECHA DE INGRESO: 10/7/2026 0:00:00
 FECHA INICIO ENSAYO: 17/7/2026 0:00:00
 FECHA FINALIZACIÓN ENSAYO: 17/7/2026 0:00:00
 FECHA EMISIÓN RESULTADOS: 20/7/2026 14:32:16
 FACTURA: N/A
 ORDEN: 67858
 TIPO PRODUCTO: ALIMENTO

PARÁMETRO	LOTE	RESULTADOS	UNIDAD	LOQ	LOD	U+-	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
							Mín	Máx	
Levaduras*	N/A	1x10	UFC/g	-	-	-	-	-	PEE/CESECCA/MI/21 Método de Referencia AOAC Ed 22, 2023; 997.02
Mohos*		1x10	UPC/g	-	-	-	-	-	PEE/CESECCA/MI/20 Método de Referencia AOAC Ed 22, 2023; 997.02
Acidez Titulable*		2,27	%	-	-	-	-	-	PEE/CESECCA/QC/39 Método de Referencia AOCS Ca-5a-40
Cenizas*		1,34	%	-	-	-	-	-	PEE/CESECCA/QC/39 Método de Referencia AOAC Ed. 22, 2023; 938.08; 999.02 NTE INEN 467:1980; AACCC 08-12, Ed. 1999
Humedad*		1,56	%	-	-	-	-	-	PEE/CESECCA/QC/12 Método de Referencia AOAC Ed. 22, 2023; 934.01
pH*		5,3	-	-	-	-	-	-	PEE/CESECCA/QC/31 Método de Referencia NTE INEN 181:1991

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.CA se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epesec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epesec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.CA mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE ISO/IEC 17025:2018, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
 ND: No detectable



Ing. Fernando Veloz Parraja
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epesec.gob.ec
www.uleam-epesec.gob.ec

Uleam