UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

CENTRO REGIONAL COMAYAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS

EVALUACIÓN DEL USO DE LA ENZIMA PECTOLÍTICA POLIGALACTURONASA SOBRE LA CALIDAD DE TAZA DEL CAFÉ (*Coffea arábica* L.) VARIEDAD CATUAÍ, MEDIANTE ANÁLISIS SENSORIAL TRADICIONAL Y CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES A PARTIR DE NARIZ ELECTRÓNICA Y SU RELEVANCIA EN LA COMPETITIVIDAD COMERCIAL.

TESIS

POR:

ESLHY CAROLINA CASTILLO LARA

COMAYAGUA **COMAYAGUA**

DICIEMBRE, 2025

EVALUACIÓN DEL USO DE LA ENZIMA PECTOLÍTICA POLIGALACTURONASA SOBRE LA CALIDAD DE TAZA DEL CAFÉ (*Coffea arábica* L.) VARIEDAD CATUAÍ, MEDIANTE ANÁLISIS SENSORIAL TRADICIONAL Y CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS VOLÁTILES A PARTIR DE NARIZ ELECTRÓNICA Y SU RELEVANCIA EN LA COMPETITIVIDAD COMERCIAL.

POR:

ESLHY CAROLINA CASTILLO LARA

JHUNIOR ABRAHAN MARCÍA FUENTES, PhD.
Director de Tesis

TESIS

PRESENTADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA CENTRO REGIONAL COMAYAGUA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN AGROEXPORTACION

COMAYAGUA **COMAYAGUA**

DICIEMBRE, 2025

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo al creador de todo el universo, por ser la fuente de mi fortaleza, mi guía y mi inspiración en cada paso de este camino, mostrándome que su tiempo es perfecto. En los momentos de dudas me brindo sabiduría y en los de cansancio me sostuvo con su amor, tal como dice su palabra "Todo lo puedo en Cristo que me fortalece" Filipenses 4:13, este logro es el reflejo de su gracia y de las bendiciones que ha derramado sobre mí. A mis amados padres, Nubia Lara y Esteban Castillo, pilares indiscutibles de mi vida, con todo el amor y la gratitud que mi corazón puede expresar. Gracias por su esfuerzo incansable, por su amor incondicional, su ejemplo de perseverancia y su constante apoyo, por quienes me enseñaron que la verdadera riqueza no está en lo material, sino en el conocimiento, en los valores, en la educación, y en el esfuerzo constante por ser mejor cada día. A mis queridas hermanas, Jazmín Castillo y Andrea Castillo, por ser mi compañía incondicional en este camino, mis confidentes y apoyo constante, cada palabra de ánimo y esas conversaciones que llegaron justo cuando más lo necesitaba fueron un pilar fundamental en cada etapa de este proceso. A mi sobrino Esteban David Castillo, el pequeño tesoro de la familia, cuya sonrisa, ternura y ocurrencias han sido una inspiración para seguir adelante, su inocencia y alegría me recuerdan la importancia de luchar cada día por un futuro mejor. A mis abuelos, Petronila Cáceres y Pompilio Lara, que desde el cielo deben de estar orgullosos, a quienes amare y recordare siempre. Finalmente, a todos aquellos que, de una u otra forma, han sido parte de este recorrido, este logro no hubiera sido posible sin el apoyo de cada uno de ustedes.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, quien conoce todos los anhelos de mi corazón, su luz a iluminado cada paso en este camino y me ha dado la sabiduría necesaria para enfrentar cada desafío, sin su amor y apoyo, este logro no hubiese sido posible. ¡Gracias al rey de reyes!

A mi madre y padre, por darme las herramientas más poderosas para enfrentar la vida: el amor a Dios, la fe, la honestidad, el respeto, la humildad y la perseverancia, son el ejemplo más grande de amor, sacrificio y entrega. Porque es más fácil ser valiente cuando están a mi lado, espero se sientan tan afortunados de ser mis padres como yo me siento de ser su hija.

A mi hermana Jazmín Castillo, que ha dado todo por mi e incluso posponer sus sueños para hacer posibles los míos, por seguir caminando a mi lado y nunca dejarme sola, brindándome su apoyo siempre.

Expreso mi profundo agradecimiento a la empresa COCAOL y la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos, experiencias y aprendizajes valiosos que contribuyeron al desarrollo de este trabajo.

Finalmente, agradezco a mis asesores de tesis, PhD Jhunior Marcia, MSc Romeo Guevara y MSc Carmen Barahona, por su guía, paciencia, tiempo, dedicación y aportes que orientaron el desarrollo de este trabajo.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA i

AGRADECIMIENTO ii

LISTA DE TABLAS vi

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE ANEXOS viii

RESUMEN x

I. INTRODUCCION 1

II. OBJETIVOS 3

2.1 Objetivo general 3

2.2 Objetivos específicos 3

III. REVISIÓN DE LITERATURA 4

3.1 Evolución de la industria del café 4

3.2 Características del café 5

3.3 Variedad catuaí 5

3.4 Composición química y física del café 6

3.4.1 Composición química 6

3.4.2 Composición física 7

3.5 Procesamiento del café 8

3.6 Calidad en la industria del café 11

3.7 Calidad de taza del café 12

3.7.1 Métodos de estimación de calidad del café 12

3.8 Enzimas 14
3.8.1 Enzimas pectolíticas 15
3.9 Nariz electrónica 16
3.10 Relevancia del café en el comercio 18
IV. MATERIALES Y MÉTODOS 20
4.1 Lugar de investigación 20
4.2 Materiales y equipos 22
4.3 Método 23
4.4 Metodología 23
4.5 Diseño experimental 30
4.6 Variables de respuesta 31
4.7 Análisis de resultados 32
V. RESULTADOS Y DISCUSION 33
5.1 Análisis sensorial 33
5.2 Cuantificación de metabolitos 38
5.2.1 Resultados del contenido de SACAROSA en café verde 38
5.2.2 Resultados del contenido de HMF en café tostado 40
5.2.3 Resultados del contenido de cafeína en café tostado y verde 42
5.2.4 Resultados del contenido de trigonelina en café tostado y verde 44
5.3 Análisis con la Nariz Electrónica (*E-nose*) 47
5.4 Análisis físico-químico 52
5.4.1 Análisis de pH 53
5.4.2 Análisis de solidos solubles 53
5.4.3 Análisis de conductividad (µS) 54
5.4.4 Análisis de humedad 55
5.4.5 Análisis de viscosidad 56
5.5 Análisis modelo de precios hedónicos 57

VI. CONCLUSIONES 63
VII. RECOMENDACIONES 64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65
ANEXOS 72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del grano de café (100 g) 7
Tabla 2. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café 11
Tabla 3. Rangos que determinan la calidad del café (SCAA) 13
Tabla 4. Materiales y equipo para la investigación..... 22
Tabla 5. Diseño Factorial..... 30
Tabla 6. Diseño experimental 31
Tabla 7. Análisis sensorial inicial mediante catación de café con jueces especializados de COCAOL..... 33
Tabla 8 Análisis sensorial inicial mediante catación de café con juez especializado de COHORSIL 34
Tabla 9 Catación posterior con la enzima poligalacturonasa con jueces especializados de COCAOL..... 35
Tabla 10. Contenido de sacarosa en café verde según proceso y tratamiento 38
Tabla 11. Contenido de HMF en café tostado según proceso y tratamiento..... 40
Tabla 12. Contenido de cafeína en café tostado y verde según proceso y tratamiento..... 42
Tabla 13. Contenido de trigonelina en café tostado y verde según proceso y tratamiento . 45
Tabla 14. Análisis físico-químicos (pH, °Bx, Conductividad, Viscosidad (Cp.) y Humedad) 52
Tabla 15. Medias de Viscosidad por tratamiento 57
Tabla 16. Estadísticas descriptivas de variables continúas utilizadas en el análisis de modelo hedónico de cafés especiales de Taza de Excelencia..... 58
Tabla 17. Frecuencia y porcentaje en las que se presentan cada variedad analizada en el modelo hedónico de cafés especiales de Taza de Excelencia..... 58
Tabla 18. Frecuencia y porcentaje de los métodos de beneficiados analizados en el modelo hedónico de cafés especiales de Taza de Excelencia..... 59
Tabla 19. Resultados del modelo de regresión lineal múltiple para la estimación de precios hedónicos del café (variable dependiente: ln_precio) 60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Procesos para tratamiento café lavado y melado 9
Figura 2. Ruedas de sabores y aromas del café 14
Figura 3.. Tamaño y alcance del mercado global de poligalacturonasa 16
Figura 4. El sistema de olfato electrónico y sus módulos 17
Figura 5. Panorama del sector cafetalero en Honduras 18
Figura 6. COCAOL, ubicada en Santa María del Real, Olancho. 21
Figura 7. Universidad de El Salvador, ubicada en San Salvador, El Salvador. 21
Figura 8. Puntaje inicial de catación. 34
Figura 9. Puntajes de café por tratamiento en proceso lavado. 36
Figura 10. Puntajes de café por tratamiento en proceso melado. 37
Figura 11. Distribución de familias químicas volátiles detectadas por el modelo E-nose. 47
Figura 12. PCA de familias químicas modeladas en café procesado bajo distintos tratamientos. 48
Figura 13. Perfil químico promedio representado en un gráfico radar para el modelo de E-nose. 49
Figura 14. Comparación de la intensidad promedio de compuestos volátiles (VOC) antes y después del tratamiento con poligalacturonasa. 51
Figura 15. Análisis de pH por tratamiento. 53
Figura 16. Análisis °Brix totales. 54
Figura 17. Análisis de conductividad (µS) total por tratamiento. 55
Figura 18. Análisis de humedad por tratamiento. 56

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Formato y resultados de catación inicial por COCAOL. 72
Anexo 2. Formato y resultado posterior con la enzima por COCAOL. 73
Anexo 3. Recolección de materia prima Café var. Catuaí 74
Anexo 4. Proceso de despulpado del café. 74
Anexo 5. Proceso de fermentación del café. 75
Anexo 6. Proceso de lavado del café. 75
Anexo 7. Secado proceso lavado del café. 76
Anexo 8. Secado proceso melado (honey) del café. 76
Anexo 9. Clasificación de granos defectuosos. 77
Anexo 10. Medición de humedad café verde. 77
Anexo 11. Tostado No. 65 SCAA. 78
Anexo 12. Catación Inicial por COCAOL. 78
Anexo 13. Preparación de enzima para la adición del café. 79
Anexo 14. Fermentación anaeróbica de los tratamientos. 79
Anexo 15. Secado de los tratamientos. 80
Anexo 16. Tratamientos trillados. 80
Anexo 17. Tratamientos tostados No. 65 SCAA. 81
Anexo 18. Café molido para su respectiva catación. 81
Anexo 19. Catación posterior con la enzima poligalacturonasa. 82
Anexo 20. Análisis de conductividad de las muestras. 82
Anexo 21. Análisis °Brix. 83
Anexo 22. Análisis de humedad. 83
Anexo 23. Análisis de viscosidad. 84
Anexo 24. Equipo de HPLC. 84
Anexo 25. Molienda de muestras de café verde y tostado. 85
Anexo 26. Preparación de muestras para infusión. 85
Anexo 27. Materiales de curva de calibración de metabolitos. 86

Anexo 28 Preparación de muestras para la determinación de perfil de azucares de café verde. 86
Anexo 29. Preparación de muestras para cuantificar Trigonelina, Cafeína y HMF. 87
Anexo 30. Filtrado de infusión de muestras café verde. 87
Anexo 31. Filtrado de infusión de muestras café tostado..... 88
Anexo 32. Preparación de inyecciones para el equipo de HPLC. 88
Anexo 33. Método HPLC curva de calibración Trigonelina. 89
Anexo 34. Método HPLC curva de calibración HMF. 89
Anexo 35. Método HPLC curva de calibración Cafeína. 89

CASTILLO LARA E. C. (2025) Evaluación del uso de la enzima pectolítica poligalacturonasa sobre la calidad de taza del café (*Coffea arábica* L.) variedad catuaí, a partir de análisis sensorial tradicional y caracterización de compuestos volátiles mediante nariz electrónica y su relevancia en la competitividad comercial. Tesis Ingeniería en Agroexportación, Facultad De Ciencias Económicas Y Administrativas, Universidad Nacional de Agricultura Centro Regional Comayagua. Comayagua, Honduras. 101 pp.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la enzima poligalacturonasa sobre la calidad en taza del café *Coffea arábica* procesado mediante los métodos de lavado y melado, utilizando tiempos de fermentación controlados de 6, 12 y 24 horas, en comparación con muestras tratadas y no tratadas con la enzima, mediante análisis sensorial tradicional y tecnología de nariz electrónica (*E-nose*). La evaluación sensorial fue realizada por jueces especializados de COCAOL y COHORSIL, quienes calificaron atributos como fragancia, cuerpo, acidez, sabor y apreciación final, siguiendo la metodología de la *Specialty Coffee Association of America* (SCAA). La caracterización química se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), permitiendo la cuantificación de metabolitos relevantes como sacarosa, cafeína, trigonelina y 5-hidroximetilfurfural (HMF). El análisis mediante *E-nose* evidenció una mayor intensidad de compuestos orgánicos volátiles, principalmente alcoholes y compuestos aromáticos, así como una diferenciación clara entre tratamientos según el análisis de componentes principales (PCA), lo que indica que la aplicación de poligalacturonasa favorece la liberación de moléculas aromáticas desde la matriz del café. Además, se realizaron análisis fisicoquímicos de pH, sólidos solubles (°Brix), conductividad, humedad y viscosidad, los cuales permitieron comprender el comportamiento de la enzima durante la fermentación controlada. Finalmente, el análisis del modelo de precios hedónicos, basado en la Subasta Taza de Excelencia de Honduras 2024, demostró que el incremento en la nota de cata se traduce en una mejora significativa del valor comercial del café, alcanzando aumentos de hasta 42.3% en el proceso lavado y 28.2% en el proceso melado, lo que resalta el potencial tecnológico y económico del uso de poligalacturonasa en la poscosecha del café.

Palabras clave: Poligalacturonasa; *Coffea arábica*; fermentación; calidad en taza; nariz electrónica; compuestos volátiles; precios hedónicos.

I. INTRODUCCION

El café es un producto de gran importancia económica, comercializado internacionalmente como café verde. El género *Coffea* contiene alrededor de 100 especies, siendo *C. arábica* y *C. canephora* las más importantes para fines comerciales (Patui, 2014), se considera que las variedades *arábica* tienen mejores características sensoriales y, en consecuencia, precios de compra más altos que las variedades *robusta* (Tugnolo, 2019).

El café se considera un alimento funcional, principalmente debido a su alto contenido de compuestos que ejercen propiedades antioxidantes, antinflamatorias y neuro protectoras como los polifenoles (ácido clorogénico, ácido cafeico, ferúlico, cumárico), melanoidinas y alcaloides como la cafeína, el contenido de estas sustancias apunta al café como fuente de antioxidantes y, por ende, un alimento útil para proteger al organismo de la oxidación celular y los daños provocados por los radicales libres (Marcía et al., 2025); (Valerio et al., 2025). Además, su perfil nutricional contiene cantidades de riboflavina (vitamina B2), acido pantoténico (vitamina B5), manganeso, magnesio, potasio y niacina (vitamina B3) (Yashin, 2017). La composición de compuestos volátiles de los granos de café tostado depende de la variedad y la intensidad del tostado, de igual manera, la alta calidad del café se describe por una sensación agradable y un equilibrio de sabor, cuerpo y acidez; siendo el sabor el parámetro más importante para el consumidor (Sunarharum, 2014).

En Honduras, en la última década se viene consolidando el mercado de cafés de alta calidad, especiales y orgánicos, que exigen productos diferenciados, donde se ha evidenciado en países con un alto poder adquisitivo la tendencia de consumo de una bebida de alta calidad.

Es por esto que se ha empleado mayor competitividad en países productores de café y su valor dentro del mercado internacional (Ladino-Garzón, 2016). El uso de enzimas pectolíticas se ha implementado en la industria de alimentos y bebidas para clarificar néctares y obtener más volumen de producción. Estas, se utilizan para transformación y producción de aromas y de productos intermedios. En la industria del vino se emplean para

tratar los mostos y como resultado de la pectólisis se obtiene más volumen de producto con excelente calidad, brillo y mejor aroma (Brebechova & Prieto, 2006).

La percepción de los atributos sensoriales del café varía entre catadores debido a factores genéticos, influencias socioculturales y la experiencia personal o profesional, lo que hace que cada individuo interprete aromas y sabores de forma única, siendo una limitación en la evaluación sensorial tradicional. Por ello se ha demostrado que la nariz electrónica es una alternativa objetiva para la valoración y descripción del perfil aromático para café tostado que puede ser empleada para análisis rutinarios a nivel industrial (Diaz Villamizar, 2022).

Las narices electrónicas han sido diseñadas con el fin de emular el sentido del olfato humano, son capaces de detectar y clasificar olores complejos, dicha identificación de un olor depende en gran parte del tipo de sensor, ya que cada uno de ellos está caracterizado por su propio grado de selectividad, es decir, la capacidad para responder a diferentes tipos de gases, las narices electrónicas más comunes basan su funcionamiento en una matriz de sensores, o por un espectrómetro de masas, también las que usas cromatografía de gases (Moreno & Serracín, 2016).

La nariz electrónica de bloques de sensores que se alteran en la aspiración del aire al oler, de tal forma que otro bloque de sensores realiza la medición, los demás aspiran aire limpio con el objetivo de forzar la rápida recuperación de la sensibilidad olfativa (Gonzalez *et al*, 2010). Por lo cual, esta investigación surge como una alternativa innovadora para la evaluación sensorial tradicional de la calidad de taza del café, implementando herramientas tecnológicas como la nariz electrónica, por su capacidad de detectar y cuantificar compuestos volátiles, al igual el uso de las enzimas pectolíticas sobre la calidad en taza del café. Por lo anterior, esta investigación tiene por objetivo evaluar el efecto del uso de enzimas pectolíticas sobre la calidad sensorial del café (*Coffea arábica* L.) de la variedad Catuaí, mediante catación tradicional y nariz electrónica.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto del uso de enzimas pectolíticas sobre la calidad sensorial del café (*Coffea arábica* L.*)* de la variedad Catuaí, mediante catación tradicional y nariz electrónica.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la concentración optimizada de la enzima pectolítica poligalacturonasa en café variedad Catuaí a partir del diseño de superficie de respuesta.

- Identificar los compuestos volátiles de las formulaciones optimizadas presentes en el café (*Coffea arábica)* Catuaí, comparando las muestras tratadas y no tratadas con la enzima pectolítica poligalacturonasa, mediante el uso de la nariz electrónica.

- Comparar los resultados obtenidos con la nariz electrónica y el análisis sensorial tradicional, para determinar la eficacia de la nariz electrónica como herramienta de evaluación sobre la calidad de taza del café.

- Evaluar el impacto de la enzima poligalacturonasa en el precio en mercados especializados del café (*Coffea arábica*) variedad Catuaí.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Evolución de la industria del café

Una de las bebidas más consumidas a nivel mundial es el café, por su sabor, aroma y sus propiedades estimulantes, debiéndose a los compuestos que se forman durante el tueste (Fukalova & Almeida, 2024). De igual manera, el café es uno de los cultivos más importantes mundialmente, posicionándose en el segundo lugar después del petróleo crudo (Valerio et al., 2025).

El origen del café remonta en Etiopia, donde según la historia un pastor llamado Kaldi descubrió sus efectos estimulantes al observar sus cabras llenas de energía tras ingerir los frutos del cafeto, al consumirlo, noto el mismo efecto y lo compartió con otros monjes, quienes también permanecieron despiertos, esta noticia de una extraña fruta se extendió hasta finalmente llegar a la Península Arábiga, donde comenzó a cultivarse y comercializarse bajo el nombre qahwa que significa vino, sin embargo, en el siglo XV se arraigó en Yemen y en el siglo XVI se popularizo en Siria, Turquía, Egipto y Persia, posteriormente los franceses iniciaron el cultivo en el Caribe, los portugueses en Brasil y los españoles en Centroamérica (Cablevey, 2025).

El café representa una actividad económica importante en Centroamérica, representando aproximadamente el 10% de la producción mundial (Pierre y otros, 2020). El género *Coffea* contiene alrededor de 100 especies, siendo *C. arábica* y *C. canephora* las más importantes para fines comerciales (Patui, 2014).

3.2 Características del café

La planta del café es un arbusto o árbol pequeño de hoja perenne, nativo de los bosques de las montañas de Etiopia, considerada el lugar de origen del café (Valerio et al., 2025). Sus flores blancas y bisexuales forman una inflorescencia corta llamada glomérulo, además, el café se clasifica como una drupa, que consiste en una piel lisa o exocarpio, una pulpa blanda amarillenta o mesocarpio y un endocarpio fibroso de color verde grisáceo que rodea las semillas, que comúnmente se denominan granos de café, de igual manera, el mesocarpio es rico en azúcares reductores, sacarosa y agua. El endocarpio (también llamado pergamino) es un tejido duro y lignificado, que protege las semillas de café contra las enzimas digestivas del intestino de los animales frugívoros (Pauti et al, 2014).

3.3 Variedad catuaí

La variedad Catuaí tiene una muy buena calidad en taza, la altura de la planta es bajo, lo cual facilita su cosecha y manejo (Cordova & Valdez, 2024). Dicha variedad es el resultado del cruzamiento artificial de las variedades Mundo Novo y Caturra, realizado en Brasil. es una variedad de porte bajo, pero un poco más alta que Caturra, con una altura promedio de 2.25 metros, las ramas laterales forman un ángulo cerrado de 45 grados con el tallo principal, con entrenudos cortos. Las hojas nuevas o brotes son de color verde claro, las hojas adultas tienen una forma redondeada y de color verde oscuro. Es una variedad muy vigorosa, que desarrolla mucho crecimiento lateral con ramas secundarias; produce frutos de color rojo y amarillo, tamaño de grano mediano (zaranda 16), tiene alta capacidad de producción y en condiciones óptimas de clima y suelo, podría llegar a producir 79 quintales por hectárea. La maduración de los frutos es tardía y no se desprenden fácilmente de las bandolas, produce una excelente calidad de bebida (Jumbo, 2022).

3.4 Composición química y física del café

3.4.1 Composición química

El café, químicamente se compone de agua y materia seca. La materia seca de los granos del café almendra está constituida por minerales y por sustancias orgánicas que son los carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides, como la cafeína y la trigonelina, así como, por ácidos carboxílicos y fenólicos, y por compuestos volátiles que dan el aroma a la almendra (Puerta, 2011).

Las características sensoriales son el resultado de la combinación de varios compuestos volátiles y no volátiles, estos compuestos volátiles del café presentan aromas característicos que son percibidos mediante la catación del producto (Jumbo, 2022). Los estudios destinados para conocer la fracción aromática del café durante años son con la finalidad de identificar a los compuestos que son considerados como constituyentes del aroma del café. Donde se han encontrado diferentes familias de compuestos volátiles, las cuales incluyen ácidos, aldehídos, alcanos, alquenos, esteres, furanos, cetonas, lactonas, oxázoles, fenoles, piridinas, pirazinas, pirroles y compuestos azufrados (Palomares, 2013).

La proporción de los principales compuestos volátiles, derivan de las fermentaciones controladas, comprende 16.9% de 2-furanometanol que tiene olor a caramelo, 13.7% de ácido acético con olor a agrio, 9.5% de furfural con olor a almendras, 8.3% de 5-metil-2-furancarboxaldehido con olor a especia dulce, 4.9% de 2.5-dimetilpirazina con olor a chocolate y nuez, 4.3% de 1-hidroxi-2-propanona con olor a acetona, etéreo 3.2% de 2-metilpirazina con olor a tostado, avellana y chocolate, lo que conforman el 60.8% de la fracción volátil del café tostado (Puerta, 2015).

Tabla 1. Composición química del grano de café (100 g)

Componentes químicos	Arábica %	Robusta %
Polisacáridos	50.8	56.4
Sacarosa	8	4
Azucares Reductores	0.1	0.4
Proteínas	9.8	9.5
Aminoácidos	0.5	0.8
Cafeína	1.2	2.2
Trigodelina	1	0.7
Lípidos	16.2	10
Ácido alifático	1.1	1.2
Ácido clorogénico	6.9	10.4
Minerales	4.2	4.4
Compuestos aromáticos	Trazas	Trazas

Fuente: (Puerta, 2011).

3.4.2 Composición física

La proporción de los componentes del café y sus características físicas pueden sufrir modificaciones respecto a la etapa del cultivo y la manipulación en el beneficio, lo cual se reflejarán en las relaciones de rendimiento del café. Dentro de las constantes físicas existe la relación entre el peso y volumen, estas contantes sirven como instrumento para evaluar el sistema productivo, facilitan las operaciones comerciales, así también al diseño de los beneficiaderos, el diseño y calibración de dispositivos y maquinas que son empleadas en el proceso del café (Montilla *et al*, 2008)

La calidad física del café hace referencia al aspecto visual e incluye valoración del olor y color del pergamino, así mismo la evaluación de su aspecto en general. La calidad física del café pergamino se deriva principalmente de dos indicadores, el contenido de humedad y la cantidad de almendra sana, siendo que el café este compuesto por pergamino (endocarpio, cisco), almendra defectuosa y almendra sana, se refiere a la cantidad de granos sanos, si defectos, presentes en una cantidad de muestra determinada (Osorio, 2021).

3.5 Procesamiento del café

En los mercados de café especiales es importante mantener la calidad y buenos atributos, asimismo, las buenas prácticas se deben convertir en una norma habitual, donde se apliquen en la producción, cosecha, despulpado, fermentado, lavado, secado, almacenamiento y transporte, de igual manera, los atributos, fragancias, aromas y calidad del grano dependen de distintos procesos como el tipo de café a ofertar (i.e. natural, honey o melado lavado) (Sanz *et al*, 2013).

El café lavado tiene un proceso donde se despulpa el café, se fermenta y se lava para remover el mucilago, y por último se seca, por otra parte, el proceso de café honey o melado tiene un proceso de despulpado y luego se seca aun con la capa de mucilago que queda en el pergamino (Tejeda *et al.,* 2020).

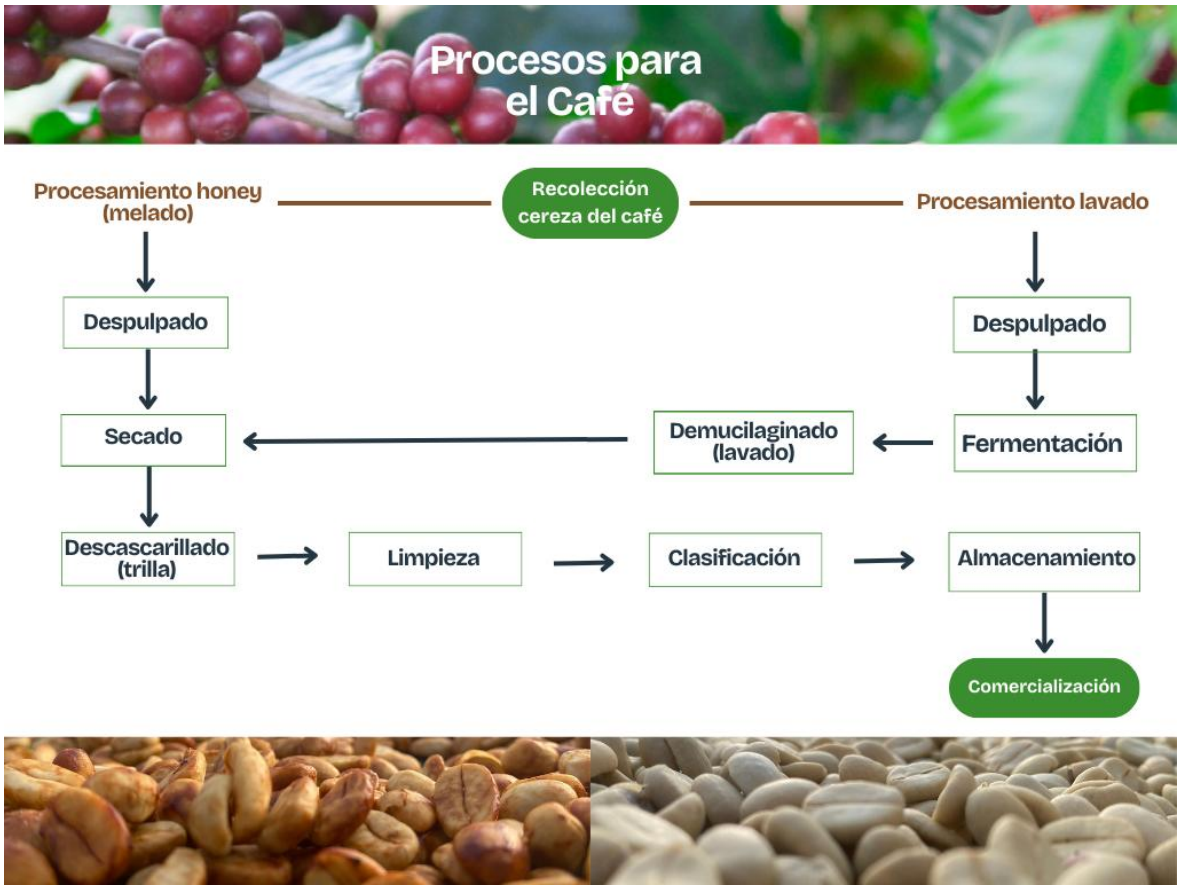


Figura 1. Procesos para tratamiento café lavado y melado

Fuente: Elaboración propia con información adquirida por Tejeda *et al.,* 2020.

Descripción de cada etapa del proceso para el café según Tejeda et al (2020); se describe cada una de ellas a continuación:

- Recolección de cereza del café

La cosecha se enfoca en recolectar únicamente las cerezas maduras, clasificando los granos por color y densidad. Se evita dejar los sacos al sol y se separan los granos caídos al suelo para no afectar la calidad del café.

- Despulpado

Este proceso consiste en retirar la pulpa de las cerezas maduras dentro de un lapso máximo de 6 a 12 horas después de la cosecha. Se realiza un despulpado separado para evitar contaminación con granos defectuosos (verdes, pintones o sobre maduros) que podrían generar sabores indeseados en la taza.

- Fermentación

La fermentación permite desprender el mucílago adherido al grano, realzando aromas y sabores especiales como dulzura, notas cítricas o florales. Se recomienda no exceder las 24 horas de fermentación, manteniendo temperaturas máximas de 20 °C.

- Demucilaginado (Lavado)

Luego de la fermentación, el café se lava para eliminar los residuos del mucílago. Se utiliza agua pura y se realizan entre tres y cuatro cambios de agua, evitando contaminación de fuentes sucias o químicas. En este paso también se retiran los granos vanos que flotan.

- Secado

El café se seca de forma solar, preferiblemente en domos, patios, zarandas o plásticos. El proceso abarca tres fases: oreado, pre secado y secado, y se realiza extendiendo los granos en capas delgadas para evitar defectos.

- Descascarillado (Trilla)

En esta etapa, después del secado, se elimina la cáscara seca (pergamino) que recubre el grano de café, utilizando equipos de trilla especializados.

- Limpieza

Tras la trilla, se realiza la limpieza para eliminar residuos de cáscara, polvo o impurezas físicas, asegurando que el grano esté limpio para su posterior clasificación.

- Clasificación

Se separan los granos según tamaño, peso y defectos, buscando uniformidad para la calidad.

- Almacenamiento

El café debe almacenarse en sacos limpios y, preferiblemente, nuevos. Los sacos deben estibarse de manera ventilada, dejando espacios libres de al menos 50 cm entre paredes, estibas y techo. El grano debe tener una humedad entre 10% y 12%, y de preferencia empacarse en bolsas plásticas de baja permeabilidad al aire y humedad, con protección contra rayos ultravioleta.

3.6 Calidad en la industria del café

Para el café la definición de calidad ha evolucionado a través de los siglos, esta varia a lo largo de toda la cadena de producción hasta el consumidor. A nivel del caficultor la calidad del café es una combinación entre el nivel de producción y precio, en cambio para los importadores la calidad del café está vinculada al tamaño del grano, ausencia de defectos, cantidad disponible, características físicas, para los tostadores la calidad depende en gran medida del contenido de humedad, la estabilidad de las características, origen, compuestos bioquímicos y calidad organoléptica, a nivel del consumidor el café se valora por el aroma, sabor, efectos sobre la salud, procedencia geográfica y calidad organoléptica (Caballero, 2019).

Tabla 2. Relaciones entre los componentes del grano y las características sensoriales de la bebida de café

Compuesto químico	**Efecto en las características sensoriales de la bebida del café**
Polisacáridos	Retienen los aromas, contribuyen al cuerpo de la bebida y a la espuma del espresso
Sacarosa	Amargo, sabor, color, acidez, aroma
Azucares reductores	Color, sabor, aroma
Lípidos	Contribuyen al transporte de los aromas y sabores y en el espresso dan sabor y cuerpo
Proteínas	Contribuyen al amargo y sabor en el espresso, a la formación de la espuma, según el grado de tostión
Cafeína	Amargor
Trigonelina	Contribuye al amargo, los productos de su degradación
Ácidos clorogénicos	Dan cuerpo, sabor amargo y astringencia a la bebida
Ácidos alifáticos	Acidez, cuerpo, aroma

Fuente: (Puerta, 2011).

3.7 Calidad de taza del café

El perfil de taza es una herramienta de gran importancia en la caracterización de diferentes tipos de café, la alta calidad de café se describe por una sensación agradable, una combinación equilibrada de sabor, cuerpo y acidez en ausencia de defectos, siendo el sabor el parámetro más importante para el consumidor, dicha calidad depende de la preparación y de los procesos realizados previamente, principalmente de la fermentación, debido a que este proceso interviene microorganismos que generan metabolitos, los cuales se difunden en los granos de café y estos influyen en la calidad final de la bebida (Landino *et al*, 2016).

3.7.1 Métodos de estimación de calidad del café

Son técnicas utilizadas para evaluar sus atributos sensoriales, físico-químicos y funcionales, estas técnicas incluyen análisis sensoriales mediante catación, evaluación de compuestos volátiles con nariz electrónica, determinación de parámetros fisicoquímicos (acidez, humedad, actividad de agua) y análisis cromatográficos para caracterizar su composición química, por ende, estos métodos permiten establecer estándares de calidad, optimizar procesos y garantizar la consistencia del producto final (Pazmiño & Ruiz, 2023).

3.7.1.1 Catadores.

Son personas que, mediante los sentidos de la vista, el olfato y el gusto, sienten, perciben, identifican, analizan, describen, comparan y valoran la calidad del café. A estas personas también se les conoce como panelistas, degustadores y jueces analíticos (Cenicafé, 2009).

3.7.1.2 Catación.

Es el método usado para darle valor a la calidad de taza, donde se reconoce el aroma, el sabor y la sanidad del café, también llamado como evaluación sensorial de la calidad del café y prueba de taza. Por lo cual, esta técnica identifica los defectos presentes en el café, mide la

intensidad de una característica sensorial como la acidez, el dulzor, así mismo califica el sabor, el aroma y calidad general del producto (Castro, 2017).

Tabla 3. Rangos que determinan la calidad del café (SCAA)

Puntaje Total	**Descripción**	**Clasificación**
90-100	Excepcional	Especialidad excepcional
85-89,99	Excelente	Origen especial
80-84,99	Muy bueno	Especial
<80	Debajo de la calidad especial	Debajo de especial (estándar)

Fuente: (Castro, 2017).



Figura 2. Ruedas de sabores y aromas del café

Fuente: (SCA, 2025).

3.8 Enzimas

Las enzimas son biomoléculas de naturaleza proteica que acelera la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio, además, constituyen el tipo de proteínas más numerosos y especializado y se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, siendo aprovechadas a lo largo de la historia, principalmente en las industrias farmacéuticas y alimenticias, por sus ventajas sobre los tratamientos químicos, ya que son catalizadores altamente específicos y trabajan en condiciones de reacción moderadas (Escalona, 2022).

3.8.1 Enzimas pectolíticas

Estas enzimas se encuentran de manera natural en frutas y vegetales, pero también son producidas por microorganismos, también conocidas como pectinasas, siendo productos biotecnológicos que están a disposición en forma comercial desde 1950 y corresponden a enzimas producidas en grandes cantidades a bajo costo a partir de fermentaciones microbianas (Anali, 2021). Las pectinasas se utilizan en la industria de vegetales, vinos, frutas y en la producción de jugos para la clarificación, disminución de la viscosidad y aumento en los rendimientos de procesos (Otárola, 2018).

3.8.1.1 Poligalacturonasa

Es una enzima hidrolasa, endo o exoglucanasa, que inicia el corte hidrolítico por el extremo no reductor del polímero de la pectina, su sustrato, especialmente la de bajo metoxilo. Se encuentra en algunas bacterias y hongos, fundamentalmente fitopatógeno, y es de mucha aplicación en la industria del zumo (Maidana et al., 2019). La poligalacturonasa presenta una actividad pectolítica máxima a pH de 4.5 y temperatura de 50 °C (Aponte et al., 2003).
La actividad de la endo poligalacturonasa y la exopoligalacturonasa es que catalizan la hidrolisis de los enlaces entre ácidos galacturónicos no metilados, esta actividad es gracias a la acción previa de la pectina-metilesterasa que libera el metanol unido por enlace éster a las funciones carboxílicas de los ácidos de las pectinas naturales de la uva y otros frutos de esta naturaleza (Otárola, 2018).

El mercado de la poligalacturonasa ha sido impulsado por varios factores, incluyendo que debido a que esta enzima descompone la pectina, el sector de alimentos y bebidas, especialmente en el jugo de las frutas y la producción de vino, lo que incrementa su demanda, también, la tendencia hacia procesos alimentarios más naturales y enzimáticos ha llevado a que los consumidores a preferir ingredientes de etiqueta limpia, la eficiencia de la poligalacturonasa y el rango de aplicaciones se amplía por los desarrollos en la tecnología enzimática, lo que atrae a los productores de alimentos. Según el informe de mercado de la poligalacturonasa el tamaño se valoró en USD 116 mil millones en 2023 y se espera que llegue USD 183.6 mil millones para el 2031, creciendo en un CAGR 5% de 2024 a 2031, de

acuerdo con *Market Research Intellect* que brinda informes de investigación de tendencias en los mercados (MRI, 2025).

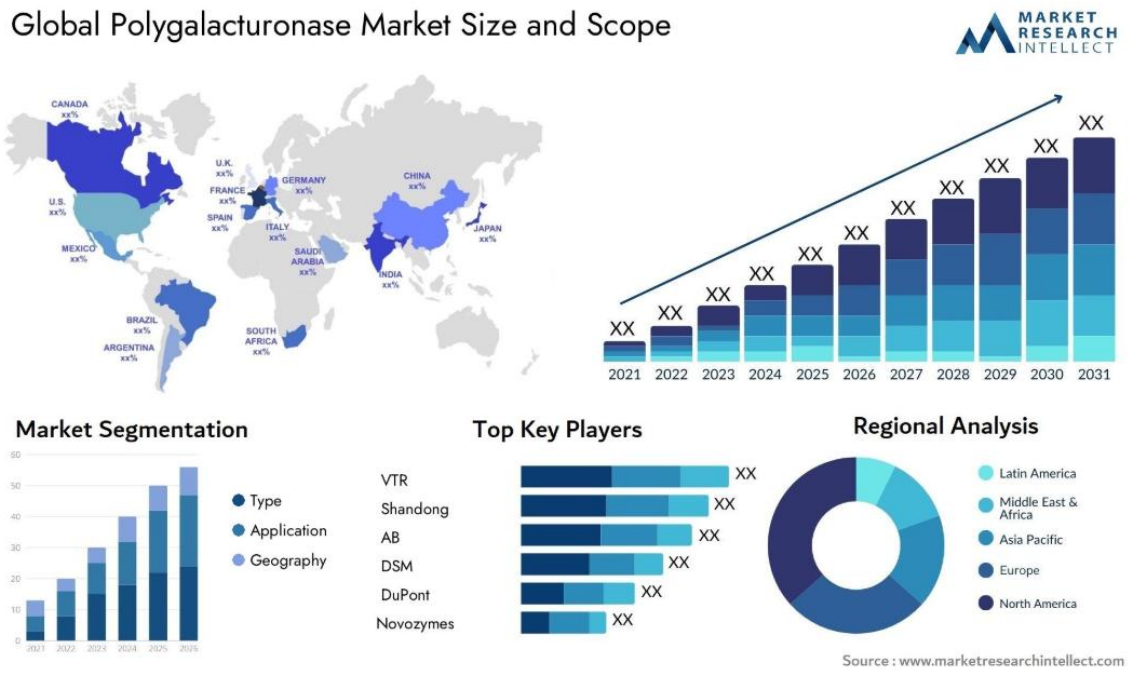


Figura 3.. Tamaño y alcance del mercado global de poligalacturonasa

Fuente: Market Research Intellect (MRI, 2025).

3.9 Nariz electrónica

Los orígenes se remota a los años 60, fue cuando la compañía Bacharac Inc., construyo un dispositivo compuesto de un solo sensor de gas, por ende, se consideró con NE, en los 80 ya se realizó la primera NE para realizar estudios para entender los procesos del olfato biológico, utilizando un conjunto de sensores semiconductores, desde ese momento la nariz electrónica se conoce como el instrumento que comprende una agrupación de sensores químicos con sensibilidades parcialmente solapadas junto a un sistema de reconocimiento de patrones, capas de analizar y reconocer aromas simples o complejos (Barrera, 2016).

Las narices electrónicas han sido diseñadas y construidas para emular el sentido del olfato humano. Son capaces de detectar y clasificar olores complejos, las más comunes basan su funcionamiento en una matriz de sensores, espectrómetro de masas o cromatografía de gases. Existe una matriz de sensores, que consiste de un numero de sensores que son construidos con una variedad de materiales químicos o biológicos sensibles al olor, donde la identificación de un olor depende de gran parte del tipo de sensor cada uno de ellos se caracteriza por su grado de selectividad o por su capacidad para responder a diferentes tipos de gases (Moreno & Serracin, 2016).

En el sistema de la nariz según Duran (2015) y Moreno & Serracin (2016) existe tres módulos de nariz el químico, el eléctrico y el informático (Ver figura 4).

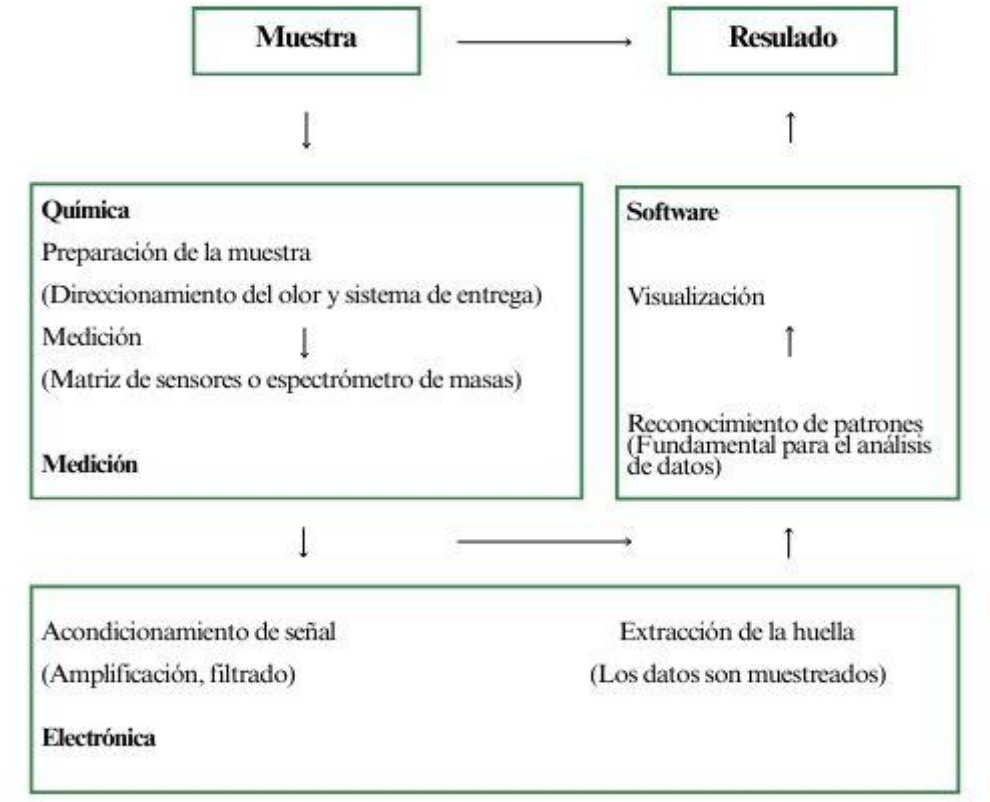


Figura 4. El sistema de olfato electrónico y sus módulos

Fuente: (Moreno & Serracin, 2016).

3.10 Relevancia del café en el comercio

Según Brenes y Soto (2016); la mayor parte de café consumido a nivel mundial es producida en Latinoamérica, con Brasil destacándose tanto por su volumen de exportación como por su creciente consumo interno alcanzando una participación del 14% de consumo mundial, cercano al principal consumidor Estados Unidos (Ventura, 2022). En Centroamérica se produce aproximadamente el 20% del café exportado a nivel global, los cuales son reconocidos en los mercados internacionales por su alta calidad de taza, en Honduras el principal producto agrícola de exportación es el café aportando más del 3% del PIB nacional y cerca de 30% al PIB agrícola. Posicionándose en el primer productor de Centro América, el tercer productor de América y el séptimo exportador a nivel mundial de café (IHCAFE, 2023).



Figura 5. Panorama del sector cafetalero en Honduras

Fuente: Instituto Hondureño del Café (IHCAFE, 2023).

El café es una bebida con propiedades estimulantes y un aroma característico que se consume ampliamente a nivel global. Se obtiene de los granos de la planta *Coffea sp*, donde son sometidos a un proceso de tostado y molienda. Los cafés especiales se distinguen por contar con cualidades sensoriales únicas que le otorgan un valor agregado dentro del mercado (Ventura, 2022).

Estos cafés especiales participan en competencias como la Taza de excelencia. El café de especialidad se define como cualquier café que obtiene una puntuación superior a 80 puntos en una escala de 100 puntos (SCAA, 2024).

Durante casi dos décadas, en Honduras se ha llevado a cabo un programa de Taza de Excelencia, evento que impulsa la competitividad y calidad del café nacional, además, este programa busca fomentar las buenas prácticas de producción y transformación que sean amigables con el medio ambiente. Y lo más importante en el ámbito comercial se busca posicionar el aromático hondureño en los mercados de café gourmet y alta calidad buscando obtener precios diferenciados en el mercado internacional (IHCAFE, 2021).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Lugar de investigación

La investigación se llevó a cabo en tres lugares específicos que permitieron realizar las actividades necesarias para la recolección de información según los objetivos planteados. En primer lugar, la Cooperativa Cafetalera de Olancho Limitada (COCAOL) ubicada en Santa María del Real, Olancho, donde se realizó el proceso de fermentación de las muestras de café con la enzima poligalacturonasa, así mismo, la catación inicial y posterior de las muestras.

En segundo lugar, Universidad de El Salvador (UES) situada en la Ciudad Universitaria "Dr. Fabio Castillo Figueroa", en la Final de la Avenida Mártires y Héroes del 30 de Julio, en San Salvador, este espacio se destinó para la cuantificación de metabolitos mediante HPLC en *Coffea arábica* L. variedad Catuaí en grano verde como tostados.

Finalmente, Universidad Nacional de Agricultura Campus Central, institución pública de educación superior ubicada en Catacamas, Olancho, donde se llevó a cabo el análisis Físico-Químico y la caracterización de los compuestos volátiles mediante la nariz electrónica.



Figura 6. COCAOL, ubicada en Santa María del Real, Olancho.

Fuente: Google mapa (2025).



Figura 7. Universidad de El Salvador, ubicada en San Salvador, El Salvador.

Fuente: Google (2025).

4.2 Materiales y equipos

Para la realización de la investigación, se utilizaron diversos materiales y equipos los cuales se especifican en la tabla 4.

Tabla 4. Materiales y equipo para la investigación

Materiales y equipos	Descripción
Variedades de café	Variedad Catuaí con dos tratamientos, muestras principales del estudio, se evaluaron para determinar sus características organolépticas y composición química.
Cafetera	Equipo principal para preparar el café espresso, permite controlar la temperatura y la presión para obtener resultados consistentes.
Termómetro	Instrumento para medir la temperatura, es esencial para garantizar la consistencia en la preparación del café y para tomar medidas de temperatura en el entorno de estudio. Escala de temperatura de 0 a 100 °C.
Equipo de cromatografía líquida	Se utilizó para cuantificar metabolitos presentes en las muestras de café, proporcionando información detallada sobre su composición química.
Cucharas de cata	Para facilitar la degustación y evaluación sensorial de las muestras, permitiendo la apreciación de sus sabores.
Enzima Poligalacturonasa	Se utilizaron diferentes concentraciones para ver su efecto sobre la calidad de taza del café.
Tazas de catación	Vasos de vidrio/porcelana limpios y estériles para contener las muestras preparadas antes del análisis.
Balanza analítica	Instrumento para medir la masa de las muestras con alta precisión.
Cronómetros	Dispositivos para medir el tiempo con precisión, para controlar el tiempo de preparación y el tiempo de las pruebas durante el estudio.

Materiales y equipos	Descripción
Baldes	Baldes de plástico transparentes con tapadera para realizar la fermentación anaeróbica de los tratamientos de café.
Refractómetro	Aichose-Refractómetro con 0-80% ° Brix
Viscosímetro	NDJ
Peachímetro	Bocco (California, Estados unidos) con escala de 0 a 14 pH.
Agua destilada	Galones, para la fermentación anaeróbica de los tratamientos de café.
Equipo de nariz electrónica	Dispositivo electrónico diseñado para detectar y analizar aromas, se utiliza para complementar las pruebas de cata y analizar las muestras de café.

Fuente: (Cerrato, 2024).

4.3 Método

Se empleó el método descriptivo-cuantitativo (mixto) de orden transversal a escala de laboratorio, además, se utilizó un enfoque explicativo-cuantitativo utilizando un modelo de precios hedónico. Esto permitió obtener datos objetivos y medibles sobre los cambios en el perfil aromático, así como una percepción subjetiva de la calidad de taza.

4.4 Metodología

Para el cumplimento de los objetivos de investigación se emplearon cinco fases experimentales, descritos a continuación:

Fase I. Selección y preparación de la muestra

Se llevaron a cabo evaluaciones utilizando café de la variedad Catuaí, bajo dos procesos distintos: Proceso 1 (Café melado) y Proceso 2 (Café lavado), ambos procesos fueron proporcionados por la finca La Fuente, ubicada en El Playón, Comayagua, y se evaluaron

con y sin la aplicación de la enzima Poligalacturonasa. Para cada proceso, se utilizaron 10 kg de granos de café, con los cuales se realizaron las respectivas pruebas y análisis.

La selección de este café para la investigación se fundamentó en su reconocida alta taza de calidad, llevando un proceso desde la recolección de la mejor uva de café, realizando el mejor proceso de preparación de las muestras y quitando cualquier grano vano, por daños mecánico o insectos y por cualquier otro material externo.

Para el proceso de catación se utilizarán 350 gramos de café oro para cada tratamiento, el tostado se hace en un tostador eléctrico industrial a una temperatura de 160 °C, para la molienda se efectuará en un molino eléctrico industrial en el cual se procesarán 13 gramos de café previamente molido para cada taza (8 tazas en total), a cada taza se le añadirá 220 ml de agua, el tiempo total de todo el proceso es aproximadamente 45 minutos, y se pueden hacer repeticiones siempre que el catador lo vea necesario.

Así mismo, se aplicó un proceso de fermentación anaeróbica aplicando los diferentes tratamientos que de acuerdo a su concentración de enzima duraron entre 6, 12 y 24 horas lo que facilita la fermentación del grano, las fermentaciones controladas a medida que pasa el tiempo dentro de un rango limite favorecen a que los granos de café inmerso adsorban los compuestos resultantes, por lo que se modifican las características, intensidades y frecuencias de los sabores especiales y de los compuestos químicos y volátiles presentes en el café (Puerta, 2015).

Fase II. Cuantificación de Metabolitos

La cromatografía liquida de alta resolución (HPLC) es una de las técnicas más utilizadas para la determinación de metabolitos en los alimentos y bebidas, antes de realizar el análisis cromatográfico para la cuantificación se empleó un proceso adecuado de extracción de Sacarosa, HMF, Cafeína y Trigonelina en las muestras de café, donde se permitió separar el principio activo de la matriz y extraer la mayor cantidad de los compuestos (Fuentes & García, 2018).

Se desarrollaron curvas estándar de calibración para cafeína, HMF, trigonelina y sacarosa, para la generación de estas curvas se prepararon disoluciones de agua filtrada, ácido acético, metanol con sus respectivos estándares puros. Las disoluciones estándar de cafeína, HMF, sacarosa y trigonelina se inyectaron en el HPLC para ser cuantificadas, posteriormente el conjunto de cromatogramas por estándar de solución permitió obtener la curva estándar de calibración con su respectivo modelo de regresión, se realizó prueba spike donde a una taza de café se le agrego el estándar para comprobar si la matriz se comportara de la misma manera y así poder cuantificar (Lopéz, 2008).

La cafeína, sacarosa, HMF y trigonelina son sustancias muy solubles al agua, siendo esta solubilidad dependiente de la temperatura, es por ello, que las infusiones de café para la extracción de los compuestos se emplearon temperaturas que oscilan entre los 80 y 100 °C. Se prepararon muestras de café tostado y verde de la variedad Catuaí en sus dos proceso melado y lavado, en molino de café se seleccionó el método Chemex (N°14) para moler las muestras. Se utilizó una balanza analítica para pesar por duplicado en un beaker 9 g de café molido, el agua utilizada para la preparación de las infusiones se trató en todos los casos de agua destilada y filtrada, agua calidad para el equipo de HPLC, donde se diluyo en 150 ml de agua, se tomó tiempo de 15 min para la extracción de la muestra, luego se filtraron las muestras utilizando jeringas y filtros de jeringa de celulosa regenerada de 0.45 µm en los viales de inyección, se rotularon y se colocaron en el equipo de HPLC (Fuentes & García, 2018).

Fase III. Análisis sensorial y físico-químicos

- Evaluación sensorial

Una evaluación sensorial implica la preparación, degustación de alimentos y bebidas en condiciones controladas, de tal forma que se disminuyan los factores que podrían causar sesgos, entre las variables de prueba se encuentran los atributos aroma, sabor, acidez y cuerpo (Cascos et al., 2024). Las pruebas para el análisis sensorial fueron evaluadas mediante catación profesional siguiendo el protocolo de la *Specialty Coffee Association* (SCA), las pruebas de evaluación fueron realizadas en laboratorios de catación, al igual, las muestras se prepararon en una copa de degustación para su evaluación, a partir de pruebas descriptivas, mediante la metodología propuesta por (Marcia et al., 2020).

Se evaluaron atributos como fragancia/aroma, cuerpo, acidez, sabor y apreciacion final utilizando un formato estandarizado, la catacion fue realizada por un panel de catadores previamente entrenados y los resultados fueron registrados en formatos tecnicos para todos los tratamientos y discutidos, los catadores fueron designados por COCAOL, jueces especializados que realizaron el analisis sensorial con el objetivo de evaluar calidad de taza del café y obtener los resultados donde se realizo una comparacion con el analisis instrumental mediante la nariz electronica.

- Evaluación físico-química

Se realizaron análisis físico-químicos para evaluar los cambios en las propiedades del café en cada uno de los distintos tratamientos, entre estos análisis se incluyeron la medición de pH, grados Brix, conductividad, viscosidad y humedad, parámetros que facilitaron el seguimiento como la incorporación de la enzima influía en el comportamiento del proceso de fermentación.

El pH se determinó con un Peachímetro digital previamente calibrado empleando soluciones buffer de referencia (pH 4.01, pH 7.00 y pH 10.01), cada tratamiento conto con dos replicas y con tres lecturas tomando el promedio. El contenido de grados Brix se evaluó utilizando un refractómetro digital, previamente ajustado con agua destilada y acetona, se tomó una muestra de cada tratamiento y se aplicó directamente sobre el sensor del equipo, este análisis permitió cuantificar los azucares solubles, que tiendes a disminuir durante la fermentación debido al metabolismo microbiano, y que tiene un rol importante en la generación de compuestos volátiles que influyen en el perfil sensorial final del café (Murillo, 2025)

La conductividad fue determinada por un medidor de mesa (Benchtop meter) *Sper Scientific*, previamente calibrado, se utilizó micro siemens (µS) como unidad de medida, este análisis permitió medir la conductividad del fermento, lo que indica la capacidad que tiene el líquido para conducir corriente eléctrica, por lo que está relacionado con la concentración de iones, como los minerales, ácidos orgánicos y compuestos liberados durante la fermentación, lo cual influyen en la calidad del café.

La viscosidad fue determinada mediante un viscosímetro de tipo Brookfield a una temperatura constante de 25 °C, donde se utilizó un rotor apropiado según la consistencia de la muestra siendo el rotor 1 con 60 revoluciones por minuto (RPM), empleando cada lectura por triplicado.

El porcentaje de humedad se determinó mediante un analizador de humedad Adam Equipment PMB 53, cuenta con un sistema de calentamiento halógeno o infrarrojo para secar una muestra y determinar el porcentaje de humedad mediante la pérdida de peso, se pesó 1.00 g de cada tratamiento y se realizaron hasta 5 lecturas tomando el promedio.

Fase IV. Medidas de la nariz electronica

La primera tecnología que se utilizó en este trabajo es la nariz electrónica según Cerrato (2024) y Cascos et al., (2024) está diseñada para reaccionar a moléculas específicas y generar señales eléctricas proporcionales al aroma detectado. Estos sensores al entrar en contacto con los granos de café podrán discriminar el tipo de producción en función de su calidad, las señales eléctricas generadas por los sensores se convertirán en datos digitales que un sistema podrá procesar una parte importante de la tecnología *E-nose* con el uso de algoritmos y técnicas de aprendizaje automático para analizar y procesar los datos obtenidos de los sensores (Cascos et al., 2024).

Las muestras se evaluaron en un laboratorio utilizando un prototipo de equipo de nariz electrónica. Estos algoritmos son fundamentales para la identificación de los diferentes olores y compuestos químicos presentes en las muestras de granos de café. Finalizando, los datos recolectados se compararon con bases de datos previamente establecidas que contienen información sobre los diferentes olores y compuestos químicos para permitir la identificación de los olores y la emisión de resultados (Cascos *et al*., 2023). Estas evaluaciones se realizaron en un ambiente limpio y desinfectado.

Este estudio propuso un desarrollo modelos de predicción para la calidad de taza de la variedad de café utilizada Catuaí, utilizando datos de nariz electrónica, abarcando la recolección de datos de la nariz electrónica y calidad de taza, después de llevar a cabo un detallado procesamiento de datos para asegurar la precisión y confiabilidad, se emplearon técnicas de ingeniería para analizar y transformar los datos, optimizando su capacidad predictiva (Cascos et al., 2024).

Cada modelo fue sometido a una evaluación exhaustiva mediante métricas de desempeño apropiadas, eligiendo aquel que ofrezca los mejores resultados en términos de precisión. Para comprender a fondo el funcionamiento del modelo seleccionado, se llevará a cabo un análisis detallado de la relación entre las variables de la nariz electrónica y las predicciones de calidad en taza. Además, se identificarán los atributos más determinantes y se examinará su impacto en la exactitud del modelo (Acevedo, 2013).

Fase V. Análisis de impacto económico mediante modelo de precios hedónicos

Se llevó a cabo un estudio de precios en la Subasta de Taza de Excelencia de Honduras 2024, donde se determinó el precio hedónico, la palabra hedónico se deriva del griego hedonikos que significa relativo al placer, esto quiere decir, que bajo este modelo el precio es atribuido según el grado de placer que este provoca al consumidor. Así mismo, se evaluó el impacto económico potencial del uso de la enzima poligalacturonasa en la variedad de café Catuaí, en función de los cambios en la calidad de taza y su efecto sobre el precio en mercados especializados (Ventura, 2022).

Modelo de precios hedónicos

El precio del café en mercados especializados es determinado por atributos tanto físicos como sensoriales, por ende, el modelo hedónico permite identificar como influye cada atributo en la formación del precio.

La expresión empírica del modelo que se utilizó es:
ln (precio)= f (cantidad vendida, puntuación de cata, variedad de café, método de beneficiado)
Donde:
ln (precio): Logaritmo natural del precio pagado por cada libra de café.
Cantidad vendida: representa la cantidad vendida en la subasta de la Taza de Excelencia.
Puntuación de cata: obtenida en pruebas sensoriales según protocolo SCAA.
Método de beneficiado: diferentes procesos mostrados por los participantes.
Variedad: utilizadas en la Subasta de Taza de Excelencia.

4.5 Diseño experimental

En la tabla 5 se evaluaron distintos tratamientos en la fermentación, a través de un diseño experimental multifactorial 4x2x2, cuatro tratamientos por dos procesos por dos repeticiones dando un total de 16 unidades experimentales.

Tabla 5. Diseño Factorial

Proceso	Tratamiento	Concentración de poligalacturonasa	Cantidad de enzima en gramos	Repetición 1	Repetición 2
Melado (honey)	T1	0.50%	9 g	T1 R1	T1 R2
	T2	1.00%	15 g	T2 R1	T2 R2
	T3	2.00%	25 g	T3 R1	T3 R2
	T4 (control)	0%	0 g	T4 R1	T4 R2
Lavado	T1	0.50%	9 g	T1 R1	T1 R2
	T2	1.00%	15 g	T2 R1	T2 R2
	T3	2.00%	25 g	T3 R1	T3 R2
	T4 (control)	0%	0 g	T4 R1	T4 R2

Nota: Metodología adaptada de Murillo (2025) con ligeras modificaciones.

Tabla 6. Diseño experimental

Variedad	Especie	Tipo de enzima			Tipo de fermentación
Coffea arábica L.	Catuaí	Poligalacturonasa en g por tratamiento			Anaeróbica
		9	15	25	
		Tiempo en hr por tratamiento			
		6	12	24	

Fuente: Propia.

4.6 Variables de respuesta

En este estudio se enfocó en dos variables de respuesta clave: el perfil aromático y la calidad fitoquímica. Esto permitió no solo comprender la calidad sensorial del café hondureño, sino también evaluar su valor nutricional y funcional.

El perfil aromático, según la norma de la *Specialty Coffee Association* (SCAA), describe las características sensoriales de un café, donde se evalúa la fragancia, aroma, gusto, regusto, equilibrio (sal/acidez), equilibrio (amargo/dulce), sensación en la boca, uniformidad de la taza, equilibrio o balance de la taza, limpieza, puntaje del catador y por último la calificación total de la evaluación sensorial, siendo la suma de los 10 atributos sensoriales, por tanto, se tiene una valoración de la muestra sobre 100 puntos, si en la taza hay sabores extraños, contaminación o gustos negativos, a la suma total se restan dos puntos por cada taza con defectos secundarios y cuatro puntos por cada taza con defectos capitales (Guambi *et al*., 2018).

La calidad fitoquímica del café se refiere a la presencia de compuestos bioactivos que aportan beneficios funcionales y sensoriales a la bebida, entre los que destacan los ácidos clorogénicos, la cafeína y los di terpenos, los cuales pertenecen a las clases de compuestos

fenólicos, alcaloides y terpenoides, respectivamente, y han sido estudiados por su potencial antioxidante, antiinflamatorio y protector contra enfermedades crónicas, además de que su concentración varía según la especie de café, el origen geográfico y las condiciones de cultivo, lo que convierte al café en una fuente importante de antioxidantes dietéticos, particularmente por los ácidos clorogénicos, mientras que la cafeína también influyen en el sabor y aroma característicos del café, por lo tanto, la calidad fitoquímica contribuye tanto a sus propiedades funcionales como a la experiencia sensorial del consumidor (Munyendo *et al.*, 2021).

4.7 Análisis de resultados

Para optimizar los resultados, se utilizó el software IBM SPSS versión 27, aplicando análisis descriptivos y estadísticos. Además, se emplearán pruebas de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$ y un intervalo de confianza del 95% (Cascos *et al*.,2023). Asimismo, se llevó a cabo un diseño experimental basado en un modelo de superficie de respuesta para determinar la concentración óptima de la enzima. Posteriormente, se analizaron muestras de café tratadas y no tratadas con la enzima, utilizando la nariz electrónica para identificar los compuestos volátiles presentes y comparar estos resultados con los obtenidos a través de la catación tradicional, siguiendo la metodología propuesta por Murillo (2025).

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Análisis sensorial

El análisis sensorial, es una herramienta de suma utilidad, dado que permite encontrar los atributos de valor importantes para los consumidores, la calidad abarca atributos sensoriales, por lo que pueden ser percibidos por los sentidos humanos y atributos ocultos como los relativos a la nutrición y seguridad, los atributos pueden obtener diferentes calidades ya que pueden ir cambiando a medida que el producto va pasando por distintos procesos desde la cosecha hasta el consumidor (Mondino & Ferratto, 2006). Por lo que este análisis se incorporó para obtener los resultados de los diferentes procesos de café y sus atributos.

La Tabla 7 y 8, muestran los resultados de catación inicial por jueces especializados diferentes, para comparar la percepción de los atributos del café.

Tabla 7. Análisis sensorial inicial mediante catación de café con jueces especializados de COCAOL

Procedencia	Fragancia	Cuerpo	Acidez	Sabor	Apreciación Final	Agregue	Nota Final
Proceso Lavado	Chocolate/ Dulce	Cremoso	Cítrico	Frutas Maduras/ Miel	Dulce	50	84
Proceso Melado	Caramelo/ Floral	Suave	Uvas	Vino de uvas/ Mandarina	Seco	50	86

Fuente: Propia.

Tabla 8 Análisis sensorial inicial mediante catación de café con juez especializado de COHORSIL

Procedencia	Fragancia	Cuerpo	Acidez	Sabor	Apreciación Final	Agregue	Nota Final
Proceso Lavado	Caramelo/ Dulce	Jugoso	Cítrico intenso	Dulce/ Chocolate	Mediano	50	84.5
Proceso Melado	Fruta madura/ Té	Cremoso	Cítrico delicado	Frutas/ Ciruela/ Mandarina/ Té negro	Persistente	50	86

Fuente: Propia.

Mediante la catación por jueces especializados se evaluaron atributos como fragancia, cuerpo, acidez, sabor, apreciación final y nota final. Siendo estos los resultados de la catación inicial, donde se utilizó dos grupos de catadores diferentes con el objetivo de comparar las diferencias de la percepción que tiene el ser humano en base a su sistema olfativo, gustativo y visual. La nota final de ambos grupos es similar siendo el único cambio con 0.5 más en el proceso lavado realizado por COHORSIL, aunque la nota final se mantuvo hubo diferencias en las percepciones de acuerdo a cada atributo, cambios de fragancia de chocolate a caramelo en el proceso lavado y otros sabores como él té negro en el proceso melado.

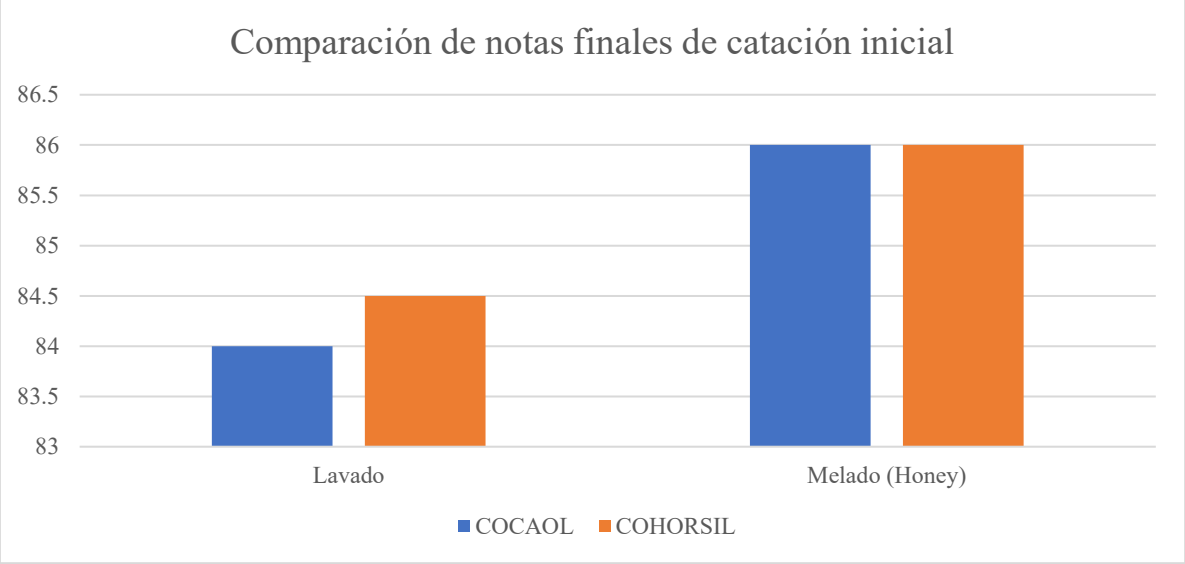


Figura 8. Puntaje inicial de catación.

Se muestra la comparación de las notas finales de catación inicial entre las cooperativas COCAOL Y CHORSIL, para los dos métodos de beneficiado Lavado y Melado, los resultados demuestran una tendencia consistente obteniendo porcentajes más altos en el proceso Melado, alcanzando 86%, en el proceso Lavado, COHORSIL presenta un puntaje ligeramente un porcentaje superior al de COCAOL (84.5 frente a 84) lo que sugiere una mejor expresión de atributos en este proceso.

Tabla 9 Catación posterior con la enzima poligalacturonasa con jueces especializados de COCAOL

Procedencia	Tratamiento	Fragancia Aroma	Cuerpo	Acidez	Sabor	A. Final	Nota Final
Muestra Testigo Lavado (Control)		Caramelo, Dulce (6.5)	6	7	Chocolate, Cítrico (6.5)	6	82
Proceso Lavado	T1R1	Dulce, Chocolate (7)	6.5	7	Frutas maduras, Cítrico (7)	6	83.5
	T2R1	Panela (6.5)	6.25	7	Caramelo, Dulce, Áspero (7)	6	82.75
	T3R1	Chocolate (6)	6.5	7	Cítrico, Dulce, Seco	6	82.5
Muestra Testigo Melado (Control)		Frutas, Miel (6)	6.5	7	Caramelo, Cítrico (7)	6.5	83
Proceso Melado	T1R1	Floral, Dulce (7)	7	7	Frutas, Cítrico, Madera (7)	6	84
	T2R1	Chocolate (6.5)	7	7	Caramelo, Dulce, Cartón (7)	6	83.5
	T3R1	Chocolate, Dulce (7)	6.25	7	Frutas, Cítrico, Madera (7)	6	83.25

Nota: De acuerdo con los perfiles obtenidos los panelistas han informado que para la Repetición 2 se han obtenido los mismos resultados. Los resultados para las muestras

testigos han cambiado por envejecimiento del café, a pesar de ello el proceso de fermentación con la enzima se observa un incremento en la nota final.

Mediante la catación posterior con la enzima poligalacturosa con los jueces especializados también se evaluaron atributos como fragancia, cuerpo, acidez, sabor, apreciación final y nota final. Los tratamientos aplicados generaron ligeras mejoras respecto a las muestras testigos a pesar que en ellas hubo un cambio por envejecimiento del café, en el proceso lavado, el tratamiento T1R1 obtuvo la nota final más alta (83.5) superando a la testigo (82) principalmente por fragancia/aroma más expresivo y un sabor mejor valorado, los demás tratamientos T2R1 y T3R1 también hubo una mejora con diferencias menores a la testigo. En el proceso melado también se obtuvieron notas superiores a la testigo (83), siendo el T1R1 (84) puntos impulsados por las fragancias florales y dulces, los tratamientos T2R1 (83.5) y T3R1 (83.25) mantuvieron valores similares. El tratamiento preferible y aceptable para cada proceso es el T1 que equivale a 9 g de la enzima con un tiempo de fermentación de 6 horas.

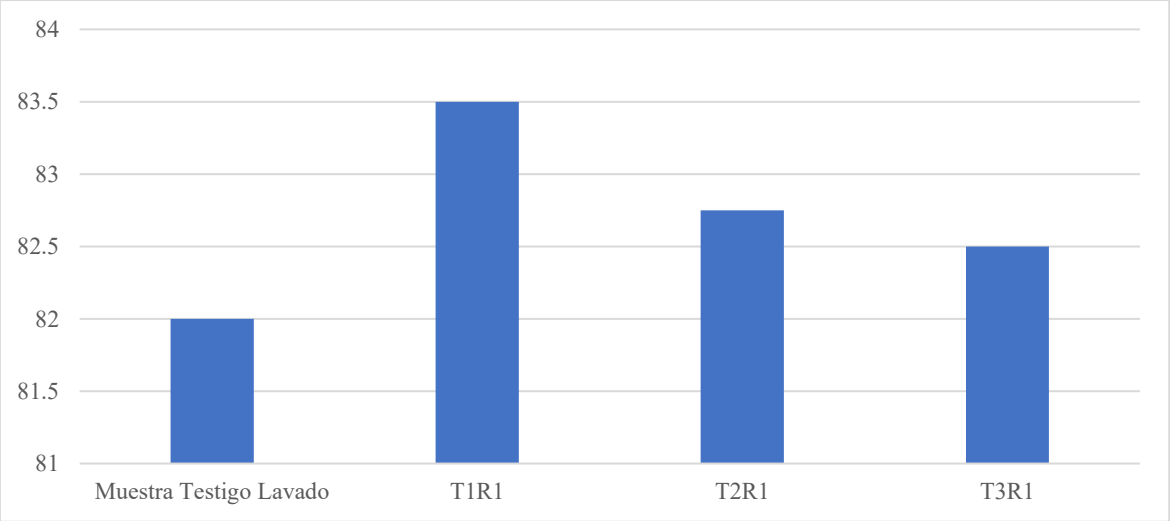


Figura 9. Puntajes de café por tratamiento en proceso lavado.

En el proceso de lavado, los tres tratamientos registran puntajes superiores a la muestra testigo (82), el tratamiento con el mejor desempeño destaca el T1R1 con 83.5 puntos, lo que indico que este tratamiento pudo haber recibido un tratamiento especial que favorecieron al desarrollo de los mejores atributos en el análisis sensorial.

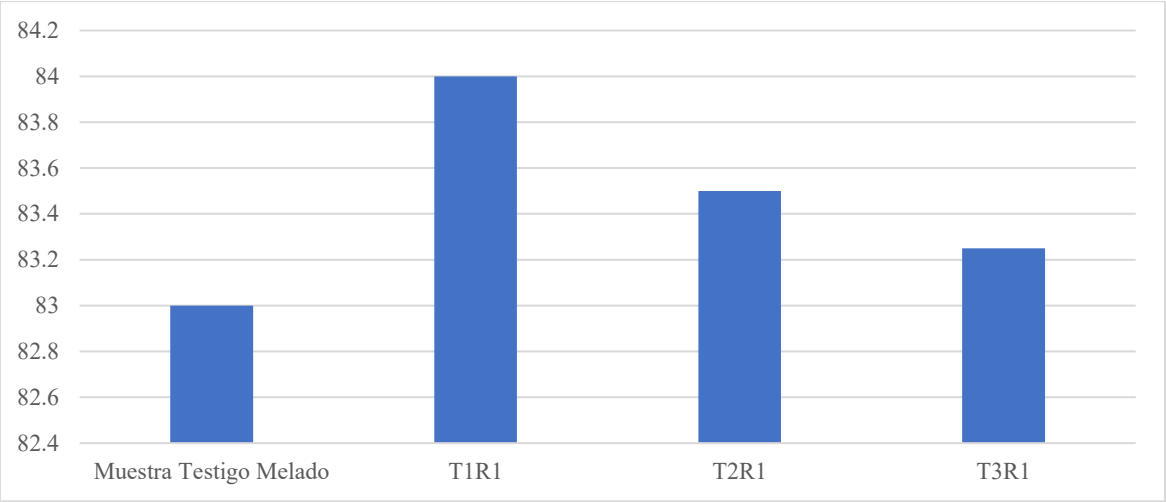


Figura 10. Puntajes de café por tratamiento en proceso melado.

En el proceso melado, los tratamientos también muestran mejoras respecto a la muestra testigo (83), siendo nuevamente el tratamiento T1R1 el de mayor puntuación con 84 puntos, siendo este el que obtuvo una mejor respuesta en comparación a los demás tratamientos aplicados.

La mejora en la calidad de taza del café (*Coffea arábica* L) puede aumentar con la incorporación de materiales como zumo y cascara de naranja durante la fermentación, lo que conlleva que la utilización de las enzimas pectolíticas pueden evidenciar ciertas modificaciones, la calidad en taza puede incrementar hasta 2 puntos respecto a la muestra testigo. (Pintado & Vega, 2019)

El uso de las enzimas pectolíticas pueden llegar a mejorar la calidad de taza del café con un incremento de 5 puntos, evidenciando ciertas modificaciones en el proceso de beneficio pueden mejorar significativamente los atributos sensoriales del café (Murillo, 2025). Se puede asimilar que los tratamientos de acuerdo a la primer catación se podría obtener un puntaje para el proceso melado de 88-91 puntos y para el proceso lavado un puntaje de 86.89 puntos.

5.2 Cuantificación de metabolitos

5.2.1 Resultados del contenido de SACAROSA en café verde

En esta sección se presenta la tabla correspondiente al contenido de sacarosa (g/100 g) en muestras de café verde procesadas bajo los métodos lavado y melado. Asimismo, se incluye una discusión ampliada sustentada en bibliografía científica actual relacionada con la composición química del café.

Tabla 10. Contenido de sacarosa en café verde según proceso y tratamiento

Proceso	**Muestra**	**Código**	**Sacarosa (g/100 g)**	**Clasificación**
Lavado	Control lavado verde	CLVER	10.12 ± 3.20	Alta
Lavado	Tratamiento 1 lavado verde	T1LVER	9.00 ± 3.10	Media-alta
Lavado	Tratamiento 2 lavado verde	T2LVER	10.04 ± 3.20	Alta
Lavado	Tratamiento 3 lavado verde	T3LVER	10.50 ± 3.23	Alta
Melado	Control melado verde	CMVER	11.74 ± 3.37	Muy alta
Melado	Tratamiento 1 melado verde	T1MVER	8.60 ± 2.91	Media
Melado	Tratamiento 2 melado verde	T2MVER	5.36 ± 2.31	Baja
Melado	Tratamiento 3 melado verde	T3MVER	14.12 ± 3.71	Extremadamente alta

*Media ± desviación.

Los valores obtenidos para el contenido de sacarosa en café verde muestran una tendencia consistente con lo reportado para *Coffea arábica* en la literatura científica. De acuerdo con diversos estudios, la sacarosa es el carbohidrato soluble predominante en el grano verde, representando entre 6.25% y 9.0% en base seca (Avallone et al., 2000; Farah et al., 2006). Otros autores han señalado rangos que pueden extenderse hasta 10.7%, dependiendo del cultivar, altitud y condiciones de procesamiento (Clifford & Willson, 1985).

Al comparar estos rangos con los valores experimentales presentados en la Tabla 1, se observa que las muestras lavadas (CLVER, T1LVER, T2LVER y T3LVER) muestran contenidos ligeramente superiores al rango típico, lo que sugiere un alto potencial como precursor aromático. El café melado, particularmente CMVER y T3MVER, presenta los valores más altos del conjunto (11.38–13.80 g/100 g), lo cual podría atribuirse a una mayor retención de azúcares debido al contacto prolongado con el mucílago durante el proceso melado. Este comportamiento ha sido documentado en estudios que comparan procesos húmedos y semisecos, indicando que los métodos con mayor retención de mucílago tienden a conservar más azúcares y compuestos solubles (Bytof et al., 2004).

Los niveles de sacarosa tienen un papel determinante en la formación del aroma del café tostado, ya que este disacárido participa directamente en reacciones de Maillard y caramelización. Investigaciones de Poisson et al. (2019) y Buffo & Cardelli-Freire (2004) indican que la degradación térmica de la sacarosa produce furanonas, cetonas, aldehídos y compuestos caramelizados que contribuyen a notas dulces, acarameladas y de nuez. Por ello, los tratamientos con mayor concentración de sacarosa, como T3MVER y CMVER, podrían presentar un mayor potencial sensorial durante el tostado.

Por otro lado, T2MVER presenta el contenido de sacarosa más bajo (5.33 g/100 g), lo que podría indicar una mayor actividad microbiana o un tiempo de fermentación prolongado que favoreció la utilización de los azúcares como sustrato energético. Este comportamiento ha sido reportado por De Bruyn et al. (2017), quienes demostraron que procesos fermentativos más intensos pueden reducir el contenido de carbohidratos solubles.

En conjunto, los resultados muestran que el proceso postcosecha tiene un impacto significativo en la retención de sacarosa en el grano verde. Los valores altos observados en algunos tratamientos sugieren un mayor potencial para el desarrollo de aromas complejos durante el tueste, lo que deberá ser contrastado con análisis sensoriales y volátiles posteriores.

5.2.2 Resultados del contenido de HMF en café tostado

En este apartado se muestra la tabla 11, que corresponde al contenido de 5-hidroximetilfurfural (HMF) en muestras de café tostados procesados mediante los métodos de lavado y tostado, donde se presenta una discusión sustentada en literatura científica.

Tabla 11. Contenido de HMF en café tostado según proceso y tratamiento.

Proceso	**Muestra**	**Código**	**HMF (g/100 g)**
Lavado	Control lavado tostado	CLTOS	531.65 ± 1.8549
Lavado	Tratamiento 1 lavado tostado	T1LTOS	460.85±10.2373
Lavado	Tratamiento 2 lavado tostado	T2LTOS	359.43 ± 20.0696
Lavado	Tratamiento 3 lavado tostado	T3LTOS	463.04 ± 26.9093
Melado	Control melado tostado	CMTOS	551.90 ± 2.6665
Melado	Tratamiento 1 melado tostado	T1MTOS	614.29 ± 15.8464
Melado	Tratamiento 2 melado tostado	T2MTOS	609.17 ± 4.6740
Melado	Tratamiento 3 melado tostado	T3MTOS	601.25 ± 1.5710

Fuente: Propia.

Los valores obtenidos de HMF en las muestras analizadas se encuentran dentro de los rangos reportados para café tostado en investigaciones previas. Diversos autores indican que el contenido de HMF en café tostado puede variar ampliamente, desde valores cercanos a 50 hasta concentraciones superiores a 1000 (g/100g), esto depende del perfil del tostado del café, la composición química del grano verde y el método de procesamiento postcosecha (Murkovic & Pichler, 2006).

Al comparar los resultados con los procesos, se evidencia que las muestras con el proceso melado presentan, en general, mayores concentraciones de HMF que las correspondientes a las del proceso lavado. El control melado tostado (CMTOS) mostró un valor promedio de 551,90 g/100g, superior al control lavado tostado (CLTOS), que dio como resultado promedio de 531.65 g/100g, por lo que esta tendencia concuerda con lo reportado por Knopp et al., (2005) y Cwikova et al., (2022), quienes señalan que los procesos semi secos o con retencion de mucilago favorecen la conservacion de azucares y precursores de reacciones termicas, los cuales durante el tostado participan activamente en la reacción de Maillard y en procesos de caramelización , promoviendo la formacion de HMF.

En el proceso lavado las muestras de los diferentes tratamientos evidenciaron una reducción de contenido de HMF respecto al control, siendo el T2LTOS quien presento el valor más bajo (359.43 g/100g), por lo que este comportamiento siguiere que los tratamientos pudieron influir en la disminución de azucares reductores y otros precursores térmicos del grano verde, esto quiere decir que en una menor generación de compuestos furánicos durante el tostado. Resultados similares que han sido reportados por De Bruyn *et al.,* (2016), quienes demostraron que modificaciones en la fermentación y el lavado del café pueden alterar significativamente la disponibilidad de sustratos para la formación de productos de Maillard.

En cambio, para las muestras del proceso lavados los distintos tratamientos no condujeron a una reducción del HMF, sino que mostraron valores iguales o superiores al del control, evidenciando a los T1MTOS, T2MTOS Y T3MTOS con concentraciones superiores a 600 (g/100g), esto puede atribuirse a que la mayor presencia de azucares residuales provenientes del mucilago, los cuales, al someterlos a altas temperaturas durante el tostado favorecen a la formación de HMF. Este fenómeno ha sido ampliamente documentado en estudios que

analizan cafés naturales, melados y torrefactos, donde la disponibilidad de azucares se asocia con un incremento de compuestos furánicos (Poisson *et al.,* 2017; Murkovic & Pichler, 2006).

Desde el punto de vista tecnológico y sensorial, el HMF es un compuesto de interés debido a su contribución a notas dulces, acarameladas y tostadas cuando se encuentra en concentraciones moderadas; sin embargo, niveles elevados pueden estar asociados con sabores indeseables y con indicadores de sobre procesamiento térmico (Seninde & Chambers, 2020). En este sentido, los valores más bajos observados en algunos tratamientos del proceso lavado podrían representar una ventaja en términos de control del perfil químico del café tostado.

5.2.3 Resultados del contenido de cafeína en café tostado y verde

En esta sección también se presentan los valores promedios del contenido de cafeína en muestras de café verde y tostado obtenidas mediante beneficiado lavado y melado, asimismo una discusión comparativa basada en literatura científica que describe el comportamiento de este alcaloide frente a los procesos postcosecha y al tostado.

Tabla 12. Contenido de cafeína en café tostado y verde según proceso y tratamiento.

Proceso	**Muestra**	**Código**	**Cafeína (g/100 g)**
Lavado	Control lavado tostado	CLTOS	1201.96 ± 0.4272
Lavado	Tratamiento 1 lavado tostado	T1LTOS	1185.31 ± 3.8092
Lavado	Tratamiento 2 lavado tostado	T2LTOS	1124.58 ± 2.3217
Lavado	Tratamiento 3 lavado tostado	T3LTOS	1206.17 ± 0.8467

Proceso	Muestra	Código	Cafeína (g/100 g)
Melado	Control melado tostado	CMTOS	1423.91 ± 1.2777
Melado	Tratamiento 1 melado tostado	T1MTOS	1207.02 ± 4.5369
Melado	Tratamiento 2 melado tostado	T2MTOS	1167.27 ± 5.2360
Melado	Tratamiento 3 melado tostado	T3MTOS	1189.50 ± 5.5759
Lavado	Control lavado verde	CLVER	1107.23 ± 5.5004
Lavado	Tratamiento 1 lavado verde	T1LVER	1082.90 ± 4.9890
Lavado	Tratamiento 2 lavado verde	T2LVER	1091.14 ± 0.7743
Lavado	Tratamiento 3 lavado verde	T3LVER	1110.46 ± 0.9419
Melado	Control melado verde	CMVER	1185.02 ± 3.0096
Melado	Tratamiento 1 melado verde	T1MVER	1047.91 ± 3.8131
Melado	Tratamiento 2 melado verde	T2MVER	1078.20 ± 4.1015
Melado	Tratamiento 3 melado verde	T3MVER	1113.73 ± 4.3380

Fuente: Propia.

Los valores obtenidos de cafeína tanto para café verde y tostado se encuentran dentro de los rangos reportados para *Coffea arábica*, los cuales generalmente oscilan entre 0.8 a 1.5% en base seca, lo cual depende del origen, cultivar y condiciones de procesamiento (Charrier et al., 1985). La cafeina es un alcaloide relativamente estable, por lo que su comcentracion suele verse menos afectada por el tostado en comparacion con otros metabolitos como los azucares y los compuestos volatiles (Farah, 2012).

Al comparar los resultados entre café verde y tostado, se observa una ligera tendencia a valores mayores en las muestras tostadas, lo cual ha sido previamente atribuido principalmente a la pérdida de masa durante el tostado y no a una síntesis o degradación significativa de la cafeína (Farah, 2012). Estudios previos han demostrado que la cafeína no se degrada de forma apreciable a las temperaturas habituales del tostado, manteniéndose relativamente constante en términos absolutos (Belitz et al., 2009).

Al comparar los procesos postcosecha, el proceso melado presentó los valores más elevados de cafeína, destacando el control melado tostado (CMTOS) con 1423.91, mientras que el control lavado tostado (CLTOS) registró 1201.96. Esta tendencia se mantiene en café verde, donde CMVER mostró mayor contenido que CLVER, lo cual coincide con reportes que indican una mayor concentración relativa de alcaloides en procesos con menor remoción de mucílago (Knopp *et al.,* 2005). El tratamiento T2LTOS presentó la mayor reducción de cafeína dentro del proceso lavado tostado, mientras que en el proceso melado tostado los tratamientos T1MTOS y T2MTOS mostraron valores inferiores al control, evidenciando que los tratamientos pueden generar variaciones moderadas, aunque sin un patrón sistemático claro. Resultados similares han sido reportados por De Bruyn *et al.,* (2016). quienes señalan que la cafeína es menos sensible a los tratamientos fermentativos que otros metabolitos.

5.2.4 Resultados del contenido de trigonelina en café tostado y verde

En este apartado se presenta la tabla correspondiente al contenido promedio de trigonelina en muestras de café verdes tostados procesados mediante los métodos de lavado y tostado, donde se presenta una discusión sustentada en literatura científica.

Tabla 13. Contenido de trigonelina en café tostado y verde según proceso y tratamiento

Proceso	Muestra	Código	Trigonelina (g/100 g)
Lavado	Control lavado tostado	CLTOS	1145.39858 ± 1.1979
Lavado	Tratamiento 1 lavado tostado	T1LTOS	1098.66 ± 4.0980
Lavado	Tratamiento 2 lavado tostado	T2LTOS	971.94 ± 1.4843
Lavado	Tratamiento 3 lavado tostado	T3LTOS	1187.79 ± 4.8393
Melado	Control melado tostado	CMTOS	1019.07 ± 4.1537
Melado	Tratamiento 1 melado tostado	T1MTOS	1072.26 ± 2.1264
Melado	Tratamiento 2 melado tostado	T2MTOS	1150.52 ± 2.8056
Melado	Tratamiento 3 melado tostado	T3MTOS	1046.16 ± 2.1343
Lavado	Control lavado verde	CLVER	1264.52 ± 1.3898
Lavado	Tratamiento 1 lavado verde	T1LVER	1199.40 ± 4.0888
Lavado	Tratamiento 2 lavado verde	T2LVER	1213.67 ± 8.0356
Lavado	Tratamiento 3 lavado verde	T3LVER	1283.28 ± 0.7549
Melado	Control melado verde	CMVER	1242.73 ± 3.4992
Melado	Tratamiento 1 melado verde	T1MVER	1094.83 ± 4.8837
Melado	Tratamiento 2 melado verde	T2MVER	1157.10 ± 6.0150
Melado	Tratamiento 3 melado verde	T3MVER	1159.13 ± 2.6109

Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos muestran que el contenido de trigonelina es mayor en las muestras de café verde en comparación con las tostadas, independientemente del proceso de beneficio. Por ejemplo, el control lavado verde (CLVER) presentó 1264.52 g/100 g, superando ampliamente a los cafés tostados lavados, donde el valor más bajo se registró en el tratamiento T2LTOS con 971.94 g/100 g. Esta tendencia coincide con lo reportado en la literatura, donde se indica que la trigonelina se encuentra en mayor concentración en el grano verde y disminuye durante el tostado debido a su inestabilidad térmica, transformándose en compuestos como ácido nicotínico y N-metilpiridinio, los cuales contribuyen al aroma y sabor característicos del café (Bastian et al., 2021; Taguchi et al., 1985).

El tostado reduce la trigonelina de manera general, algunos tratamientos presentan niveles relativamente altos incluso después del tostado, como T3LTOS (1187,79 g/100 g) y T2MTOS (1150,52 g/100 g). Esto sugiere que las condiciones específicas del tratamiento y del perfil de tostado influyen significativamente en la retención de trigonelina, tal como se ha documentado en investigaciones, donde se demuestra que la pérdida de este compuesto no es lineal y depende de la temperatura, tiempo y grado de tueste aplicado (Mazzafera, 1991).

5.3 Análisis con la Nariz Electrónica (*E-nose*)

El análisis por nariz electrónica (E-nose) se incorporó en este estudio con el propósito de caracterizar el perfil volátil del café sometido a distintos tratamientos de beneficio. Esta herramienta analítica permite identificar patrones de compuestos orgánicos volátiles (COV) mediante sensores electrónicos que responden diferencialmente a familias químicas características del aroma de los alimentos (i.e. el café) (Sánchez *et al.,* 2022); (Sanaeifar *et al.,* 2014).

La Figura 11 evidencia que los alcoholes constituyen la mayor proporción del perfil volátil, seguidos por compuestos aromáticos y ésteres. Este comportamiento es típico en cafés con actividad metabólica activa durante el beneficio, ya que los alcoholes están asociados a rutas microbianas fermentativas y los aromáticos se derivan de reacciones enzimáticas y oxidativas. Los furanos y pirazinas, aunque minoritarios, son relevantes para el desarrollo de notas tostadas y caramelizadas, mientras que las cetonas contribuyen a matices verdes, herbales o florales dependiendo de su concentración.

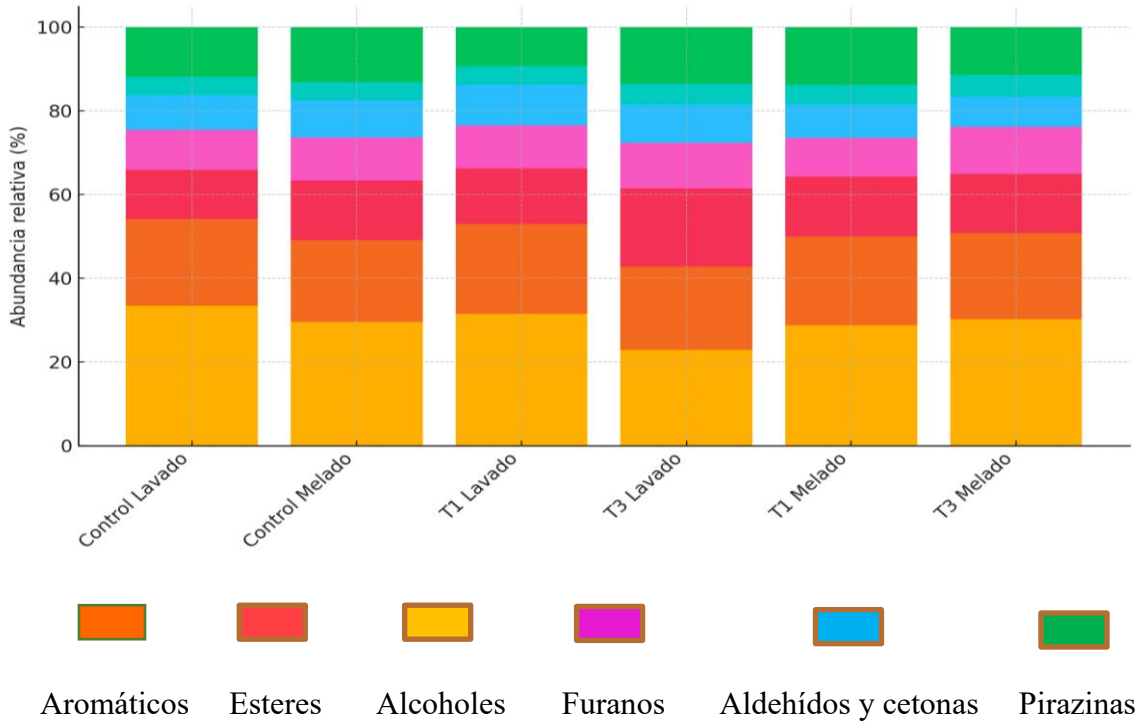


Figura 11. Distribución de familias químicas volátiles detectadas por el modelo *E-nose.*

El Análisis de Componentes Principales (PCA) (Figura 12), permite observar diferencias claras entre tratamientos, lo que indica que los cambios en el beneficio, como el uso de enzimas o variaciones en el proceso melado, generan modificaciones medibles en el perfil volátil. Tratamientos como T1 y T3 tienden a agruparse, lo cual sugiere que comparten características químicas similares asociadas a un incremento en compuestos frutales y dulces. Estudios como los de Saenz et al. (2022) y Barriocanal et al. (2020) confirman que el PCA es útil para discriminar cafés según su origen, proceso o tipo de fermentación.

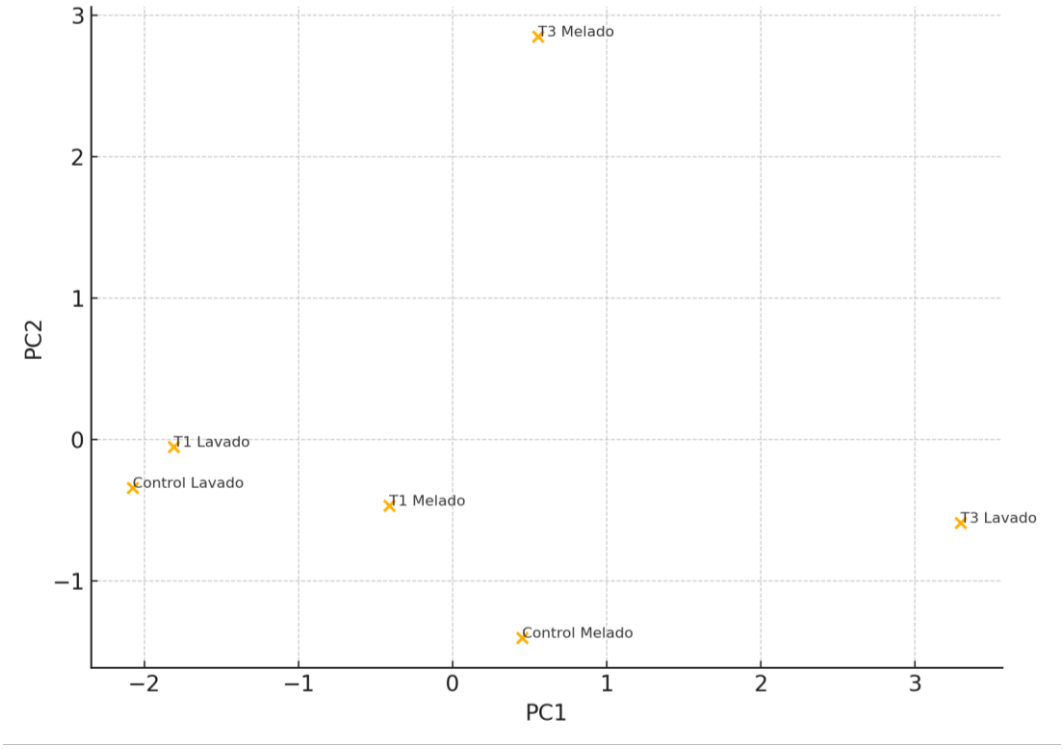


Figura 12. PCA de familias químicas modeladas en café procesado bajo distintos tratamientos.

El gráfico radar (Figura 13); sintetiza el aporte relativo de cada familia química en el perfil aromático general. La predominancia de alcoholes y aromáticos es coherente con lo reportado por Gloess et al. (2013), quienes encontraron que estas familias dominan la fase volátil del café Arábica de alta calidad.

Además, la presencia moderada de ésteres respalda la hipótesis de incremento de compuestos frutales en tratamientos donde intervienen procesos fermentativos. Esto ha sido ampliamente documentado por Ferreira et al. (2019) y De Bruyn et al. (2017), quienes mostraron que la actividad microbiana durante la fermentación del café promueve la biosíntesis de ésteres, alcoholes superiores y compuestos aromáticos.

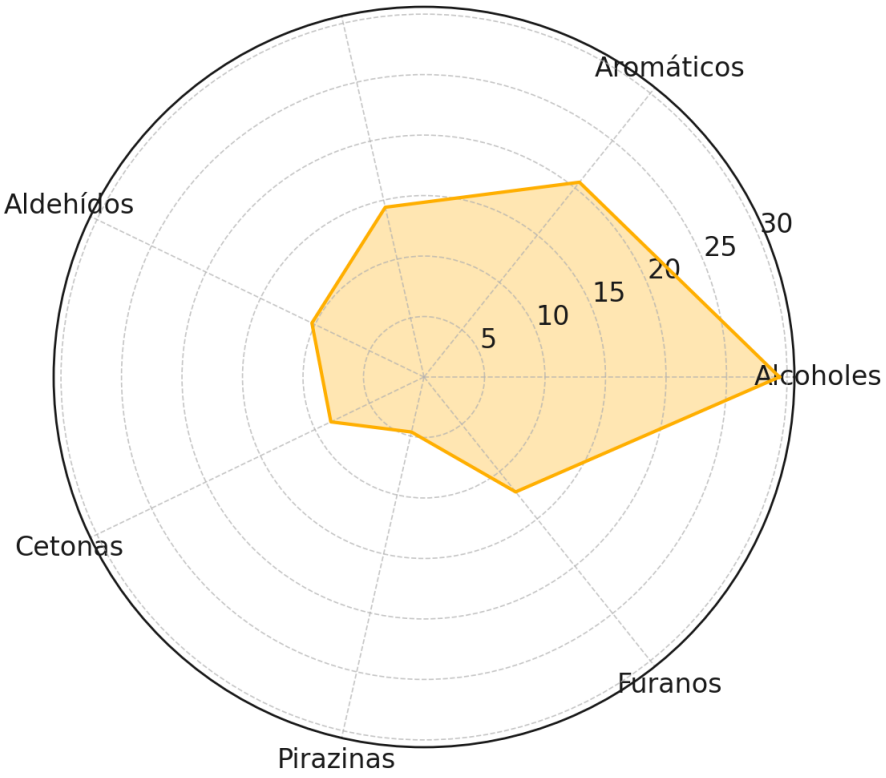


Figura 13. Perfil químico promedio representado en un gráfico radar para el modelo de E-nose.

Los resultados obtenidos mediante el modelo E-nose permiten observar patrones que concuerdan con múltiples estudios internacionales sobre la composición volátil del café. La predominancia de alcoholes y compuestos aromáticos puede asociarse con el desarrollo de notas dulces, florales y frutales, las cuales tienden a incrementarse cuando el proceso de beneficio incluye fermentaciones controladas o tratamientos que favorecen la descomposición del mucílago. Según Caporaso et al. (2018), los alcoholes son los principales responsables de notas delicadas y afrutadas en cafés de especialidad.

Asimismo, los compuestos aromáticos, tales como derivados del benceno, se originan por reacciones enzimáticas y oxidativas que tienen lugar durante el secado y almacenamiento del café. Su relevancia para el perfil sensorial ha sido confirmada por Sunarharum et al. (2014), quienes identificaron esta familia química como uno de los pilares aromáticos del café Arábica. La presencia de ésteres en proporciones apreciables explica el incremento en notas dulces y frutales observado en cafés melados o sometidos a fermentación, coincidiendo con los hallazgos de Martins et al. (2020).

En el caso de aldehídos y cetonas, su comportamiento suele ser más variable. Los aldehídos están relacionados con notas verdes o herbales, y su reducción suele indicar un proceso de fermentación más uniforme. Por su parte, las cetonas contribuyen con matices florales o cremosos, y sus niveles dependen tanto del tipo de proceso como de la actividad microbiana. Barriocanal et al. (2020) demostraron que la fermentación dirigida puede reducir aldehídos indeseables y aumentar cetonas agradables para el consumidor.

Finalmente, aunque los furanos y pirazinas aparecen en menor proporción en muestras sin tostar, su presencia indica rutas químicas asociadas a reacciones de Maillard o a la degradación térmica de carbohidratos. En cafés tostados, estas moléculas son determinantes de notas a nuez, cacao, pan tostado y caramelo. La literatura, incluyendo trabajos de Blank et al. (1992) y Buffo y Cardelli-Freire (2004), señala que ligeras variaciones en estas moléculas pueden modificar significativamente la percepción del consumidor.

En conjunto, los resultados del modelo E-nose muestran una tendencia coherente con estudios previos y permiten anticipar la composición aromática del café bajo diferentes tratamientos. La capacidad del PCA para discriminar grupos de muestras reafirma el potencial del E-nose como herramienta de control de calidad, especialmente en estudios de fermentación, procesos melados o comparación de variedades y lotes.

La figura 14, muestra el análisis de las muestras mediante nariz electrónica, la cual reveló un incremento consistente en la intensidad de compuestos volátiles tras la aplicación de poligalacturonasa, lo que sugiere una mayor liberación de moléculas aromáticas desde la matriz del café. Este comportamiento puede atribuirse a la capacidad de la enzima para modificar estructuras proteicas que encapsulan o limitan la disponibilidad de los VOC (Compuestos Volátiles), facilitando así su volatilización y detección (Cascos et al., 2023a); (Álvarez et al., 2022); (Montero et al., 2022). La tendencia observada en todas las muestras independientemente del proceso de beneficio indica que el efecto de la pepsina es robusto y reproducible, lo que coincide con reportes previos en los que proteasas incrementan la disponibilidad aromática en matrices alimentarias complejas (Cascos et al., 2024); (Cascos et al., 2023b); (Cascos et al., 2023c). En consecuencia, el aumento de VOC registrado podría traducirse en una mayor claridad sensorial, expresividad aromática y mejor percepción en taza, dado que la liberación de compuestos volátiles está estrechamente vinculada con atributos organolépticos clave del café de alta calidad.

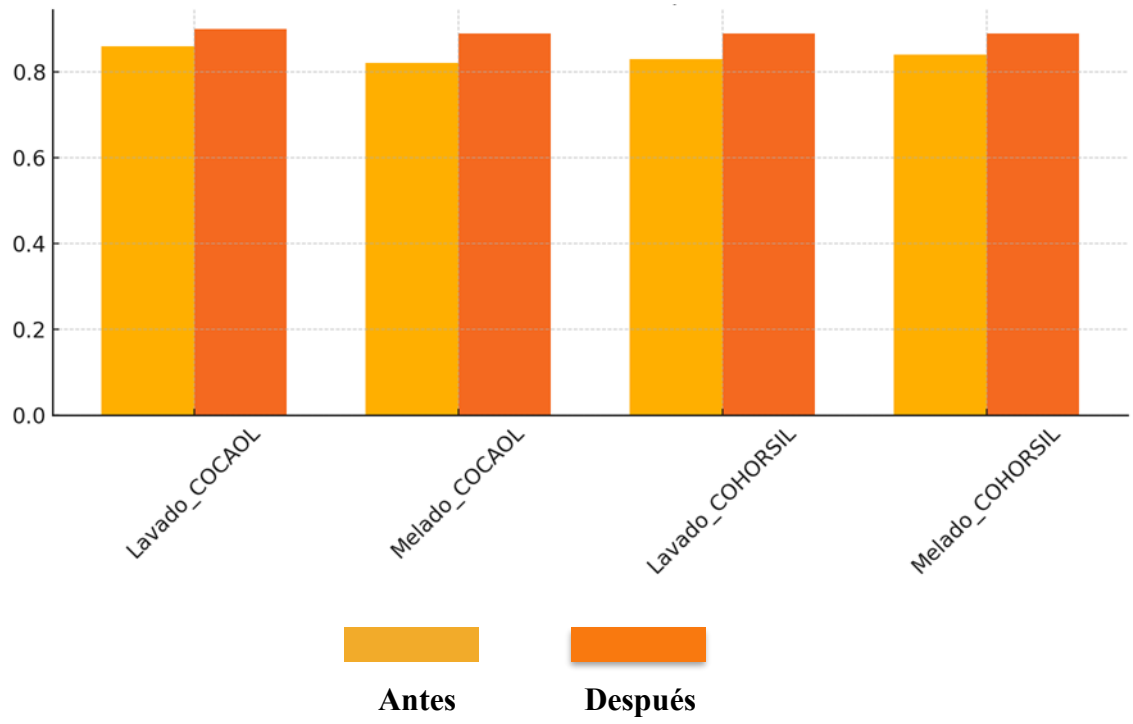


Figura 14. Comparación de la intensidad promedio de compuestos volátiles (VOC) antes y después del tratamiento con poligalacturonasa.

5.4 Análisis físico-químico

La Tabla 14, muestra el análisis físico-químicos que se realizaron en cada uno de los tratamientos de café, el proceso que se realizó para este análisis se obtuvo a partir de la preparación de las muestras donde se realizaron de la misma manera, se utilizaron 9.00 gr de café verde y tostado para las infusiones, 150 ml de agua con un tiempo estimado de 15 min para poder realizar cada análisis, para la humedad se utilizó 1.00 gr de café verde y tostado molido. Mediante la tabla se puede observar que la enzima poligalacturonasa tuvo un efecto reflejando cambios en la conductividad y viscosidad, mientras que el pH, solidos solubles (°Bx) y humedad permanecieron relativamente constantes, por ende, se interpreta que la pectinasa facilita la degradación de polisacáridos complejos sin alterar significativamente la composición acido-azúcar del café.

Tabla 14. Análisis físico-químicos (pH, °Bx, Conductividad, Viscosidad (Cp.) y Humedad)

Tratamiento	pH	°Bx	Conductividad (µS)	Cp (mPa. s/E)	Humedad (%. s/E)
T1LTOS	4.91±0.00	2±0.1	1584.17±0.71	1.10±0.006	3.92±0.20
T2LTOS	4.90±0.00	2±0.1	1530.83±6.36	0.94±0.005	3.75±0.19
T3LTOS	4.92±0.01	2±0.1	1426.83±52.09	0.94±0.005	3.75±0.19
CLTOS	4.93±0.02	2±0.1	1416.83±6.36	0.94±0.005	4.05±0.20
T1LVER	6.02±0.01	2±0.1	1316.33±2.83		8.68±0.434
T2LVER	5.98±0.04	2±0.1	1259.33±20.74		8.12±0.406
T3LVER	6.01±0.02	2±0.1	1240.5±20.51		7.96±0.398
CLVER	5.89±0.02	2±0.1	1235±6.13		7.86±0.393
T1MTOS	4.79±0.01	2±0.1	1278.53±3.01	0.94±0.005	4.44±0.222
T2MTOS	4.87±0.03	2±0.1	1129±4.24	0.78±0.004	4.21±0.2105
T3MTOS	4.83±0.02	2±0.1	1251.5±3.54	0.94±0.005	4.1±0.205
CMTOS	4.85±0.02	2±0.1	1282±2.83	0.78±0.004	4.26±0.213
T1MVER	5.60±0.01	2±0.1	1152±21.21		8.28±0.414
T2MVER	5.65±0.01	2±0.1	1186±1.41		8.17±0.4085
T3MVER	5.67±0.03	2±0.1	1200±1.41		8.27±0.4135
CMVER	5.67±0.01	2±0.1	1101.5±2.12		8.58±0.429

Nota: Para el análisis físico-químicos se utilizaron muestras de grano verde a excepción del análisis de la viscosidad que solo se tomaron los tratamientos tostados.

5.4.1 Análisis de pH

Tras el proceso de fermentación, se observó diferencias significativas constantes en los tratamientos lavado y melado tostados, por lo que la enzima no tuvo un efecto en la medición del pH. La acidez del café es inversamente proporcional al nivel de tostado del grano por lo tanto la acidez es un atributo relacionado con la calidad del café, por lo que está influenciada por muchos factores como el nivel de maduración del grano, el proceso de tostado y beneficiado.

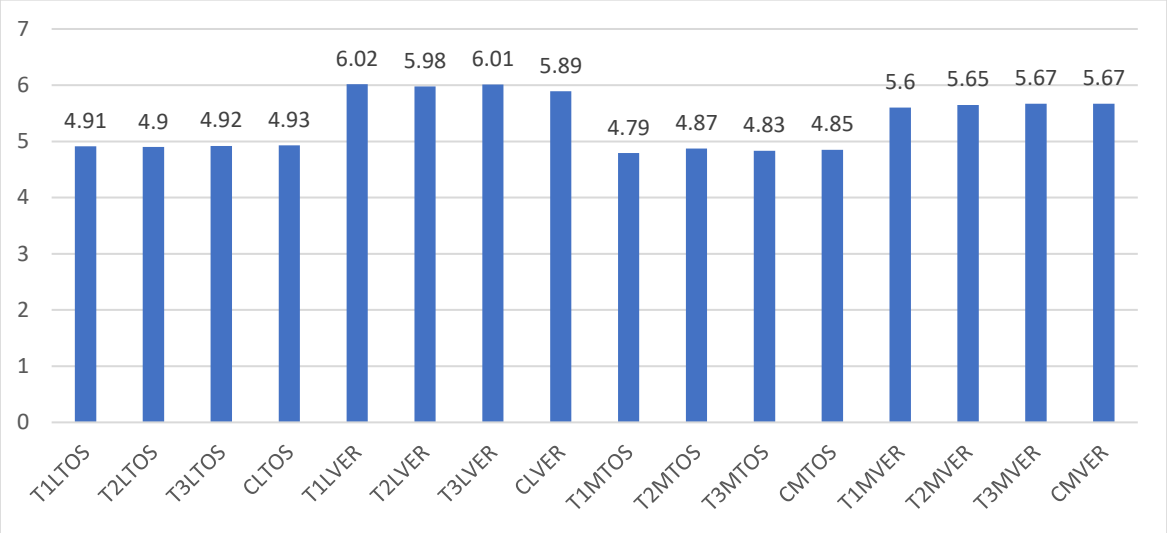


Figura 15. Análisis de pH por tratamiento.

El pH del café es un factor importante para la determinación de la calidad del café, este tiene una influencia significativa sobre el sabor, el pH del café debe estar en un rango de 4.9 y 5.2, cuando el café tiene un pH menor a 4.9 este adquiere un sabor demasiado ácido y por encima de 5.2 es más amargo (Garcia, et al,. 2019).

5.4.2 Análisis de solidos solubles

La figura 16, muestra que los °Brix se mantuvieron constantes en 2° en todos los tratamientos (T1, T2, T3-control) de café tostados y verdes, lo que indica que no hubo variación en el contenido de solidos solubles en el café, por lo tanto, los tratamientos aplicados no tuvieron

un efecto significativo para este parámetro, esto podría deberse a condiciones homogéneas o a que el °Brix presenta una baja sensibilidad frente a los cambios provocados por los tratamientos aplicados.

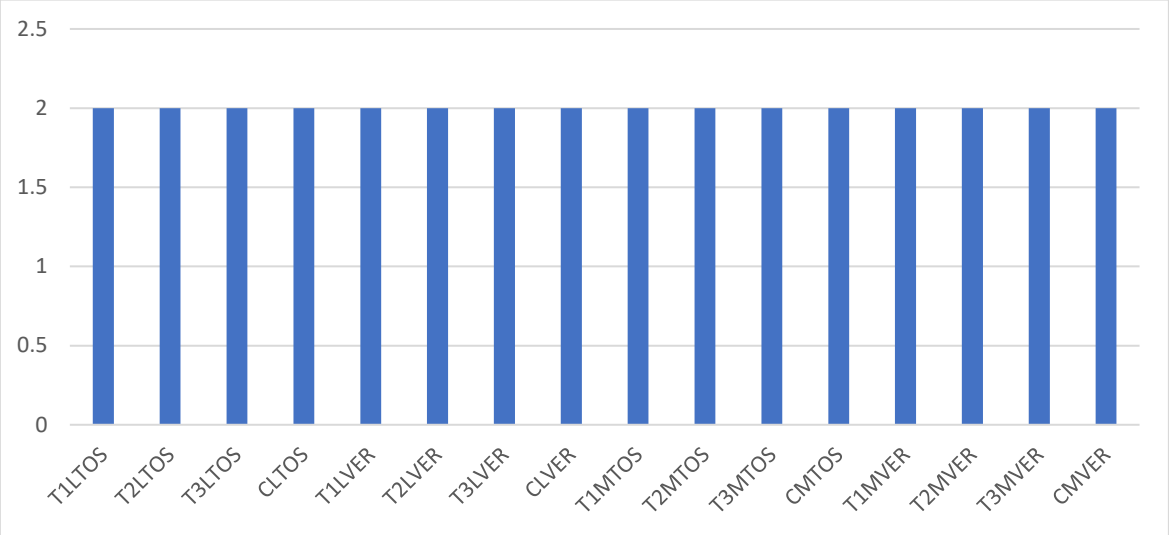


Figura 16. Análisis °Brix totales.

Algunos autores reportan que los °Brix se mantuvieron entre 1° y 2° que estos rangos no varían a pesar de los diferentes procesos de fermentación o secado aplicados, por lo que esta similitud en los resultados sugiere que, en los parámetros evaluados en ambos estudios, por lo que los °Brix pueden ser un indicador robusto que no se altera fácilmente (Gualavisi & Jaramillo, 2018).

5.4.3 Análisis de conductividad (µS)

Después del proceso de fermentación se muestra que la conductividad de muestras de café verde y tostado para los diferentes tratamientos los valores oscilan alrededor de 1200 a 1500 µS, dependiendo del tratamiento, siendo el T1LTOS el mas alto con 1584.17 µS en comparación del tratamiento CLTOS aún así es un valor alto cercano a 1500 µS, al igual que los tratamientos T1MTOS Y CMTOS, siendo las muestras verdes con valores mas bajos, cerca de 1000 µS - 1200 µS.

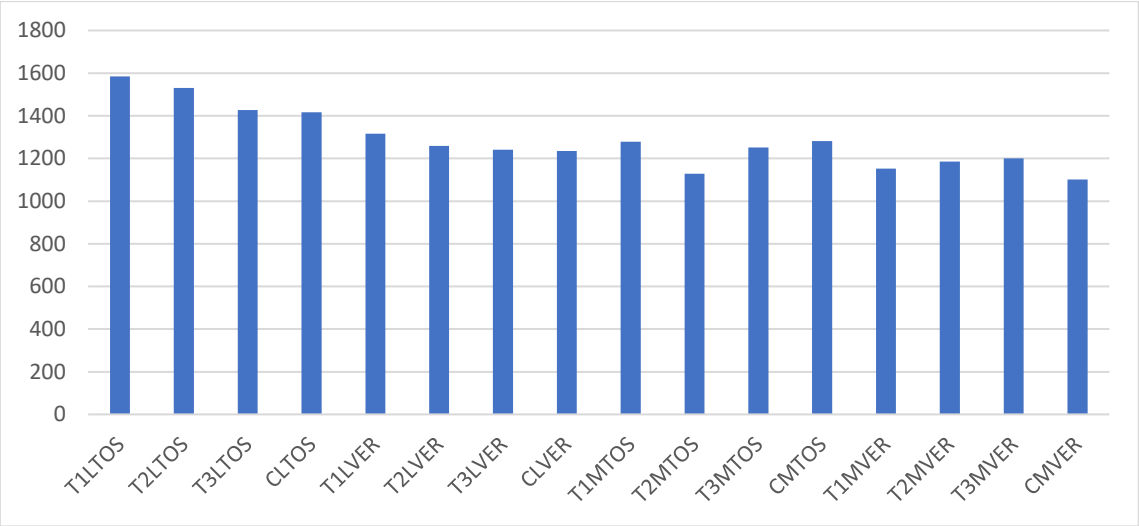


Figura 17. Análisis de conductividad (µS) total por tratamiento.

La conductividad eléctrica alta puede indicar un mayor contenido de iones solubles como sales, potasio, minerales que se han lixiviado del grano de café, si la conductividad es más baja, podría sugerir que durante el procesamiento algunos iones se han perdido, por ende, se las variaciones podrían reflejar diferencias en la membrana celular del grano debido a procesos de fermentación, secado o tueste. Se puede comparar sobre la caracterización físico-químicas de granos de café verde y tostado que hay un cambio en los minerales tras el tueste. (Gónzales, *et al*,. 2018)

5.4.4 Análisis de humedad

La figura 18, muestra los porcentajes de humedad, para los tratamientos tostados los porcentajes tiene menor humedad, esto se debe que durante el tueste el grano pierde entre 13% y 20% de su masa, principalmente por la evaporación del agua, quedando con un rango de 1-4% de humedad final, este análisis se utilizó para complementar el análisis físico-químicos, ya que la humedad es un parámetro que determina mantener la calidad del grano para mejorar la estabilidad y reducir riesgos de microorganismos.

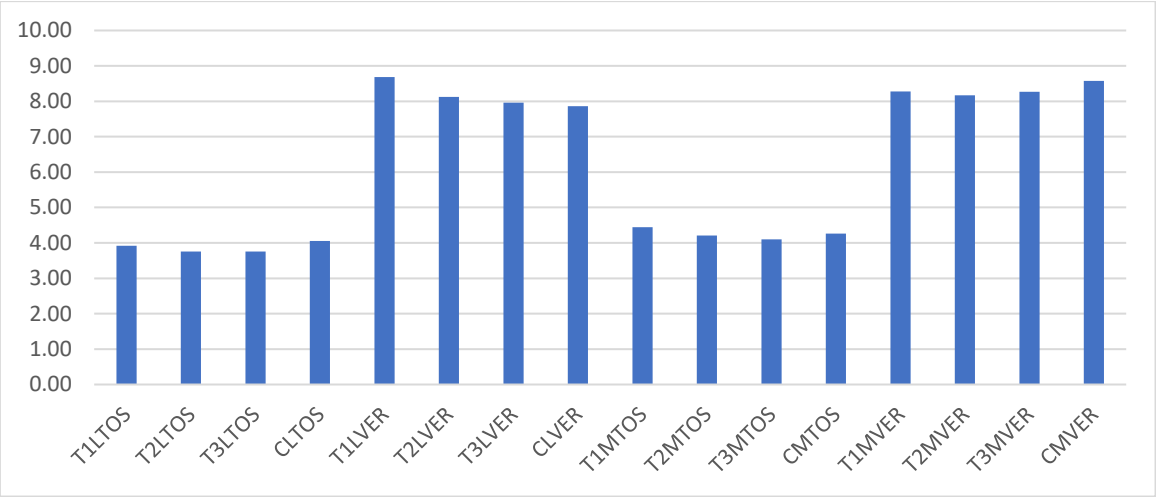


Figura 18. Análisis de humedad por tratamiento.

5.4.5 Análisis de viscosidad

La tabla 15, muestra que los tratamientos con poligalacturonasa mostraron diferencias en la viscosidad del café, destacando que T2MTOS Y CMTOS registraron los valores más bajos con 1.78 ± 0.004, lo que indica una mayor degradación de pectinas y compuestos estructurales del mucilago, en contraste, los tratamientos como T2LTOS, T3LTOS, CLTOS, T1MTOS Y T3MTOS mantuvieron una viscosidad de 1.94 ± 0.004, mientras que el T1LTOS presentó la mayor viscosidad con 2.10 ± 0.006. la disminución en algunos tratamientos sugiere que la poligalacturonasa favoreció una acción enzimática más intensa, reduciendo la densidad del medio. De acuerdo con la cata posterior los jueces prefirieron el T1, lo que indica que una mayor viscosidad no afectó negativamente la calidad sensorial.

Tabla 15. Medias de Viscosidad por tratamiento

Tratamiento	Viscosidad
T1LTOS	2.10±0.006
T2LTOS	1.94±0.005
T3LTOS	1.94±0.005
CLTOS	1.94±0.005
T1MTOS	1.94±0.005
T2MTOS	1.78±0.004
T3MTOS	1.94±0.005
CMTOS	1.78±0.004

Nota: T1= 9 g poligalacturonasa, T2= 15 g poligalacturonasa, T3= 25 g poligalacturonasa y Control= 0 g.

5.5 Análisis modelo de precios hedónicos

Los resultados del modelo se muestran en tres partes diferentes. Comenzando se presenta las estadísticas descriptivas de las variables continuas, seguidamente las frecuencias y porcentajes de las variables como ser la variedad y beneficiado. Finalmente, se presenta el resumen del análisis estadístico La tabla 16, muestra los valores obtenidos para cada indicador descriptivo según las variables evaluadas, donde se observa una variabilidad de los datos, siendo una diferencia de $ 123.1 entre el máximo y el mínimo valor del precio por libra de café.

Tabla 16. Estadísticas descriptivas de variables continúas utilizadas en el análisis de modelo hedónico de cafés especiales de Taza de Excelencia

Variables continuas	x	σ	Mínimo	Máximo
Precio (USD/lb)	20.05	29.03	13.4	136.5
(ln) precio	3.00	0.58	2.60	4.92
Cantidad vendida (lb)	560.66	234.34	264.56	1434.01
Puntuación de cata	88.36	1.34	87.11	91.21
n=32				

Nota: Simbología utilizada, mediana (x̃), desviación estándar (σ), logaritmo natural (ln).

La tabla 17, muestra las variedades de café con mayor frecuencia en la participación en la Taza de Excelencia Honduras 2024, siendo la variedad Geisha la cual representa el 56.25 % de los datos analizados, siguiéndoles las variedades Parainema y Pacas que representan el 25%, debido a esto se eligió el Geisha como variedad de referencia para el desarrollo del análisis estadístico.

Tabla 17. Frecuencia y porcentaje en las que se presentan cada variedad analizada en el modelo hedónico de cafés especiales de Taza de Excelencia

Variedad de Café	Frecuencia	Porcentaje
Geisha	18	56.25
SL-28	2	6.25
Pacas	4	12.5
Pacamara	2	6.25
Típica	1	3.125
Maracaturra	1	3.125
Parainema	4	12.5
Total	32	100

Fuente: Propia.

Existen diferentes procedimientos a los que se somete las cerezas de café luego de ser extraídas de las plantas de cafeto, para transformarse finalmente en granos (Ventura, 2022). La tabla 18, muestra los métodos más utilizados, siendo el beneficiado lavado el principal con un 59.37%, siguiéndoles el beneficiado natural con 28.12% y miel (melado) con 12.5%, se tomó como referencia para esta variable el lavado con mayor porcentaje.

Tabla 18. Frecuencia y porcentaje de los métodos de beneficiados analizados en el modelo hedónico de cafés especiales de Taza de Excelencia

Beneficiado	Frecuencia	Porcentaje
Lavado	19	59.375
Natural	9	28.125
Miel	4	12.5
Total	32	100

Fuente: Propia.

Análisis Hedónico de Precios

Se utilizaron las variables, cantidad vendida, puntuación de cata, variedad de café y método de beneficiado, el modelo presentó un R^2 de 0.69 el cual indica la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. La variable cantidad vendida presenta una relación proporcional con el precio, ya que disminuye 0.1% el precio por cada libra que aumenta la cantidad vendida. Traore et al., (2018) menciona que en sus estudios la estimacion de precios hedónicos muestran que los precios de café especiales estan determinados principalmente por los atributos simbolicos y las condiciones del mercado, como la cantidad de cafes en subastas por lo que los compradores prefieren lotes pequeños.

Los resultados reflejan un incremento en el precio de un 28.2% por cada punto adicional en el puntaje de cata que adquiere el café, este resultado coincide con lo reportado por Ventura (2022), quien obtuvo por cada punto adicional en la puntuacion del café el precio por libra aumenta 19.24%, ademas otro resultado reportado por Lemus (2021) es que el precio por libra aumenta un 29.3%.

Tabla 19. Resultados del modelo de regresión lineal múltiple para la estimación de precios hedónicos del café (variable dependiente: ln_precio)

Modelo		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	-21.397	6.259		-3.418	0.003	-34.414	-8.380
	Puntaje	0.282	0.068	0.657	4.113	0.000	0.139	0.424
	Cantidad vendida	-0.001	0.000	-0.234	-1.385	0.180	-0.001	0.000
	Miel	-0.209	0.197	-0.122	-1.061	0.301	-0.619	0.201
	Natural	-0.061	0.171	-0.048	-0.355	0.726	-0.417	0.295
	Sl28	-0.091	0.246	-0.039	-0.371	0.715	-0.603	0.420
	Típica	-0.213	0.258	-0.091	-0.825	0.419	-0.749	0.324
	Pacamara	-0.111	0.356	-0.034	-0.313	0.757	-0.852	0.629
	Parainema	-0.020	0.274	-0.010	-0.073	0.943	-0.590	0.550
	Maracaturra	0.116	0.267	0.049	0.432	0.670	-0.440	0.672
	Pacas	-0.336	0.203	-0.196	-1.657	0.112	-0.757	0.086

Nota: Categorías de referencia: proceso lavado y variedad Geisha.

Este análisis se incorporó con el fin de revelar que se puede obtener mejores precios de acuerdo a la nota de cata, por ende, se reveló que el precio aumenta un 28.2% por cada punto adicional de la nota. Tomando con referencia la subasta de excelencia, el valor mínimo fue de 87.11 puntos, alcanzó un precio de USD 13.4 por libra, por lo cual se puede estimar el impacto de las mejoras en la calidad obtenidas mediante los tratamientos aplicados con la enzima poligalacturonasa, donde el incremento potencial con la enzima en proceso lavado permitió aumentar 1.5 puntos por lo que el incremento de precio sería de un 42.3%, donde el precio por libra rondaría en 19.08 USD. Para el proceso melado se generó un aumento de 1 punto en la nota de cata, que equivale a un incremento del 28.2% por lo que el precio esperado será de 17.17 USD.

De acuerdo a investigaciones antes mencionadas, indican que es posible lograr aumentos de 3 a 5 puntos en la nota de cata, siempre y cuando la fermentación controlada con dicha

enzima sea inmediata, por lo que se plasmó un escenario con mejoras basadas en estos puntos sobre la nota, donde para los 3 puntos se aumenta un 84.6% estimando un precio de 24.76 USD y para los 5 puntos un incremento de 141% donde el precio estimado rondaría en 32.27 USD por libra. Esto evidencia un alto potencial económico al implementar tratamientos biotecnológicos en el procesamiento del café como lo es el uso de esta enzima poligalacturonasa en fermentaciones controladas en el café.

Los resultados obtenidos se interpretaron dentro del marco de los mercados de cafés especiales, donde la creciente competitividad entre los mercados nacionales e internacionales han generado atención por determinar los diferentes atributos que valoran más el café, en estos mercados diferenciados, los consumidores y compradores especializados asignan precios en función de características físicas, químicas y sensoriales que influyen en la calidad de taza del café por ende, la sistemática de los precios hedónicos cosiste en la búsqueda a la contribución del precio de un producto, de acuerdo a sus atributos. (Lemus, 2021)

Dentro de este contexto, el uso de las enzimas pectolíticas como la poligalacturonasa, ha tomado mayor importancia debido a su aplicación en procesos de fermentación controlada. La enzima poligalacturonasa ha aumentado significativamente debido a su creciente uso en el sector de alimentos y bebidas, ya que ha sido utilizada como componente de etiqueta más claro por lo que se ha impulsado la creciente demanda de los consumidores de procesos de procesamiento de alimentos naturales y enzimáticos. En este estudio la aplicación de la enzima poligalacturonasa adquiere relevancia al observarse que modifica parámetros asociados al comportamiento de la fermentación, cabe destacar que los comportamientos se hubieran diferenciado más si la fermentación hubiese sido inmediata, a pesar de ello se puede aumentar un 1.5 % en el puntaje de cata y con el análisis obtenido por medio de la subasta de taza de excelencia se evidencia un incremento de 28.2% por cada punto adicional en el puntaje de cata que adquiere el café.

No obstante, el mercado de poligalacturonasa enfrenta desafíos relevantes, según *Market Research Intellect* (MRI, 2025) están:

- Altos costos de producción y purificación, que pueden limitar su accesibilidad para pequeños productores interesados en aplicarla a micro lotes de café especial.
- Regulaciones estrictas que rigen el uso de enzimas industriales y la competencia con otras alternativas enzimáticas que ofrecen funciones similares.
- Conocimiento limitado entre los consumidores finales sobre las ventajas de los procesos enzimáticos, lo cual puede influir en la percepción del valor agregado.

A pesar de estas barreras, las tendencias actuales muestran un avance significativo en biotecnología, con mejoras en métodos de producción que aumentan la eficiencia enzimática y reducen costos. Por lo que se debe fomentar, incrementar creaciones de alianzas entre empresas e instituciones de investigación para ampliar las posibilidades comerciales de la poligalacturonasa u otras enzimas pectolíticas, lo cual podría traducirse en opciones más accesibles para el sector cafetalero.

Si la enzima continúa expandiéndose en el mercado global, con costos más bajos y mayor aceptación, su aplicación en la fermentación del café podría representar una ventaja competitiva que influya positivamente en el precio final del producto en mercados diferenciados, ya que se ha podido evidenciar que la enzima poligalacturonasa su tiene un impacto en la calidad de taza del café.

VI. CONCLUSIONES

Se evaluó que a partir de los resultados del diseño de superficie de respuesta permitieron encontrar que la concentración optimizada de la enzima poligalacturonasa en café variedad catuaí corresponde al tratamiento T1 (0.50%) de concentración, equivalente a 9 g, ya que mostro el comportamiento más estable para los dos beneficiados de café y evidenció mejores condiciones de fermentación.

Se identificaron compuestos volátiles utilizando la nariz electrónica, siendo los alcoholes la familia volátil dominante en todas las muestras, seguidamente por los compuestos aromáticos y ésteres. El PCA evidenció una clara separación entre tratamientos, agrupando el T1 y T3 por su presencia de notas frutales y dulces, esto nos confirma que la poligalacturonasa modifica significativamente el perfil volátil del café.

Se compararon los resultados de la nariz electrónica y del análisis sensorial tradicional. La E-nose registró un incremento consistente en la intensidad de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) tras el uso de la enzima poligalacturonasa, evidenciando una mayor liberación de compuestos aromáticos. Estos hallazgos coincidieron con las mejoras sensoriales observadas en la catación, donde los tratamientos T1 de ambos procesos incrementaron la calificación final frente a las muestras testigo, pasando de 82 a 83.5 en café lavado y de 82 a 83 en melado. El aumento de VOC y la percepción de fragancias y sabores frutales confirman su eficacia analítica.

Se evaluó que el uso de la enzima poligalacturonasa tuvo un impacto positivo en el precio proyectado del café en mercados especializados, debido al efecto que ejerce sobre la calidad de taza, se pudo obtener puntajes sobre la nota de cata de 1 a 1.5 puntos con una incrementación estimada de 28.2% a 42.3% en el precio por libra, lo que proyecta un valor de 17.17 y 19.05 USD, además, con escenarios respaldados se puede elevar la puntuación de 3 a 5 puntos, por lo cual el café podría alcanzar incrementos de 84.6% y 141% en su precio, superando los 24.76 a 32.27 USD/Lb.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar el proceso de fermentación anaeróbica del café con la enzima poligalacturonasa inmediatamente después de la recolección y despulpado del café para que el grano ingrese al proceso de fermentación aun fresco, sin periodos prolongados de almacenamiento ya que esto provoca envejecimiento en el café y alterar su respuesta durante la fermentación.

Realizar una comparación con otras variedades de café utilizando la misma enzima poligalacturonasa con el mismo tratamiento de adición y fermentación.

Incorporar la medición de minerales en el análisis físico-químico, ya que estos compuestos tienen una influencia directa en la formación de los atributos sensoriales, lo que permitirá completar la interpretación y caracterización de la calidad del café.

Ampliar el análisis modelo de precios hedónicos del café, tomando en cuenta más años de la subasta de Taza de Excelencia, también incluir información de otros países que participan en este tipo de subastas para tener una visión más completa de cómo se valoran los cafés de calidad en diferentes contextos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, C. (2013). Optimización de una nariz electrónica a través de un método del Hombre y la Mujer.

Anali, M. (2021). Evaluacion del efecto de enzimas pectoliticas en la elaboracion de cerveza artesanal a base de cebada y arroz en cascara.

Aponte, L., & Guadarrama, A. (2003). Actividad de las enzimas pectinmetilesterasa, poligalacturonasa y celulasa durante la maduración de frutos de parchita maracuyá (*Passiflora edulis* f. flavicarpa Degener). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 29(2), 145-160.

Barrera, O. (2016). Estudio de la capacidad de la nariz y lengua electrónica para la caracterización y clasificación de cafés.

Bastian, F., Hutabarat, O., Dirpan, A., Nainu, F., Harapan, Emran, T., & Simal, J. (2021). From Plantation to Cup: Changes in Bioactive Compounds during Coffee Processing. *Foods, 10*(11), 2827. https://doi.org/10.3390/foods10112827

Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). Fruits and Fruit Products. *Food Chemistry*, 807-861. https://doi.org/10.1007/978

Brebechova, R., & Prieto, L. (2006). Biosintesis de las enzimas pectoliticas a partir de hongos *Aspergillus Niger* y *Aspergillus Foetidu*s para aplicacion en Industria de Alimentos. Bogota: *Revista de Investigacion.*

Caballero, M. (2019). Determinacion de los factores Extrínsecos e Intrínsecos que afectan la calidad del cafe de inversiones GALAVIS. 30-31.

Cablevey. (2025). La evolución de la industria del café en grano. *Cablevey Conveyors*. https://cablevey.com/es/la-evolucion-de-la-industria-del-cafe-en-grano/

Cascos, G. B.-R.-F.-C. (2023). Burn Defect and Phenol Prediction for Flavoured Californian-Style Black Olives Using Digital Sensors. *foods, 12, 1377.* .

Cascos, G. L.-F.-F.-C.-V. (2023). Electronic nose and gas chromatograph devices for the evaluation of the sensory quality of green coffee beans. *Foods,* 13(1), 87.

Cascos, G. M.-F.-F.-C.-V. (2024). Electronic Prediction of Chemical Contaminants in Aroma of Brewed Roasted Coffee and Quantification of Acrylamide Levels. *Foods , 13 (5), 768*.

Cascos, G. M.-F.-F.-C.-V. (2024). Electronic Prediction of Chemical Contaminants in Aroma of Brewed Roasted Coffee and Quantification of Acrylamide Levels. *foods.* .

Castro, L. (2017). Evaluacion de la calidad del cafe variedad colombia (Coffea arabica (L.)) en prueba de taza, para la empresa de cafe especial El Dorado del Macizo Colombiano S.A.S, ISNOS HUILA, determinada por el comportamiento del mucilago. *repositoriousco.co TH IA 0218*.

Cenicafé. (2009). Los catadores de café. *Cenicafe*.

Cerrato, M. (2024). Evaluación del perfil aromático del café hondureño. Tesis de grado, Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras.

Charrier, A., Berthaud, J., Clifford, M. N., & Willson. (1985). Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage. https://doi.org/10.1007/978

Cordova, S., & Valdez, M. (2024). Efecto de ectomicorrizas y endomicorrizas en la producción de plantones de café (*Coffea arabica*) variedad Catuai en condiciones de Oxapampa. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.

Cwikova, O., Komprda, T., Sottnikova, V., Svoboda, Z., Simonova, J., & Juzl, M. (2022). Effects of Different Processing Methods of *Coffee arabica* on Colour, Acrylamide, Caffeine, Chlorogenic Acid, and Polyphenol Content. *MDPI Foods, 11*(20), 3295. https://doi.org/10.3390/foods11203295

De Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., & Callanan, M. (2016). Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and Metabolite Profiles during Green Coffee Bean Production. *Applied and Environmental Microbiology, 83*(1). https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16

Diaz Villamizar, M. A. (2022). Evaluación del perfil aromático de café colombiano de distintas zonas y épocas de cosecha, usando de nariz electrónica y análisis estadístico multivariado.

Escalona, I. (2022). Producción de enzimas a partir de residuos agroindustriales. análisis bibliográfico. *Repositorio.xoc.uam.mx*.

Farah, A. (2012). Coffee Constituents. https://doi.org/10.1002/978

Fuentes, A. F., & García, E. (2018). Determinación de cafeína en café mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Fuentes, M. (2023). Cuantificación por HPLC-DAD de cafeína y trigonelina en *Coffea arabica* L y escopoletina en Persea schiedeana Ness.

Fukalova, T., & Almeida, A. (2024). Determinación de niveles de acrilamida en café arábigo (*Coffea arabica* L.), variedad Catuaí. *European Public & Social Innovation Review*, 1–20.

Garcia, J., Elizarraraz, M., Sosa, M., Gomez, J., & Ceron, A. (2019). Caracterización colorimétrica y propiedades fisicoquímicas en bebidas a base de café soluble. .

Gonzales, O., Suarez, M., Winkler, R., & Ramirez, A. (2018). Chemical characterization in green and toasted grain of a new variety of *Coffea arabica* L. 86-97. https://doi.org/doi:http://dx.doi.org/10.23850/24220582.1596

Gonzalez, A., Gonzalez, J., Blanco, J., & Garcia, F. (2010). UMAPATENT. https://umapatent.uma.es/es/patent/nariz-electronica-de-alta-frecuencia92d/pdf/

Gualavisi, J., & Jaramillo, M. (2018). Evaluación de la calidad del café *(Coffea arabica* L.*)* variedad Typica, aplicando diferentes métodos de beneficio (lavado tradicional, miel y natural) en la parroquia Salinas, cantón Guaranda, provincia Bolivar.

Guambi, L., Moreano, J., Talledo, D., & Cedeño, S. (2018). Organoleptic quality, methods of benefit and cultivars of robust coffee (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) in the amazon of Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha,* 19(2). https://doi.org/https://www.redalyc.org/journal/813/81357541011/html/

Instituto Hondureño del Café, IHCAFE. (2021). Subasta de Taza de Excelencia de Café. (Recuperado el 10 de agosto 2025). Obtenido de https://www.ihcafe.hn/taza-de-excelencia-2/

Instituto Hondureño del Café, IHCAFE. (2023). Panorama del sector cafetalero en Honduras (Recuperado el 18 de diciembre 2025). Obtenido de https://www.ihcafe.hn/comercializacion-de-cafe/

Jumbo, N. (2022). Influencia de la variedad, altura y procesos tecnológicos en la calidad y sustentabilidad del café de Chaguarpamba, Loja, Ecuador. Universidad Nacional Agraria La Molina. Escuela de Posgrado. Doctorado en Agricultura Sustentable.

Knopp, S., Bytof, G., & Selmar, D. (2005). Influence of processing on the content of sugars in green Arabica coffee beans. *European Food Research and Technology, 223*, 195-201. https://doi.org/10.1007/s00217-005-0172-1

La evolución de la industria del café en grano - Cablevey Conveyors. (2020). Blogs de Cablevey: https://cablevey.com/es/la-evolucion-de-la-industria-del-cafe-en-grano/

Ladino-Garzón, W. C.-M.-G.-C. (2016). Calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) procesado en fermentación semi-seca. *Agronomía Colombiana, 34(1 supl)*, 281-283.

Landino, W., Cortes, E., Gutierrez, N., & Amorocho, C. (2016). Calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) procesado en fermentación semi-seca. *Agronomia Colombiana*.

Lemus, J. (2021). Análisis de precios hedónicos de subastas de cafés especiales de El Salvador. Escuela Agrícola Panamericana.

Lopéz, J. (2008). Cuantificación de cafeína, trigonelina y ácido clorogénico por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Maidana, S. A., Mieres, A. A., Zubreski, E. R., & Martos, M. A. (2019). Optimización de las condiciones de cultivo para la producción de una Poligalacturonasa Microbiana. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (32), 1-10.

Marcìa-Fuentes, J. A., Aleman, R. S., Areche, F. O., Flores, D. C., Roman, A. V., Martín-Vertedor, D., & Montero-Fernández, I. (2025). Functional foods: a review of foods ingredient and their health benefits. Food and Humanity, 100953.

Marcia Fuentes, J. A. (2020). Desarrollo de una bebida tipo infusión a partir de pulpa de café (*Coffea arabica*) variedad Lempira de Honduras. *Journal of agricultural Science.* .

Mazzafera, P. (1991). Trigonelline in coffee. *ResearchGate*.

Mondino, M. C., & Ferratto, J. (2006). El análisis sensorial: una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor.

Montilla, J., Arcila, J., Aristizabal, M., Montoya, E., Puerta, G., Oliveros, C., & Cadena, G. (2008). Caracterizacion de algunas propiedades fisicas y factores de conversion del cafe durante el proceso de beneficio humedo tradicional.

Moreno, I., & Serracín, J. (2016). Matriz de sensores: fundamento de la nariz electrónica. *In Memorias de Congresos UTP*, 37-39.

MRI. (2025). Tamaño y proyecciones del mercado de poligalacturonasa. Market Research Intellect.

Munyendo, L., Njoroge, D., Owaga, E., & Mugendi, B. (2021). Coffee phytochemicals and post-harvest handling—A complex and delicate balance. *Journal of Food Composition and Analysis, 102*. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103995

Murillo, A. (2025). Evalucion del uso de enzimas pectolíticas sobre la calidad en taza de café *(Coffea arábica* L.*)* mediante nariz electrónica .

Murkovic, M., & Pichler, N. (2006). Analysis of 5-hydroxymethylfurfual in coffee, dried fruits and urine. *Molecular Nutrition & Food Research, 50*(9), 842-846. https://doi.org/10.1002/mnfr.200500262

Osorio, V. (2021). La calidad del cafe. Cenicafé.

Otárola, A. (2018). Efecto de la enzima pectolítica y levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la fermentación y calidad del cacao var. criollo (*Theobroma cacao*).

Palomares, S. G. (2013). Caracterización de compuestos volátiles de L. variedad Borbón. Universo de la Tecnologia.

Pauti, S., Luisa, C., Carlo, P., Marco, Z., Lanfranco, C., Lorenzo, D. T., . . . Enrico, B. (2014). Lipase activity and antioxidant capacity in coffee (Coffea arabica L.) seeds during germination. *Plant Science*, 19-25.

Pazmiño, J., & Ruiz, A. (2023). Sensorial and Aromatic Volatile Compounds Evaluation ff Coffee (*Coffea arábica* Var. Caturra Chiroso) from Three Geographical Origins of Antioquia. *Scielo, 24*(1). https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2846

Pierre, J., Retes, R., & Vasquez, E. (2020). Importancia, genética y evolución del café en Honduras y el mundo. *Innovare: Revista De Ciencia Y tecnología*, 149–155.

Pintado, P., & Vega, V. (2019). Calidad en Taza del Café (*Coffea arabica* L.) Catimor con Zumo y Cáscara de Naranja Incorporado en el Proceso de Fermentación. *UNJ-Institucional*.

Poisson, L., Blank, I., Dunkel, A., & Hofmann, T. (2017). The Chemistry of Roasting—Decoding Flavor Formation. *Elsevier*, 273-309. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803520-7.00012-8

Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. *Cenicafe*.

Puerta, G. (2015). Fermentación controlada del café : Tecnología para agregar valor a la calidad. *ResearchGate*. https://doi.org/10.38141/10779/0454

Puerta, G., Echeverry, & Jose. (2025). Fermentación controlada del café : Tecnología para agregar valor a la calidad. *ResearchGate*. https://doi.org/10.38141/10779/0454

Sanz-Uribe, J. R.-M. (2013). Proceso de beneficio. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura . *Cenicafé, Vol. 3*, 09–47. https://doi.org/https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_28

SCA. (2025). *Speciality Coffee Association*. https://sca.coffee/value-assessment

Seninde, Denis, & Chambers, E. (2020). Coffee Flavor: A Review. *Beverages, 6*(3), 44. https://doi.org/10.3390/beverages6030044

Sunarharum, W. B. (2014). Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food research international*, 315-325.

Taguchi, H., Sakaguchi, M., & Shimabayashi, Y. (1985). Trigonelline Content in Coffee Beans and the Thermal Conversion of Trigonelline into Nicotinic Acid during the Roasting of Coffee Beans. *Agricultural and Biological Chemistry, 49*(12), 3467-3471. https://doi.org/10.1080/00021369.1985.10867295

Tejeda, D., Vasquez, M., Ardon, C., & Caceres, O. (2020). Guía para la preparación de microlotes de cafés especiales. Progresa, Swisscontact.

Traore, T., & L, N. (2018). What explains specialty coffee quality scores and prices: A case study from the cup of excellence program. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 1-20. https://doi.org/10.1017/2018.5

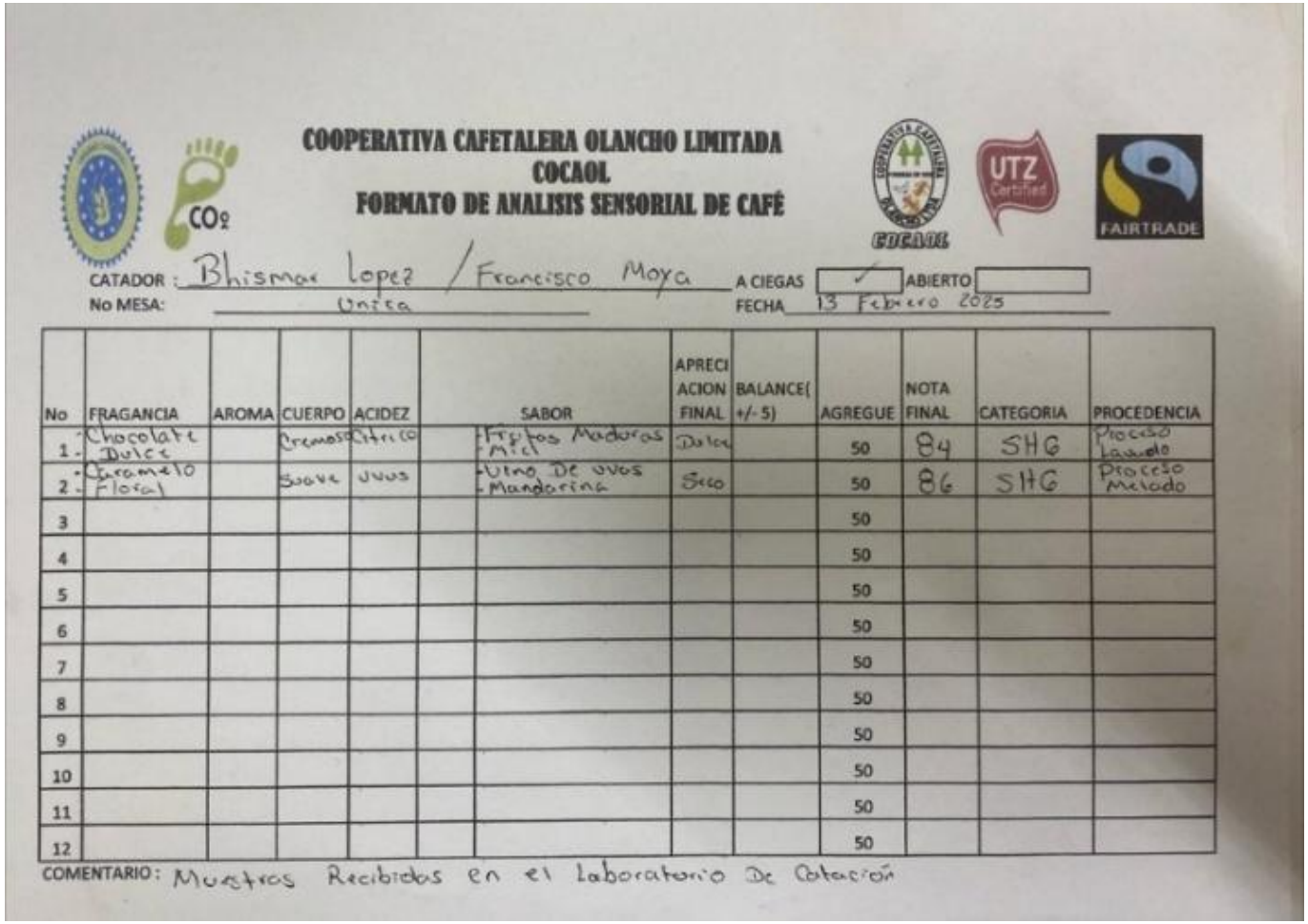
Tugnolo, A. B. (2019). Characterization of green, roasted beans, and ground coffee using near infrared spectroscopy: A comparison of two devices. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 93-104.

Valerio Ávila, J. I., Peralta Matute, K., Amador-Zelaya, C., Reyes Morales, O., Patricia Cruz, M., Ruiz Cardona, J., & Marcia Fuentes, J. A. (2025). Importance of polyphenols in coffee (*Coffea arabica* L.).

Ventura, V. (2022). Análisis de precios hedónicos de subastas de cafés especiales en América Latina . Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2022.

Yashin, A. Y. (2017). Chromatographic methods for coffee analysis: a review. J*ournal of Food Research*, 60-82.

ANEXOS



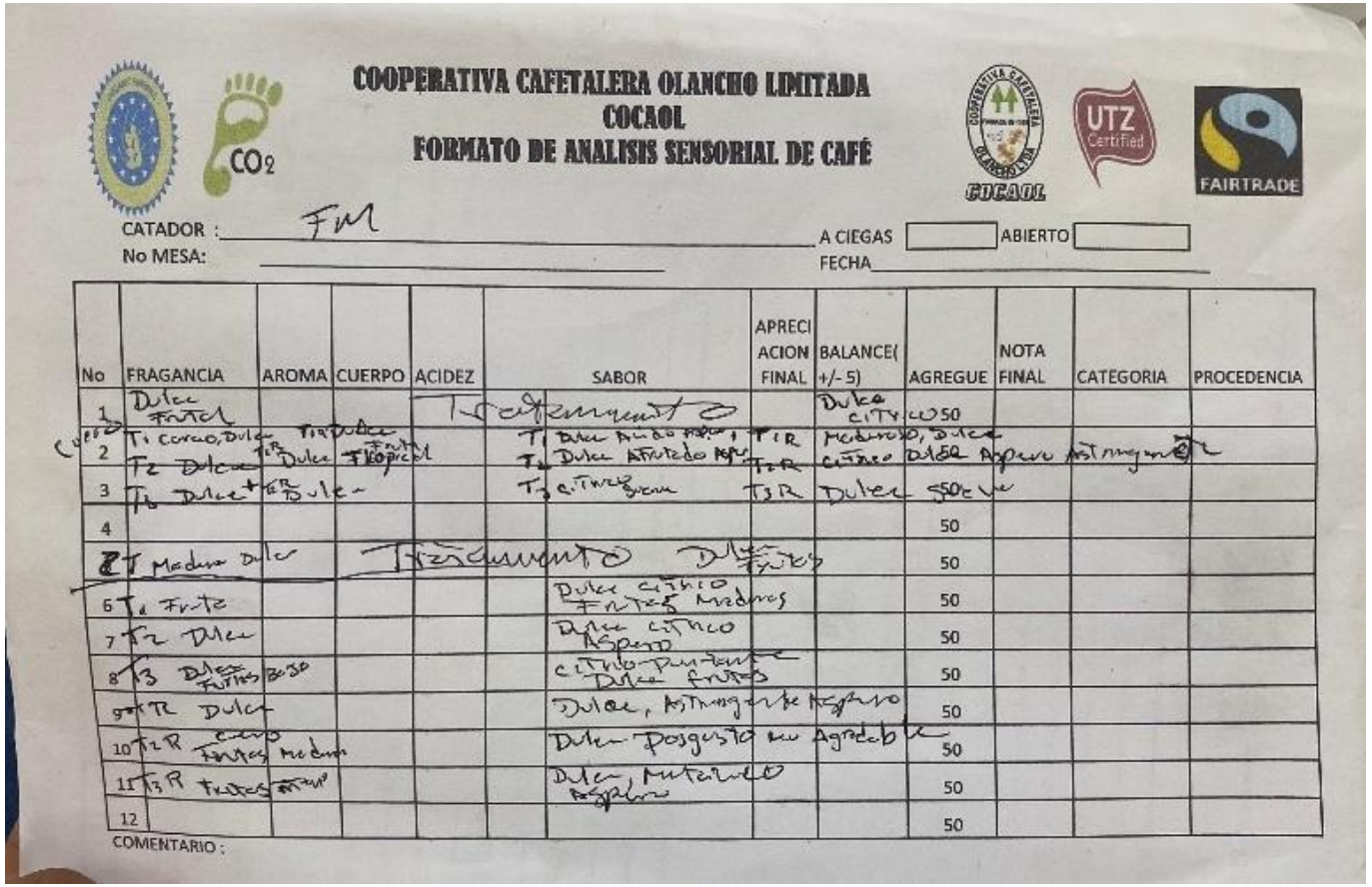
COOPERATIVA CAFETALERA OLANCHO LIMITADA
COCAOL
FORMATO DE ANALISIS SENSORIAL DE CAFÉ

CATADOR: Bhismar Lopez / Francisco Moya — A CIEGAS [✓] ABIERTO [ ]
No MESA: Unitec — FECHA 13 Febrero 2025

No	FRAGANCIA	AROMA	CUERPO	ACIDEZ	SABOR	APRECIACION FINAL	BALANCE(+/- 5)	AGREGUE	NOTA FINAL	CATEGORIA	PROCEDENCIA
1	Chocolate Dulce		Cremoso	Citrico	Frutos Maduros Miel	Dulce		50	84	SHG	Proceso Lavado
2	Caramelo Floral		Suave	Uvas	Vino De uvas Mandarina	Seco		50	86	SHG	Proceso Melado
3								50			
4								50			
5								50			
6								50			
7								50			
8								50			
9								50			
10								50			
11								50			
12								50			

COMENTARIO: Muestras Recibidas en el Laboratorio De Catación

Anexo 1. Formato y resultados de catación inicial por COCAOL.



COOPERATIVA CAFETALERA OLANCHO LIMITADA
COCAOL
FORMATO DE ANALISIS SENSORIAL DE CAFÉ

COCAOL

CATADOR : FM
No MESA:
A CIEGAS ☐ ABIERTO ☐
FECHA

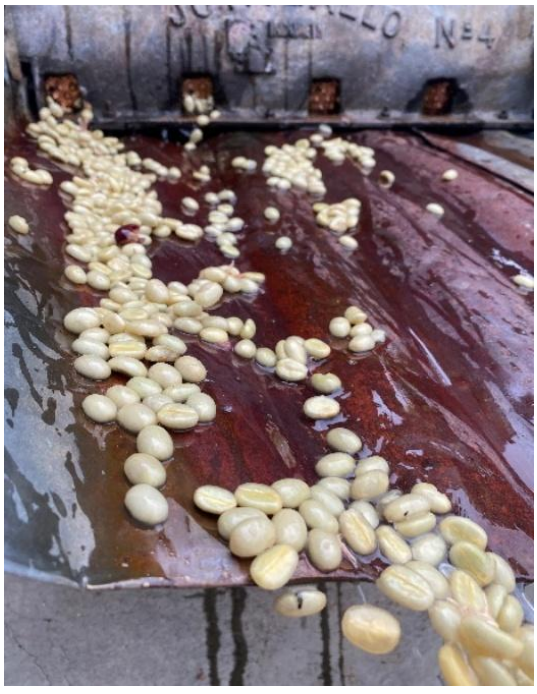
No	FRAGANCIA	AROMA	CUERPO	ACIDEZ	SABOR	APRECIACION FINAL	BALANCE(+/- 5)	AGREGUE	NOTA FINAL	CATEGORIA	PROCEDENCIA
1	Dulce Frutal			Tratamiento			Dulce cítrico	50			
2	T1 cereal, Dulce	T1R Dulce Frutal			T1 Dulce Frutos Rojos	T1R	Medio, Dulce				
	T2 Dulce	T2R Dulce Frutal			T2 Dulce Afrutado	T2R	cítrico	Dulce Aspero Astringente			
3	T3 Dulce +	T3R Dulce			T3 cítrico	T3R	Dulce	50 c/u			
4								50			
5	T Medio Dulce			Tratamiento	Dulce Frutos			50			
6	T4 Frute				Dulce cítrico Frutos Medios			50			
7	T2 Dulce				Dulce cítrico Aspero			50			
8	T3 Dulce Frutos Bajo				cítrico Persistente Dulce frutos			50			
9	T1R Dulce				Dulce, Astringente Aspero			50			
10	T2R cuerpo Frutos medio				Dulce Dosgusto no Agradable			50			
11	T3R Frutos Bajo				Dulce Mutarillo Aspero			50			
12								50			

COMENTARIO :

Anexo 2. Formato y resultado posterior con la enzima por COCAOL.



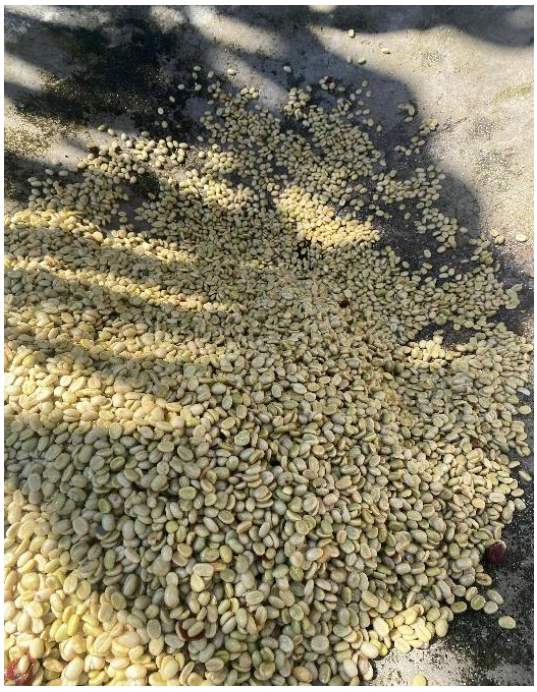
Anexo 3. Recolección de materia prima Café var. Catuaí



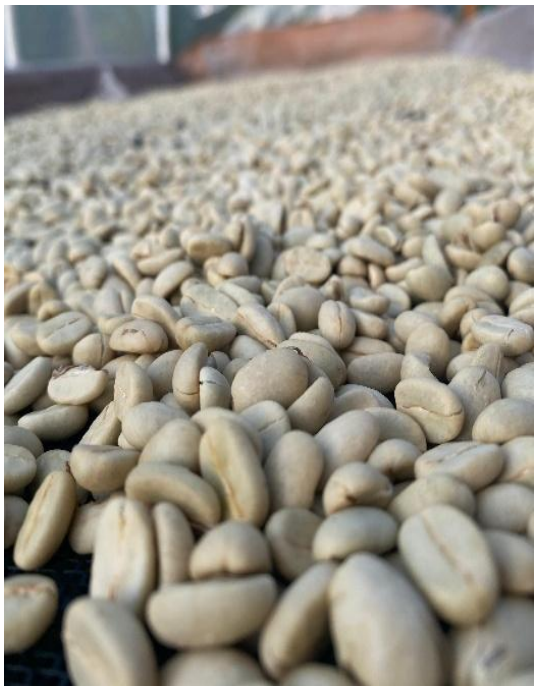
Anexo 4. Proceso de despulpado del café.



Anexo 5. Proceso de fermentación del café.



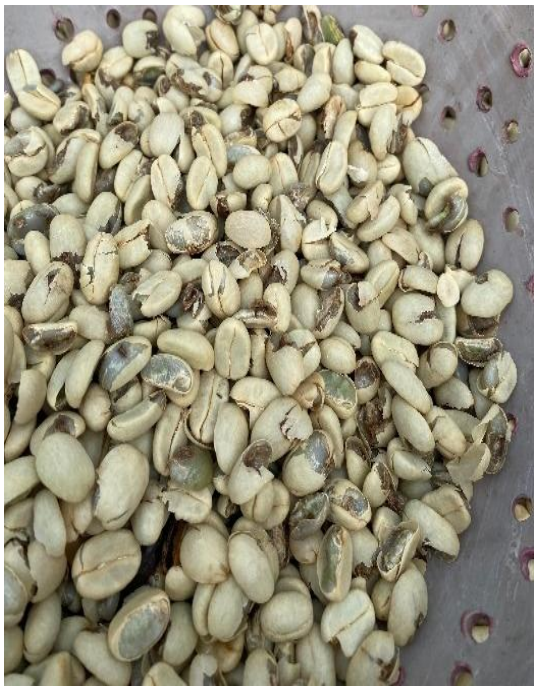
Anexo 6. Proceso de lavado del café.



Anexo 7. Secado proceso lavado del café.



Anexo 8. Secado proceso melado (honey) del café.



Anexo 9. Clasificación de granos defectuosos.



Anexo 10. Medición de humedad café verde.



Anexo 11. Tostado No. 65 SCAA.



Anexo 12. Catación Inicial por COCAOL.



Anexo 13. Preparación de enzima para la adición del café.



Anexo 14. Fermentación anaeróbica de los tratamientos.



Anexo 15. Secado de los tratamientos.



Anexo 16. Tratamientos trillados.



Anexo 17. Tratamientos tostados No. 65 SCAA.



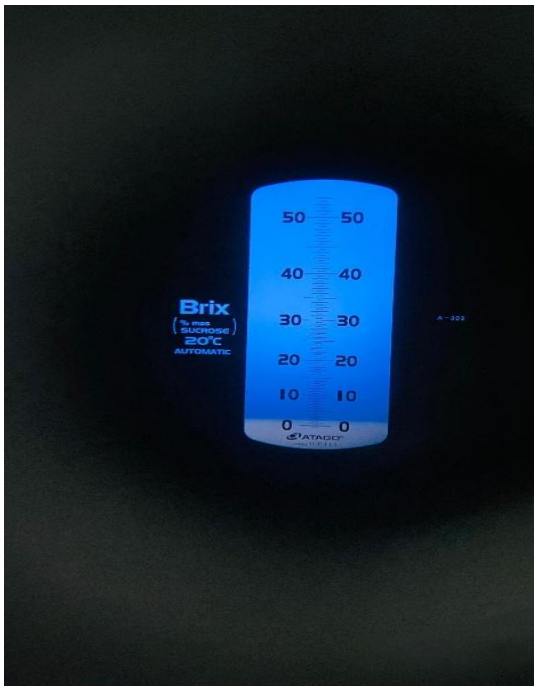
Anexo 18. Café molido para su respectiva catación.



Anexo 19. Catación posterior con la enzima poligalacturonasa.



Anexo 20. Análisis de conductividad de las muestras.



Anexo 21. Análisis °Brix.



Anexo 22. Análisis de humedad.



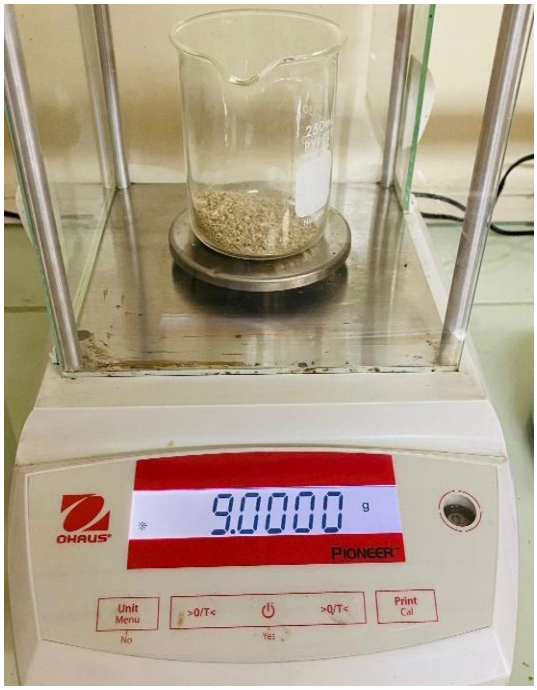
Anexo 23. Análisis de viscosidad.



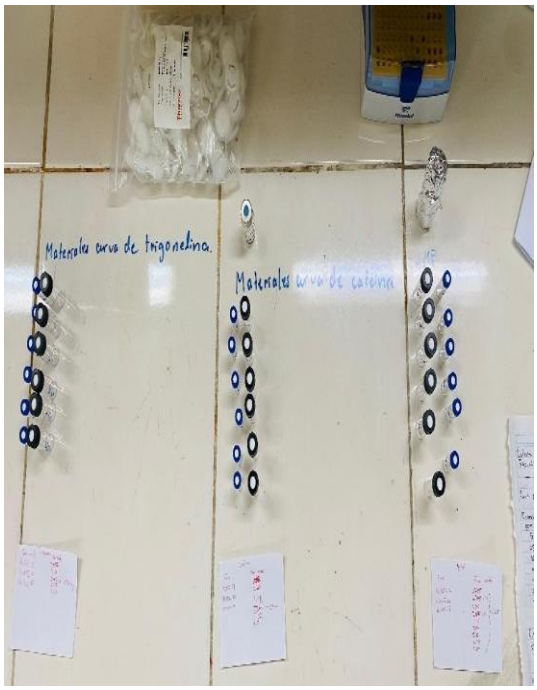
Anexo 24. Equipo de HPLC.



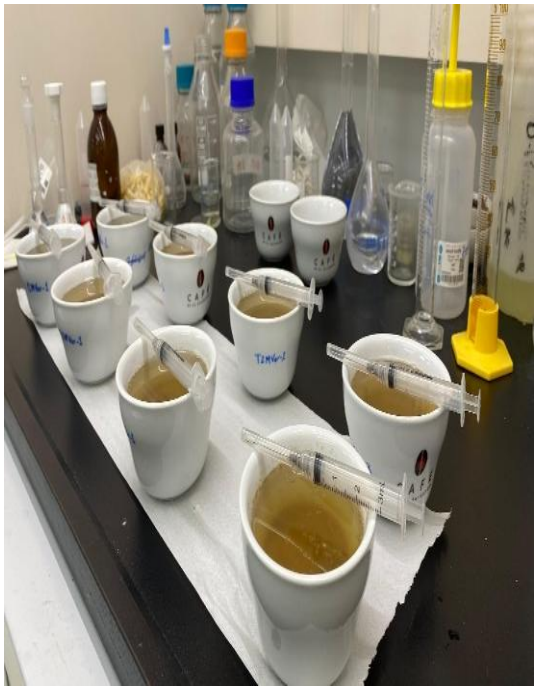
Anexo 25. Molienda de muestras de café verde y tostado.



Anexo 26. Preparación de muestras para infusión.



Anexo 27. Materiales de curva de calibración de metabolitos.



Anexo 28 Preparación de muestras para la determinación de perfil de azucares de café verde.



Anexo 29. Preparación de muestras para cuantificar Trigonelina, Cafeína y HMF.



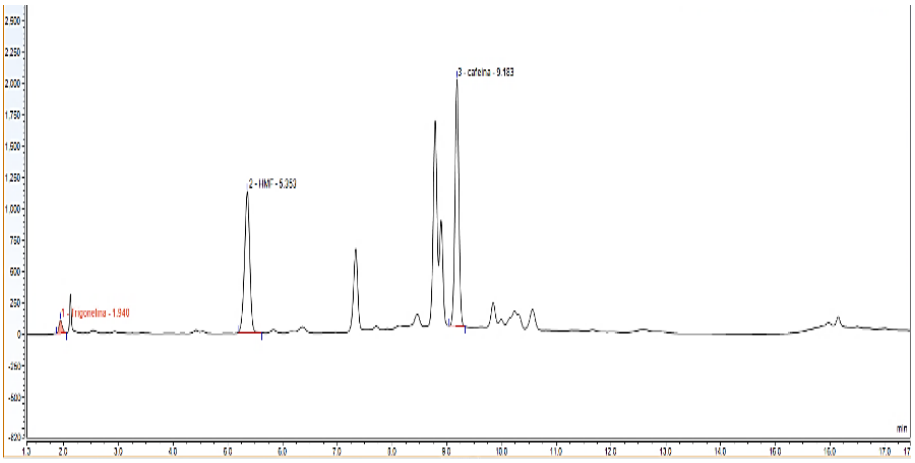
Anexo 30. Filtrado de infusión de muestras café verde.



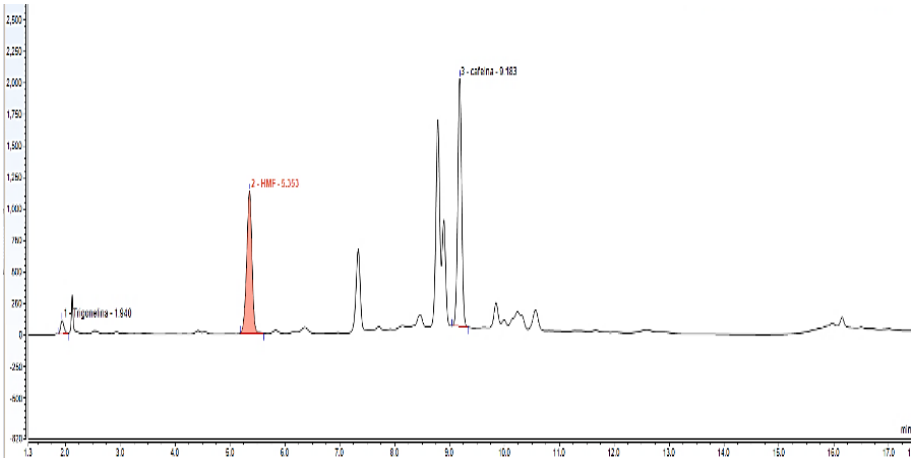
Anexo 31. Filtrado de infusión de muestras café tostado.



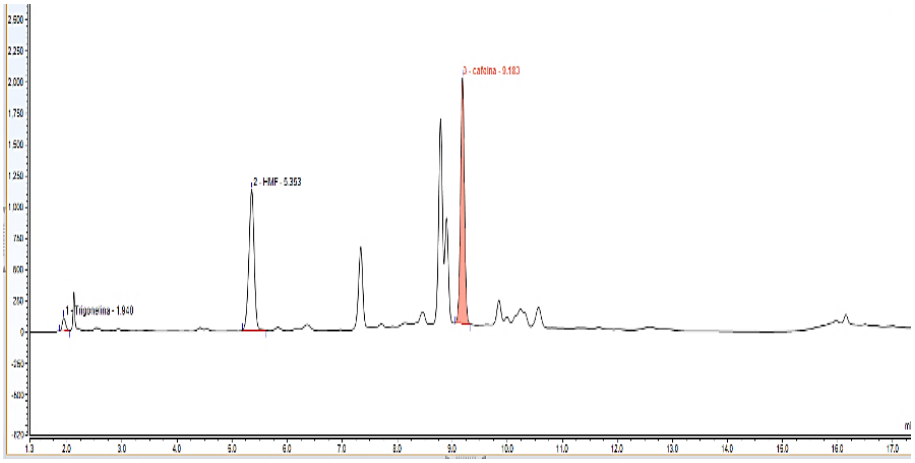
Anexo 32. Preparación de inyecciones para el equipo de HPLC.



Anexo 33. Método HPLC curva de calibración Trigonelina.



Anexo 34. Método HPLC curva de calibración HMF.



Anexo 35. Método HPLC curva de calibración Cafeína.