

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**EVALUCION DEL USO DE ENZIMAS PECTOLÍTICAS SOBRE LA CALIDAD EN
TAZA DE CAFÉ (*Coffea arábica* L.) MEDIANTE NARIZ ELECTRÓNICA**

POR:

ANA ROSY MURILLO ESCOBAR

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

MAYO, 2025

EVALUCION DEL USO DE ENZIMAS PECTOLÍTICAS SOBRE LA CALIDAD EN
TAZA DE CAFÉ (*Coffea arábica* L.) MEDIANTE NARIZ ELECTRÓNICA

POR:

ANAROSY MURILLO ESCOBAR

JHUNIOR ABRAHAM MARCIA FUENTES

ASESOR PRINCIPAL

TESIS

PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO DE PRACTICA PROFECIONAL SUPERVISADA

CATACAMAS

OLANCHO

MAYO 2025

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de sabiduría, fortaleza y guía en cada etapa de este proceso. A Él le agradezco profundamente por iluminar mi camino, sostenerme en los momentos de dificultad y brindarme las capacidades necesarias para culminar este importante logro. A mi familia, pilar fundamental en mi formación y crecimiento personal. A mis padres, Ana Cecilia Escobar y Rodimiro Ismael Murillo por su amor incondicional, su ejemplo de perseverancia y su constante apoyo, sin los cuales este proyecto no habría sido posible. A mis hermanos, Erick y Rodrigo por su compañía, palabras de aliento y por creer en mí en todo momento. A mis amigos, por su comprensión, cercanía y estímulo durante los momentos de desafío. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este trabajo también les pertenece.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por concederme la vida, la salud y la sabiduría necesarias para afrontar cada etapa de este proceso académico. Su guía y fortaleza fueron esenciales para superar los desafíos y culminar con éxito este trabajo.

A mis padres por sus consejos y sacrificios para poder ayudarme en mis estudios y salir adelante.

Mi más sincero agradecimiento a la empresa COCAOL, por su valiosa colaboración y disposición durante el desarrollo de esta investigación. Su apertura y apoyo fueron fundamentales para la recolección de información y la realización del estudio.

Expreso también mi profundo reconocimiento a mis asesores, Ingeniero Jhunion Marcia, Ingeniero Jaime Salgado y MSc. Arelys Betancourt, por su acompañamiento constante, por sus orientaciones académicas y por su compromiso con la calidad de este trabajo. Sus observaciones y sugerencias enriquecieron de manera significativa el desarrollo de esta tesis.

Finalmente, agradezco de corazón a mi pareja Luis Gustavo Murillo Argueta y a mi amigo Jorge Rodríguez por su apoyo emocional, su paciencia y por estar presentes en cada momento importante de este proceso. Su amistad y amor han sido un sostén invaluable a lo largo de este camino.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. REVISION DE LITERATURA.....	3
3.1. Café.....	3
3.2. Historia del café.....	3
Variedad de café (<i>Coffea arábica</i>).....	3
3.3.1 Variedad Lempira.....	4
3.3. Taxonomía del café.....	4
3.4. Composición física y química del café	5
3.4.1. Composición química del café.....	5
3.4.2. Composición física del café	6
3.5. Factores que afectan la calidad del café	6
3.6. Secado del café.....	6
3.7. Enzimas	7
3.7.1. Pepsina	7
3.8. Fermentación	7
3.8.1. Fermentación mediante enzimas	8
3.9. Nariz electrónica.....	8
3.10. Análisis sensorial	9
3.10.1. Análisis sensorial en café	9
3.10.2. Catación de café	9
3.10.3. Catadores de café	9
3.11. Análisis instrumental	11
3.11.1. Análisis sensorial con nariz electrónica	11
IV. MATERIALES Y METODOS.....	12
4.1. Localización de la investigación	12
4.1.1. Materiales y equipo para la investigación	12
4.2. Método.....	13
4.3. Metodología	14

4.4.	Análisis sensorial	16
4.5.	Análisis Físico-Químicos	16
4.5.1.	Medición de pH.....	17
4.5.2.	Medición de viscosidad:.....	17
4.5.3.	Medición de grados Brix:	17
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1.	. Análisis sensorial	18
5.2.	Análisis de Nariz Electrónica	20
5.3.	Análisis de pH.	21
5.4.	Análisis instrumental de grados brix y viscosidad.	23
5.4.1.	Análisis de solidos solubles.....	23
5.4.2.	Análisis de viscosidad.	24
VI.	CONCLUSIONES	25
VII.	RECOMENDACIONES	26
VIII.	BIBLIOGRAFIA	27
IX.	ANEXOS	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del café.	4
Tabla 2. Composición química del café	5
Tabla 3. Criterios de aceptación de participantes en la selección de catadores de café .	10
Tabla 4. Materiales y equipo.	13
Tabla 5. Diseño factorial.	15
Tabla 6. Diseño experimental.....	15
Tabla 7. Escala y descripción de cada categoría de calidad de taza del café	16
Tabla 8. Análisis sensorial mediante catación de café con jueces especializados.....	18
Tabla 9. Tiempo de desorción y absorción para los resultados del análisis de nariz electrónica.....	20
Tabla 10. Medias de Viscosidad por tratamiento.	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Nariz electrónica.....	8
Figura 2. Ubicación COCAOL Fuente: (Google Maps, 2025).....	12
Figura 3. Grafica de puntajes de catación.	19
Figura 4. Gráfico de resultados de nariz electrónica.	20
Figura 5. Gráfico de pH por tratamiento.	22
Figura 6. Grafica °Brix totales	23

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Preparación de muestras para la fermentación.	32
Anexo 2 Preparación de enzima para adición al café.....	32
Anexo 3. Tratamientos fermentación anaeróbica.....	33
Anexo 4. Secado de las muestras.	33
Anexo 5. Trillado de las muestras.	33
Anexo 6. Tostado de las muestras	34
Anexo 7. Preparación de las muestras para la catación.....	34
Anexo 8. Catación.	34
Anexo 9. Análisis de pH de las muestras.	35
Anexo 10. Análisis de Viscosidad.....	35
Anexo 11. Análisis de nariz electrónica.....	35

MURILLO ESCOBAR A. R. (2025) Evaluación del uso de enzimas pectolíticas sobre la calidad en taza del café (*coffea arábica* l.) mediante nariz electrónica. Tesis Tecnología Alimentaria, Facultad De Ciencias Tecnológicas, Universidad Nacional De Agricultura. Catacamas, Olancho, C. A. PP.

RESUMEN

El uso de enzimas pectolíticas, como la pepsina, en la fermentación anaeróbica del café es una alternativa para mejorar la calidad sensorial y controlar la fermentación. En este estudio se evaluaron cuatro tratamientos: tres con diferentes concentraciones de pepsina (T1: baja, T2: media, T3: alta) y un control sin enzimas. Se realizaron análisis fisicoquímicos (pH, grados Brix y viscosidad) y una evaluación sensorial con jueces certificados, siguiendo la escala de la SCA. Los resultados indicaron que el pH final fue ligeramente más bajo en los tratamientos con enzima (T3: 4.92, T2: 4.90) comparado con el control (4.80), mientras que los grados Brix fueron similares en todos los casos. La viscosidad fue mayor en los tratamientos con pepsina (0.003 cP) frente al control (0.001 cP), señalando una fermentación más activa. En la catación, el tratamiento T2 obtuvo la mejor puntuación (85.5), destacando en aroma y acidez, lo que refleja una mejora en la calidad en taza. El análisis con nariz electrónica mostró diferencias en el perfil volátil: el control presentó mayores niveles de ácidos carboxílicos, pirazinas y aldehídos, asociados a notas ácidas y menos agradables. T1 y T2 aumentaron compuestos aromáticos y ésteres, relacionados con aromas frutales y florales. T2 mostró un perfil más equilibrado y complejo, con mayor diversidad de compuestos volátiles deseables. En conclusión, la pepsina, especialmente en concentración media (T2), mejora los parámetros fisicoquímicos y sensoriales del café, siendo una herramienta eficaz para optimizar la fermentación anaeróbica y elevar la calidad en taza.

Palabras clave: Pepsina, Catación, Fermentación, Calidad en taza, Compuestos volátiles

I. INTRODUCCION

El café es hoy en día la bebida de mayor consumo en el mundo, después del agua, aunque presenten grandes diferencias entre los países consumidores; desde hace unos años se viene consolidando el mercado de cafés de alta calidad, especiales y orgánicos, que exigen productos diferenciados (Garzón, Wilmer, & Gutierrez, 2016).

La calidad del café es el resultado de un conjunto de procesos que permiten la expresión, desarrollo y conservación fisicoquímicas propias del café hasta el momento de su transformación y consumo (Vasquez, Vuelta, & Rizo, 2020).

Mediante la tecnología de fermentación controlada del café se pueden producir bebidas con aromas y sabores especiales, dulces, cítricos, frutales y tostados, que agregan valor y consistencia a la calidad del producto (Echeverry & Puerta, 2015).

Un factor crítico es la fermentación natural del mucílago siendo una alternativa el uso de enzimas (Duicela, Gaston, Portillo, & Chilan, 2020). Gracias a la adición de enzimas pectolíticas al proceso, acelera la transformación del mucílago en compuestos solubles, que son eliminados mediante el lavado del café, y adicionalmente, permite controlar el proceso, evitando la aparición de defectos en la calidad del café (Peñuela, Pavon, Rodriguez, & Oliveros, 2010).

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el uso de la enzima pepsina sobre la calidad en taza de café en condiciones anaerobias, a su vez evaluando análisis fisicoquímicos, intención de compra y perfil aromático mediante nariz electrónica con la finalidad de mejorar y modificar los índices de calidad en taza de café.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Evaluar el uso de la enzima pepsina sobre la calidad en taza de café en condiciones anaerobias.

2.2.Objetivos específicos

- Identificar el tratamiento más eficaz de enzimas para controlar el proceso de fermentación en café, con el fin de mejorar su calidad y perfil sensorial.
- Determinar la influencia de la adición de la enzima pepsina en las características sensoriales del café mediante análisis de cata, evaluando atributos como aroma, sabor, cuerpo y acidez.
- Evaluar los cambios en la calidad en taza de café al adicionar los diferentes tratamientos de enzimas y determinar si estos cambios son detectables mediante nariz electrónica.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1.Café

Se denomina café a la bebida preparada por infusión a partir de las semillas del fruto de los cafetos debidamente procesadas y tostadas, las cuales se caracteriza por un agradable aroma y sabor (Gotteland & Pablo, 2007). El cafeto es un arbusto tropical de hojas verdes perteneciente a la familia Rubiáceas y género *Cofea* spp., este comprende muchas especies (Gotteland & Pablo, 2007).

3.2. Historia del café

El primer registro histórico del café se sitúa en la antigua región de Abisinia, actual estado de Etiopía, concretamente en la región de Kaffa, en torno al siglo X (Pedrajas, 2014). sabemos que en la actualidad el café tiene cultivo en muchas partes de las zonas tropicales y subtropicales de África, América y Asia, la historia nos dice que el café empezó a consumirse masticando pero años más tarde se convertía en una bebida gracias a técnicas de maceración con agua fría (Chueca, 2019).

3.3. Variedad de café (*Coffea arábica*)

Es actualmente la especie más producida alrededor del mundo, el *coffea* Arábica es el resultado del cruce natural entre *Coffea Canephora* (Robusta) y *Coffea Eugenoides* hace aproximadamente un millón de años, hasta el día de hoy, nuevas variedades de Arábica silvestre siguen siendo descubiertas. Arábica tiene un total de 44 cromosomas, crece en altas altitudes y se auto poliniza (Rodríguez, y otros, 2020)

3.3.1 Variedad Lempira

La variedad Lempira es una de las que tiene mayor productividad en Honduras y tiene unas características muy particulares en taza, recalcando que esta variedad proviene del cruce original entre una planta de Caturra, susceptible a la roya, y el híbrido de Timor con resistencia a la enfermedad, realizado en el Centro de Investigación de la Roya del Cafeto (CIFC) en Oeiras, Portugal (Vilma & Rengifo, 2022)

3.4. Taxonomía del café

Según Herrera (2013), indican que la taxonomía del café (*Coffea arábica*) está compuesto de la siguiente forma mostrado en la tabla 1.

Tabla 1. Taxonomía del café

Nombre Científico	<i>Coffea</i>
Nombre Común	Café
Clasificación	Reino Plantae
Tipo	Espermatofitas
Sub-tipo	Angiospermas
Clase	Dicotyledóneas
Sub-clase	Gamopétalas inferiorvariadas
Orden	Rubiales Familia Rubiáceas
Género	<i>Coffea</i>
Subgénero	Eucoffea
Especies	<i>arábica, canephora, liberica</i>

Fuente: (Herrera, 2013).

3.5. Composición física y química del café

3.5.1. Composición química del café

El café, químicamente se compone de agua y materia seca (Díaz & Perdomo, 2015). 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, 2013).

Tabla 2. Composición química del café

Componente químico	Arábica (%)	Robusta (%)
Polisacáridos	50.8	56.40
Sacarosa	8.00	4.00
Azúcares reductores	0.10	0.40
Proteínas	9.80	9.50
Aminoácidos	0.50	0.80
Cafeína	1.20	2.20
Trigonelina	1.00	0.70
Lípidos	16.20	10.00
Ácidos alifáticos	1.10	1.20
Ácidos clorogénicos	6.90	10.40
Minerales	4.20	4.40
Compuestos aromáticos	Trazas	Trazas

Fuente: (Puerta, 2013).

3.5.2. Composición física del café

La caracterización fisicoquímica de las muestras comprendió la determinación de una serie de parámetros como son la humedad, la actividad de agua, el pH, la acidez titulable, el color, los azúcares solubles, la proteína y los lípidos, todas las determinaciones se llevaron a cabo tanto para las muestras de café de higo como para las muestras comerciales (Molinas, 2019).

3.6. Factores que afectan la calidad del café

La calidad del café se determina por el conjunto de características químicas, microbiológicas, físicas y organolépticas, que motivan a un comprador a pagar un precio mayor por el producto, lo que representa un mejor ingreso y mayor rentabilidad para el caficultor, por lo tanto para la evaluación de la calidad de un producto se requiere del conocimiento de las propiedades y cualidades que permiten clasificarlo dentro de los valores de calidad, así como aquello que constituye un defecto o una característica no aceptable para el consumo (Pabon & Osorio, 2019).

3.7. Secado del café

El secado natural consiste en secar el café en patios o mantas bajo la luz directa del sol. Este método permite que el café pierda su humedad en alrededor de seis a siete días, es un método muy popular ya que además de mantener la calidad de grano es rápido y económico, el café se extiende en el patio sin ser amontonado más de 5 cm y es movido constantemente para asegurar el secado uniforme (Diaz & Pardo, 2014).

3.8.Enzimas

Las enzimas son proteínas, polímeros formados por aminoácidos covalentemente unidos entre sí, que catalizan en los organismos una gran variedad de reacciones químicas (Ramirez & Ayala, 2014). También son el grupo más variado y especializado de las proteínas, su función es actuar como catalizadores, permitiendo que las reacciones que transcurren en los seres vivos puedan desarrollarse a un ritmo adecuado (Perez & Arboleda, 2018).

3.8.1. Pepsina

La pepsina es una proteasa aspártica, considerada como la principal enzima digestiva en el estómago de los animales la cual se secreta como pepsinógeno (PG) en las células principales de las glándulas gástricas, para posteriormente convertirse en pepsina, su descubrimiento remonta en 1836, siendo la primera enzima animal (Muñoz, 2022).

3.9. Fermentación

La fermentación, puede ser considerada como una de las etapas determinantes sobre la calidad del grano ya que, generalmente ocurren varias reacciones bioquímicas; básicamente, las levaduras y las bacterias presentes en el mucílago mediante sus enzimas naturales oxidan parcialmente los azúcares, producen energía (ATP) (Cordoba & Gerrero, 2016).

3.9.1. Fermentación mediante enzimas

La adición de enzimas pectolíticas al proceso de fermentación, acelera la transformación del mucílago en compuestos solubles, que son eliminados mediante el lavado del café, y adicionalmente, permite controlar el proceso, permitiendo que perdure la calidad del café evitando la aparición de defectos, atribuibles a la prolongación excesiva del proceso de fermentación o a la remoción incompleta del mucílago (Peñuela et al., 2010).

3.10. Nariz electrónica

La nariz electrónica es un instrumento de medida no invasivo que ofrece la ventaja de realizar un análisis y control sobre el estado actual de los alimentos, sin destruir el producto final, tiene la capacidad analítica que permite, en poco tiempo, detectar, comparar y clasificar los compuestos orgánicos volátiles de los alimentos, responsables de su olor y aroma, permitiendo la aplicación de esta tecnología en el control de la calidad alimentaria (Acevedo, Ordoñez, & Guerrero, 2014).



Figura 1. Nariz electrónica

Fuente: Propia.

3.11. Análisis sensorial

El análisis sensorial es el examen de las propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos humanos (Garcia, 2014). Resulta ser una herramienta importante para medir el grado de aceptabilidad en los consumidores de un producto alimenticio (Peña et al., 2021).

3.11.1. Análisis sensorial en café

El análisis sensorial de café es hasta ahora el método más eficiente para evaluar la calidad del café tales como características de color, aspecto, olor y sabor de los alimentos estimulan la visión, el olfato, el tacto y el gusto, produciendo estímulos que van al cerebro, donde ocurre la percepción o correlación de impresiones sensoriales, convirtiéndose en un juicio por medio del cual se determina si un producto es aceptado o rechazado (Pabon & Osorio, 2019).

3.11.2. Catación de café

La catación es el método usado para conocer el aroma, el sabor y la sanidad del café, este análisis también se llama evaluación sensorial de la calidad del café y prueba de taza, por medio de esta técnica se pueden identificar los defectos presentes en la bebida de café, medir la intensidad de una característica sensorial como la acidez y el dulzor, y de igual forma, calificar el sabor, el aroma y la calidad global del producto (Quintero, 2009).

3.11.3. Catadores de café

Los catadores son las 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. Estas personas se conocen como panelistas, degustadores y jueces analíticos (Soto & Caballero, 2021).

Tabla 3. Criterios de aceptación de participantes en la selección de catadores de café (SCA)

Tipo de prueba	Número de pruebas	Calificación por prueba	Variable	Estimación	Límite de aceptación mínimo %
Asociación de olores	1	0 a 21	No. de aciertos en asociaciones de olor	(Suma de aciertos en asociaciones de olores *100)/ No. total de olores de prueba	60
Identificación de olores	8	0 a 21	No. de aciertos de olores identificados en cada prueba	(Suma de aciertos de olores identificados en cada prueba * 100)/ (No. de olores de prueba* No. de pruebas)	70
Identificación de los sabores básicos	60	0 a 5	No. de aciertos de identificación de los cuatro sabores básicos en cada prueba	(Suma de aciertos de identificación de los cuatro sabores básicos en cada prueba*100)/ (No. de pruebas*4)	70
	60	0 o 1	No. de aciertos de sabor ácido	(Suma de aciertos del sabor ácido) * 100/ No. de pruebas	75
	60	0 o 1	No. de aciertos de sabor amargo	(Suma de aciertos del sabor amargo)*100/No. de pruebas	75
	60	0 o 100	Promedio ponderado del porcentaje de aciertos de los sabores básicos	$(0,35 * \text{No. aciertos del sabor ácido} + 0,4 * \text{No. aciertos del sabor amargo} + 0,15 * \text{No. aciertos del sabor dulce} + 0,1 * \text{No. aciertos del sabor salado}) / \text{No. pruebas de sabores básicos}$	71.25
Diferenciación triangular de café	30	0 o 1	No. de aciertos muestra diferente	(Suma de aciertos acumulado*100)/ No. de pruebas triangulares	70

Fuente: (Quintero, 2009).

3.12. Análisis instrumental

El análisis instrumental de los alimentos tiene como finalidad explicar los principios y aplicaciones de los métodos ópticos, cromatográficos y potenciométricos más empleados en la evaluación de la calidad fisicoquímica de los alimentos (Zumbado, 2021).

3.12.1. Análisis sensorial con nariz electrónica

La nariz electrónica se define como un instrumento dotado de sensores químicos y de un programa químico métrico de reconocimiento de modelos, que es capaz de reconocer y comparar olores individuales o complejos, al igual que el sistema olfativo humano, su objetivo es relacionar el aroma que se percibe con una respuesta que, tras ser almacenada en la memoria, servirá como modelo en ulteriores análisis (Busto, 2002).

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. Localización de la investigación

La investigación se realizó en la empresa COCAOL, donde se procedió la recolección y preparación de las muestras., está ubicada en Santa María del Real, Olancho, está a una altura de 329 metros sobre el nivel del mar. La temperatura actual es de 33°C con una sensación térmica de 33°C.

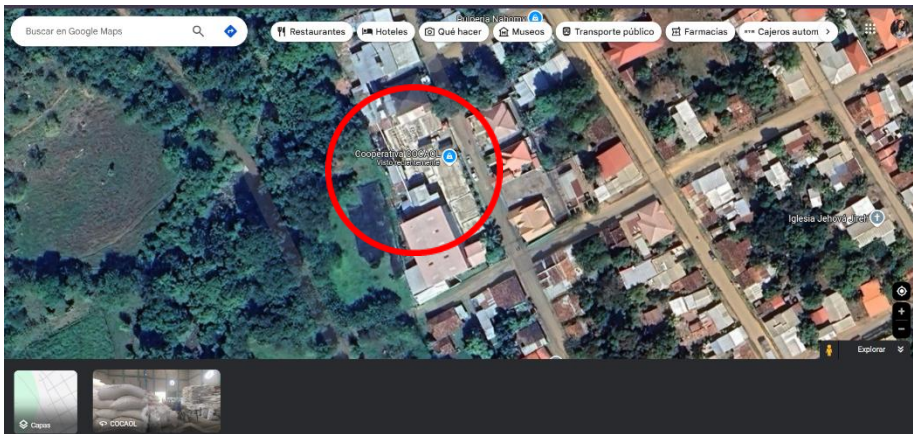


Figura 2. Ubicación COCAOL

Fuente: (Google Maps, 2025)

4.2. Materiales y equipo para la investigación

Durante el desarrollo de la investigación se utilizaron distintos materiales y equipos los cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 4. Materiales y equipo.

Equipos/Materiales	Cantidad	Descripción
Baldes	12	Balde plástico blanco de 5 galones.
Balanza digital	1	Kitchen Scale capacidad (1000 g)
Peachimetro	1	Bocco (California, Estados unidos) con escala de 0 a 14 pH.
Termómetro	1	Escala de temperatura de 0 a 100 °C
Balanza bascula digital	1	Hausebles industrial capacidad (275 kg)
Enzima	35	Pepsina (Onzas)
Agua destilada	5	Galón
Nariz electrónica	1	Bajo patente de Universidad Extremadura España.
Viscosímetro de Brookfield	1	NDJ
Refractómetro	1	Aichose-Refractómetro con 0-80% Brix

Fuente: Propia.

4.3. Método

La presente investigación se llevará a cabo bajo el método descriptivo-cuantitativo de orden transversal a escala de laboratorio.

4.4. Metodología

Para el desarrollo de la investigación se implementarán tres fases las cuales se describen a continuación:

Fase 1. Caracterización de las materias primas

Se realizaron visitas a la empresa COCAOL para tener conocimiento del control y manejo de esta variedad de café en la que se trabajó, esta como fuente de estudio para la investigación.

Se tomaron muestra del café de la variedad Lempira de la zona de Guanaja Talgua Catacamas, Olancho con una altura de 1500 sobre el nivel del mar. Las cuáles fueron clasificados con pruebas de densidad eliminando el grano vano, proceso que se realizó de forma manual.

Asimismo, se aplicó un proceso de fermentación anaerobia aplicado los diferentes tratamientos que puede duraran entre 6, 15 y 24 horas lo que facilitara la fermentación del grano lo cual influirá en los aspectos organolépticos como olor, sabor y aroma del café (Quintero & Molina, Fermentacion controlada de cafe: Tecnologia para agregar valor a la calidad, 2015)

Fase 2 Diseño de formulaciones

En la tabla 5 se evaluarán distintos tratamientos en la fermentación, a través de un diseño factorial de 4x3 cuatro tratamientos por tres repeticiones dando un total de 12 unidades experimentales

Tabla 5. Diseño factorial.

Tratamiento	Concentración de pepsina	Cantidad de enzima en gramos	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
T1	0.5%	6 g	T1 R1	T1 R2	T1 R3
T2	1.0%	15 g	T2 R1	T2 R2	T2 R3
T3	2.0%	25g	T3 R1	T3 R2	T3 R3
T4 (control)	0%	0 g	T4 R1	T4 R2	T4 R3

Fuente: Propia.

Tabla 6. Diseño experimental

Variedad	<i>Cofea Arábica</i>	Especie	Lempira
Tipo de enzima			
Tipo de fermentación	Pepsina en g por tratamiento		
Anaeróbica	6	15	25 0

Fuente: Propia

Fase 3 Evaluación de calidad en taza

Se realizarán dos tipos de análisis uno de ellos será de análisis instrumental esto a partir de nariz electrónica que ofrecerá un análisis preciso y objetivo de los atributos del café, como aroma, sabor, acidez, cuerpo, uniformidad y dulzor y así poder contrastar sus resultados con análisis sensorial con catadores de café (Fajardo & Sanz, 2003).

Los catadores de café serán designados por COCAOL, que cuenta con jueces especializados en el área para realizar los análisis organolépticos. Estos jueces efectuarán un análisis sensorial con el objetivo de evaluar la calidad del café en taza y al obtener los resultados por parte de los jueces se hará una comparación con el análisis instrumental mediante nariz electrónica.

Tabla 7. Escala y descripción de cada categoría de calidad de taza del café

Puntaje total	Descripción de la Especialidad	Clasificación
90-100	Extraordinario	
85-89.99	Excelente	Especial
80-84.99	Muy bueno	
<80	Menor calidad que especial	No especial

Fuente: (Reyes, 2018).

4.5. Análisis sensorial

Se realizó mediante cata profesional siguiendo el protocolo de la Specialty Coffee Association (SCA). Se evaluaron atributos como fragancia, base, acidez, cuerpo, sabor y posgusto, utilizando una escala estandarizada. La cata fue realizada por un panel de catadores previamente entrenados y los resultados fueron registrados en fichas técnicas individuales para cada tratamiento.

4.6. Análisis Físico-Químicos

Se realizaron análisis fisicoquímicos para evaluar los cambios en las propiedades del café en distintas etapas del tratamiento. Entre estos análisis se incluyeron la medición de pH, viscosidad y grados Brix, los cuales permitieron monitorear los efectos de la adición de enzimas sobre el comportamiento del sistema fermentativo.

4.6.1. Medición de pH.

El pH se midió utilizando un peachimetro digital debidamente calibrado con soluciones buffer estándar (pH 4.0 y pH 7.0) se tenían 3 unidades experimentales por cada tratamiento y se tomó una unidad de cada tratamiento al azar para realizar la medición del pH.

4.6.2. Medición de viscosidad:

La viscosidad fue determinada mediante un viscosímetro de tipo Brookfield a una temperatura constante de 25 °C, utilizando un rotor apropiado según la consistencia de la muestra, se tenían 3 unidades experimentales por cada tratamiento y se tomó una unidad de cada tratamiento al azar para realizar la medición de viscosidad.

4.6.3. Medición de grados Brix:

Los grados Brix se midieron con un refractómetro digital, previamente calibrado con agua destilada. Se tomó una muestra de cada tratamiento y se colocó directamente sobre el sensor del refractómetro. Este análisis permitió cuantificar los azúcares solubles presentes, los cuales disminuyen durante la fermentación debido al metabolismo microbiano, y tienen un rol importante en la generación de compuestos volátiles que influyen en el perfil sensorial final del café.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.. Análisis sensorial

La tabla 8, muestra los resultados de la catación por jueces especializados, correspondiente a los tratamientos con distintas concentraciones de enzima y tiempo de fermentación.

Tabla 8. Análisis sensorial mediante catación de café con jueces especializados

Tratamiento	Fragancia	Base	Acidez	Cuerpo	Posgusto	Puntaje Total
<i>T1</i>	Caramelo	Chocolate dulce	Media	Suave	Amargo desagradable	81
<i>T2</i>	Floral	Fruta madura	Cítrica intensa	Redondo	Agradable prolongado	85.5
<i>T3</i>	Chocolate dulce	Chocolate agrio	Cítrica	Suave	Desagradable	78
<i>T4(Control)</i>	Chocolate dulce	Dulce	medio	Suave	Corto agradable	80

Fuente: Propia.

Mediante la catación con jueces especializados se evaluaron atributos como fragancia, base, acidez, cuerpo, posgusto y puntaje total. El tratamiento T2, con notad florales y frutales, destaco por su acidez citrica, cuerpo redondo y un posgusto agradable, obteniendo la mayor puntuación (85.5) el cual lo clasifica como un café especial. En contraste, el tratamiento T3 mostro una calidad sensorial inferior, con un posgusto desagradable y menor calidad, reflejando un puntaje bajo en relación con el tratamiento de control de (78).

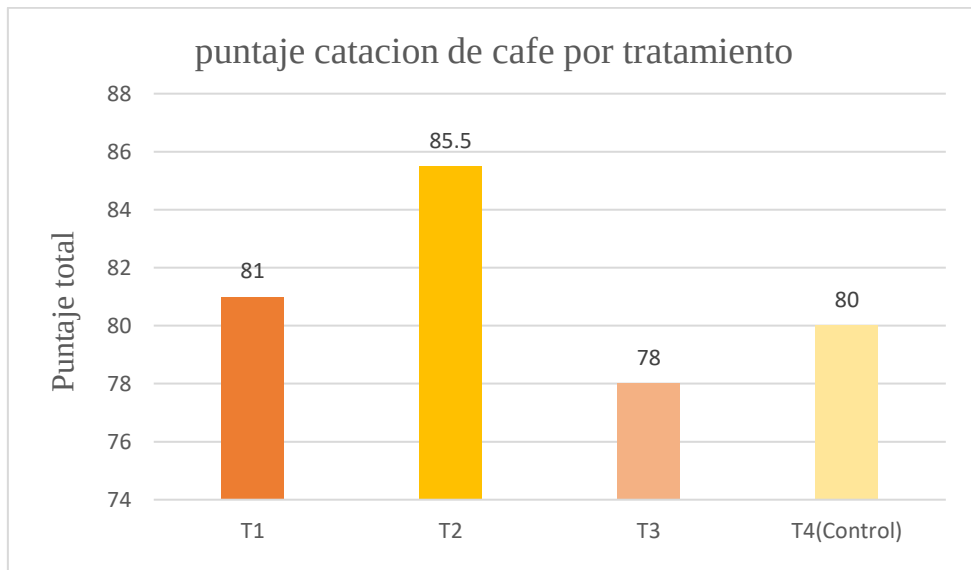


Figura 3. Grafica de puntajes de catación.

Según (Pintado & Vega, 2019), se demostró que la incorporación de materiales como zumo y cáscara de naranja durante la fermentación puede incrementar la calidad en taza hasta en 2 puntos respecto a la muestra control, evidenciando que ciertas modificaciones en el proceso de beneficio pueden mejorar significativamente los atributos sensoriales del café, como se observa en el caso de T2 en la figura 3. Esto sugiere que T2 podría haber recibido un tratamiento especial que favoreció el desarrollo de mejores características organolépticas.

5.2. Análisis de Nariz Electrónica

Tabla 9. Tiempo de desorción y absorción para los resultados del análisis de nariz electrónica

	Td	TA
1	2:44	2:45
2	2:45	2:46
3	2:46	2:46
4	2:47	2:47
5	2:47	2:48
6	2:48	2:48
7	2:49	2:49
8	2:49	2:50
9	2:50	2:50
10	2:51	2:51

Se utilizó la nariz electrónica para evaluar la presencia relativa de diferentes compuestos volátiles en tres tratamientos los cuales fueron los que se modificaron de manera positiva haciendo una comparación con el tratamiento de control: **Control**, **T1** y **T2**. En la Figura 4 se presenta un gráfico de barras comparativo que muestra la intensidad relativa de cada grupo químico detectado.

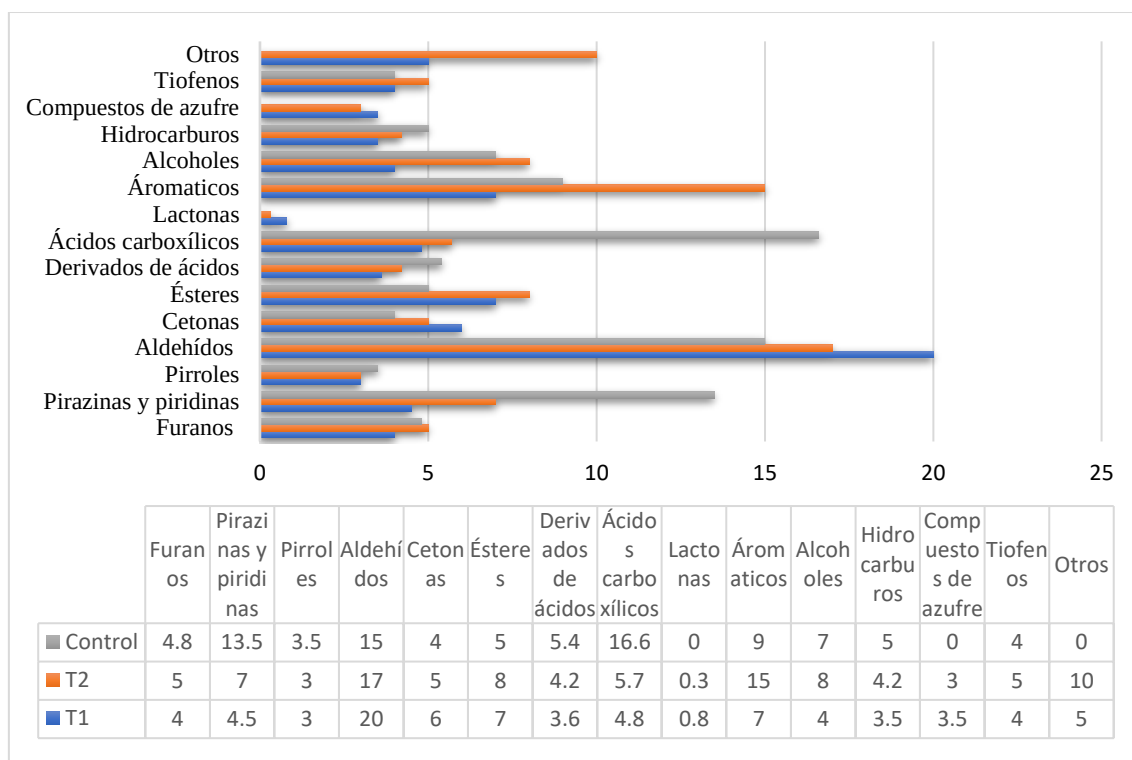


Figura 4. Gráfico de resultados de nariz electrónica.

Distribución química de compuestos volátiles en cada tratamiento



El análisis de nariz electrónica reveló diferencias notables en el perfil volátil entre los tratamientos. El Control presentó mayores concentraciones de ácidos carboxílicos, pirazinas y aldehídos, asociados a notas más ácidas o menos agradables. En contraste, T1 y T2 mostraron un incremento en compuestos aromáticos y ésteres, relacionados con aromas más agradables, frutales o florales. T1 destacó por su alto contenido de aldehídos, mientras que T2 mostró un perfil más equilibrado y complejo, con una mayor diversidad de compuestos volátiles deseables. Estos resultados sugieren que ambos tratamientos modificaron positivamente el perfil aromático, siendo T2 el más prometedor en términos sensoriales.

La manipulación del proceso de beneficio (como la fermentación controlada o la adición de ciertos materiales) puede modificar favorablemente el perfil volátil del café, incrementando los compuestos asociados a aromas agradables y reduciendo los que aportan notas negativas. T2, con su perfil más equilibrado y complejo, se perfila como el tratamiento más prometedor, alineándose con los hallazgos de (Montoya G. , 2021) sobre la importancia de los ésteres y compuestos aromáticos en la calidad sensorial del café.

5.3. Análisis de pH.

Tras el proceso de fermentación, se observó una tendencia descendente en los valores de pH, lo que indica un aumento en la acidez de la masa. Este comportamiento podría estar relacionado con la presencia de enzimas, específicamente la pepsina, que puede inducir reacciones capaces de liberar ácidos o modificar directamente el pH del medio (Giacalone et al., 2023) Cabe destacar que el análisis del pH se realizó una vez finalizado el proceso de fermentación.

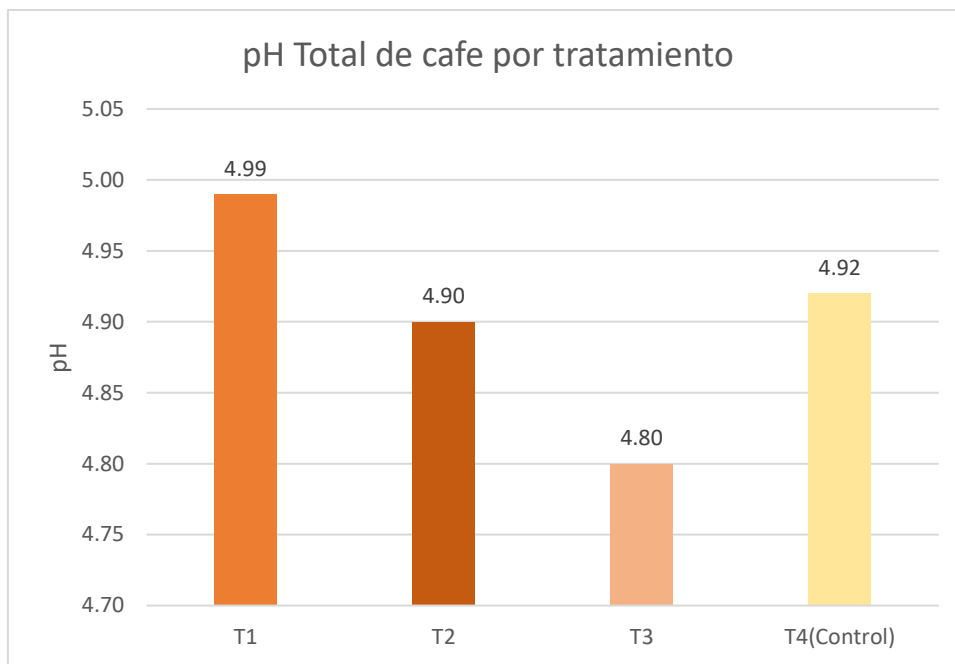


Figura 5. Gráfico de pH por tratamiento.

La adición adecuada de enzimas influye notablemente en el pH del café, al igual que el tiempo de fermentación, siendo ambos factores determinantes para lograr un equilibrio óptimo en sus características. En los tratamientos con enzimas, se observó una ligera disminución en los valores de pH en comparación con el control. Por ejemplo, el tratamiento T1 presentó un pH de 4.99, mientras que T2 y T3 mostraron valores más bajos, de 4.9 y 4.8 respectivamente. En contraste, el tratamiento control (T4) registró un pH de 4.92. Estos resultados sugieren que la acción enzimática, junto con el tiempo de fermentación, puede modificar la acidez del café, afectando su perfil sensorial final.

Según (Montoya, 2021) reporta que los tratamientos con fermentación más prolongada o con adición de frutas tienden a disminuir el pH, generando una acidez más marcada en la taza. Por otro lado, los tratamientos con fermentación controlada o tiempos más cortos mantienen un pH más alto, lo que resulta en una acidez más suave y mejor aceptación sensorial.

5.4. Análisis instrumental de grados brix y viscosidad.

5.4.1. Análisis de sólidos solubles

La figura 5 muestra que los grados Brix se mantuvieron constantes en 1° en todos los tratamientos (T1, T2, T3 y T4 - control), lo que indica que no hubo variación en el contenido de sólidos solubles en el café. Esto sugiere que los tratamientos aplicados no tuvieron un efecto significativo sobre este parámetro, posiblemente debido a condiciones uniformes o a la baja sensibilidad del °Brix frente a los cambios generados por dichos tratamientos.

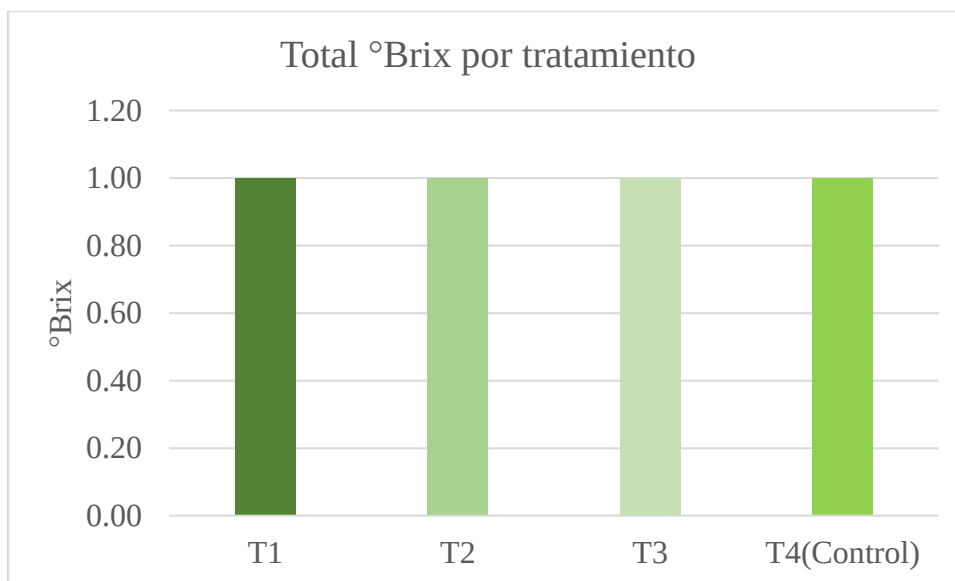


Figura 6. Grafica °Brix totales

Según (Gualavisi & Jaramillo, 2018) los valores de grados Brix se mantuvieron en un rango similar al reportado aquí (alrededor de 1° a 2° Brix), independientemente del proceso de fermentación o secado. Esta similitud en los resultados sugiere que, en el contexto de los parámetros evaluados en ambos estudios, los grados Brix pueden ser un indicador robusto que no se altera fácilmente por variaciones en el procesamiento o las condiciones de tratamiento, al menos no en la magnitud necesaria para ser detectado por este método.

5.4.2. Análisis de viscosidad.

En la tabla 10 se muestra que los tratamientos con pepsina fueron menores (T1 y T3), con un valor de 0.04 cP, 0.02cP, en comparación con el tratamiento control (T4 y T2), que presentó una viscosidad de 0.001 cP. Esta disminución sugiere que la pepsina favoreció una mayor actividad fermentativa en el café, esto debido al facilitar la descomposición de compuestos complejos, lo que reduce la densidad del líquido. A diferencia del control, al no contener pepsina, mostró una menor fermentación, reflejada en su mayor viscosidad. Estos resultados indican que la aplicación de pepsina influye directamente en el proceso de fermentación del café.

Tabla 10. Medias de Viscosidad por tratamiento.

Tratamiento	Viscosidad
T1	1.74 ± 0.02 cP
T2	1.73 ± 0.01 cP
T3	1.71 ± 0.04 cP
T4(Control)	1.24 ±0.01 cP

T1	6 g pepsina
T2	15 g pepsina
T3	25 g pepsina
T4	0g (control)

la pepsina tiene un rol significativo en la modificación de la matriz del café. Según (Valero et al., 2007) Aunque la comparación directa con estudios de viscosidad en café fermentado con pepsina es limitada, la analogía con la acción de otras proteasas en sistemas biológicos complejos como las frutas en fermentación, valida la dirección de los hallazgos. La alteración en la viscosidad es un indicador de un proceso de fermentación más eficiente, lo que podría tener implicaciones positivas en la extracción de sabores y aromas deseables en el producto final.

VI. CONCLUSIONES

- El tratamiento T2 resultó ser el más eficaz para optimizar la fermentación del café y mejorar su calidad sensorial. Su éxito se atribuye a la combinación precisa de enzimas y el tiempo de fermentación, logrando un café con un perfil superior.
- La evaluación del uso de la enzima pepsina en condiciones anaerobias demostró que su aplicación puede influir positivamente en la calidad en taza del café. Se identificó que el tratamiento enzimático adecuado permite un mejor control del proceso de fermentación, optimizando la liberación de compuestos que contribuyen al perfil sensorial del café.
- Los tratamientos con pepsina, generaron cambios detectables en la calidad en taza, los cuales fueron corroborados tanto por paneles de catadores como por análisis con nariz electrónica. Esto confirma que los efectos de la pepsina no solo son percibidos sensorialmente, sino que también pueden ser objetivamente medidos con tecnología instrumental.

VII. RECOMENDACIONES

- Promover el seguimiento de esta investigación aplicando una sola cantidad de enzima en diferentes horarios de fermentación.
- Realizar una comparación con otro tipo de enzima pectolítica, con el mismo tratamiento de adición de enzimas y tiempo de fermentación.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, M., Ordoñez, M., & Guerrero, E. (2014). Nariz electrónica para determinar el índice de madurez del tomate de árbol (*Cyphomandra Betacea* Sendt). *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 351-362.
- Busto, O. (2002). La nariz electrónica: una nueva herramienta para analizar el aroma. *Acenologia revista de enologia científica y profesional* .
- Chueca, R. (2019). *El criollo* . Obtenido de <https://cafeselcriollo.com/articulos/origen-del-cafe-en-el-mundo/>
- Cordoba, N., & Gerrero, J. (2016). Caracterizacion de los procesos tradicionales de fermentacion de café en el departamento de Nariño. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 75-83.
- Diaz, A., & Perdomo, A. (2015). *Caracterización físico-química y sensorial de dos variedades de café (Coffea arabica) del occidente de Honduras*. Honduras : Zamorano .
- Diaz, J., & Pardo, J. (2014). *Publicación: Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café lempira*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Duicela, A., Gaston, R., Portillo, E., & Chilan, W. (2020). Influencia de la enzima pectina-transeliminasa en los tiempos de fermentación y en la calidad organoléptica del café robusta. *Agronomía de la Universidad de Zulia*, 29-50.
- Echeverry, J., & Puerta, G. (2015). Fermentacion controlada de cafe: Tecnologia para agregar valor a la calidad. *Cenicafe*, 454.
- Fajardo, I., & Sanz, J. (2003). Evaluación de la calidad física del café en los procesos de beneficio humedo tradicional y ecológico(Becolsub). *Cenicafe*, 286-296.
- Garcia, M. (2014). Analisis sensorial de alimentos . *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, Vol. 2 Núm. 3.

- Garzón, L., Wilmer, C.-M. T., & Gutierrez, G. N. (2016). Calidad en taza de café (*Coffea arabica* L.) procesado en fermentación semiseca. *Agronomía Colombiana* .
- Gotteland, M., & Pablo, S. d. (2007). Algunas variedades sobre el café. *Revista Chilena De Nutrición* , 105-115.
- 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 Bolívar*. Puyo, Ecuador: Universidad Estatal Amazónica.
- Herrera, J. C. (2013). Taxonomía y clasificación del café. *Cenicafe*.
- J Giacalone, D., Steen, I., Duelund, L., MÜnchow, M., & Posmorse, M. (2023). Acidez en el café preparado: Composición química y umbral sensorial. *Food Science*, Volumen 6.
- Molinas, M. d. (2019). *Caracterización físicoquímica del café obtenido a partir de higo (Ficus Caria). Fibra alimentaria y antioxidante*. Universitat De Illes Balears.
- Montoya. (2021). *Efecto de diferentes tratamientos de fermentación en el pH y la calidad sensorial del café*. Universidad Nacional De Colombia.
- Montoya, G. (2021). *Impacto de la fermentación controlada en la cañidad sensorial y volátil del café*. Universidad Nacional de Colombia .
- Muñoz, J. (2022). *Digestión con Pepsina* . México : Universidad Autónoma de Puebla.
- Pabon, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café. *Cenicafe* , 162-187.
- Pabon, J., & Osorio, V. (2019). Factores e indicadores de la calidad física, sensorial y química del café . *Cenicafe*.
- Pedrajas, R. (2014). El mundo del café. En R. Pedrajas, *El mundo del café* (pág. 351). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones.
- Peña, M., Peña, S., & García, J. (2021). Análisis Sensorial como una Herramienta Clave para Innovar en la Industria Vinícola. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 33(1),12.

- Peñuela, E., Pavon, J., Rodriguez, N., & Oliveros, C. (2010). Evaluacion de una enzima pectinolítica para el desmucilaginado del cafe. *Cenicafe*, 61 (3):241-250.
- Perez, M., & Arboleda, I. (2018). *Aporte en el enfoque fisioterapéutico-estético para el manejo de la cicatrización de tejido tegumentario*. Fundación Universitaria María Cano.
- Pintado, M., & Vega, V. (2019). *Calidad en taza de cafe (Coffea Arabica L.) catimor con zumo y cascara de naranja incorporado en el proceso de fermentacion*. Peru: Universidad nacional de JAÉN.
- Puerta, G. (2013). Composicion quimica de una taza de café. *Cenicafe*, 414.
- Quintero, G. (2009). Los catadores de café. *Cenicafe*, 381.
- Quintero, G., & Molina, G. (2015). Fermentacion controlada de cafe: Tecnologia para agregar valor a la calidad. *Cenicafe*, 120-178.
- Ramirez, J., & Ayala, M. (2014). Que son y para que funcionan. *Revista digital universitaria UNAM*, 12-15.
- Rodríguez, J., Scotto, F., Cianferoni, A., Loor, A., Benalcázar, H., Lanchi, E., & López, A. (2020). Diferencia entre especies de café. *Manual básico del catador de café*, volumen 5.
- Soto, E., & Caballero, L. (2021). Evaluación de la calidad de café en taza de una muestra comercial de la region frente a una muestra comercial de alta calidad tipo exportación. *Limentech: Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 17-31.
- Valero, E., Perez, R., & Castro, A. (2007). Effect of enzymatic treatment on the fermentation of green Spanish-style table olives. *Food Chemistry*, 103(1), 108-115.
- Vasquez, Y., Vuelta, D., & Rizo, M. (2020). Estudio sobre calidad de cafe (Coffea arabica) en la localidad de Filé, municipio tercer fuente, Santiago de Cuba, Cuba. *CIGET*.
- Vilma, C., & Rengifo, J. (16 de Marzo de 2022). *PERFECT DAILY GRIND*. Obtenido de <http://perfectdailygrind.com/es/2022/03/16/lo-que-debes-conocer-sobre-cafe-lempira/>

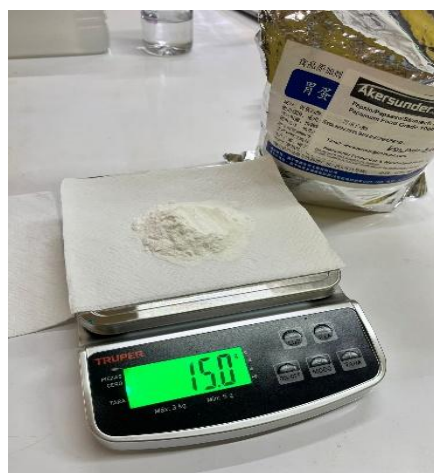
Zumbado, H. (2021). *Analisis in strumental de los alimentos*. Cuba : Editorial Universitaria. Ministerio de Educación Superior.

ANEXOS

IX. ANEXOS



Anexo 1 Preparación de muestras para la fermentación.



Anexo 2 Preparación de enzima para adición al café.



Anexo 3. Tratamientos fermentación anaeróbica



Anexo 4. Secado de las muestras.



Anexo 5. Trillado de las muestras.



Anexo 6. Tostado de las muestras



Anexo 7. Preparación de las muestras para la catación



Anexo 8. Catación.



Anexo 9. Análisis de pH de las muestras.



Anexo 10. Análisis de Viscosidad.



Anexo 11. Análisis de nariz electrónica.