



**Fermentación de Coffea arábica en Cafés Especiales:
Estado del conocimiento científico publicado en línea de tiempo 2019-2023**

DEYA ESTER SAMBONI MARTINEZ

Ingeniera de Alimentos

Asesora

Seneida Lopera-Cardona

Profesora Investigadora MSc- Dra. Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias

Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias

Especialización en Café

Andes, Antioquia, Colombia

2023

Dedicatoria

Al todo poderoso por iluminarme: con su sapiencia infinita.

A La Universidad de Antioquia que nos proporcionó la oportunidad de adquirir formación teórica y práctica para llevar a cabo esta monografía.

A Seneida Lopera-Cardona, Profesora Investigadora MSc- Dra. Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias del trabajo de grado por su valiosa orientación y dedicación.

A Los docentes de la Especialización de Café por su permanente apoyo y visión positiva de la Monografía.

A Nuestros familiares por su apoyo incondicional

Y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a que esta especialización tuviera feliz término.

A mis compañeros por su apoyo mutuo por compartir conmigo esta etapa tan importante de nuestras vidas.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis hijos y a mi familia por su constante apoyo, paciencia y amor incondicional durante todo este proceso. Sin su respaldo y comprensión, no habría sido posible llevar a cabo esta monografía.

A mi directora Seneida Lopera-Cardona, Profesora Investigadora MSc- Dra. Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias, por su sabiduría, paciencia y compromiso en guiarme en este camino académico.

Con el logro al ser Especialista en café podré orientar a otras comunidades para que puedan sacar adelante sus emprendimientos con este valioso producto.

Gracias a la Universidad de Antioquia por brindarme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y crecer como persona y profesional.

Tabla de Contenido

Resumen.....	9
Abstract.....	11
Introducción	13
1.Planteamiento del problema	18
2.Justificación.....	19
3.Objetivos	22
3.1 Objetivo general	22
3.2 Objetivos específicos	22
4. Hipótesis	23
5. Marco teórico	24
5.1 El origen botánico del café.....	24
5.2 Bioprocesos en el café.....	29
5.3. Variables del café que pueden y deben controlarse para producir café de calidad:	30
5.4 Tipos de Fermentación.....	33
5.5 Rutas fermentativas.....	40
6. Metodología	43
7. Resultados	44
8. Discusión.....	74

9. Conclusiones	76
10. Recomendaciones	78
Bibliografía	79
Anexos	83

Lista de Tablas

Tabla 1: Tipos diferentes de fermentación: microorganismos fermentadores y los productos resultantes	43.
Tabla 2: Publicaciones relacionadas a la fermentación del café del año 2019-2023.....	45
Tabla3: Regiones que cultivan café. Procesos de fermentación nuevos e innovadores	49
Tabla 4. Método de procesamiento poscosecha grano Catuaí Rojo	59
Tabla 5. Método de procesamiento poscosecha grano Heirloom	60
Tabla 6. Método de procesamiento poscosecha grano Red Bourbon	61
Tabla 7. Método de procesamiento poscosecha grano Red Bourbon	61
Tabla 8. Actividad antioxidante de cafés especiales	63
Tabla 9. Compuestos bioactivos de cafés especiales	66
Tabla 10. Métodos de procesamiento poscosecha café Catuaí Amarelo	69
Tabla 11. Resultados parámetros físico químicos de procesamientos poscosecha café Catuaí Amarelo	70
Tabla 12. Azúcares resultantes del procesamiento poscosecha café Catuaí Amarelo	70
Tabla 13. Resultados de análisis sensorial de acuerdo a la metodología SCA	71

Tabla de Figuras

Figura 1: Fruto del café: viaje de la semilla a su recolección	25
Figura 2: Fruto del café: viaje de la semilla a su recolección	26
Figura 3: Tanques de fermentación	39
Figura 4. Estructura química del ácido clorogénico, Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante.....	32
Figura 5. Estructura química de la cafeína, Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante	52
Figura 6. Estructura química del ácido gálico, Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante.....	53
Figura 7: Compilación de Publicaciones relacionadas a la fermentación del café del año 2019 al 2023	53
Figura 8: Operación de despulpado y muestreo del café baba.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 9: Lavado discontinuo del café fermentado en la obtención del café lavado	73
Figura 10: Proceso de pre secado y secado del café (beneficio seco)	38
Figura 11: Beneficio seco en la obtención del grano de café oro verde	39
Figura 12: Proceso café lavados en la Finca cuatro Esquinas.....	40
Figura 13 Frutos maduros finca cuatro esquinas.....	83
Figura 14 Cultivos	83
Figura 15 De la tierra a tu casa.....	84
Figura 16 Café tostado.....	84
Figura 17 Preparando café	85

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
Cms.	Centímetros
ERIC	Education Resources Information Center
Esp.	Especialista
MP	Magistrado Ponente
MSc	Magister Scientiae
Párr.	Párrafo
PhD	Philosophiae Doctor
PBQ-SF	Personality Belief Questionnaire Short Form
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

El éxito en los mercados internacionales de la industria de los denominados cafés especiales, incluyendo el rápido aumento del número de pequeños-medianos tostadores de café de alta calidad y la aparición de "boutiques" de café, pone de manifiesto que existen consumidores capaces de apreciar y distinguir el café de calidad y además están dispuestos a pagar por él (Oberthuer et al., 2011). Colombia se caracteriza fundamentalmente por sus variedades de café procedentes de la especie *Coffea arábica*, obtenidos mediante el denominado procesado "húmedo" del café, que consiste en el despulpado, la licuefacción del mucílago por fermentación microbiana y su posterior retirada mediante el lavado con agua. Este método permite la obtención de los cafés verdes con mejor calidad aromática (Gonzalez-Rios et al., 2007) que en el mercado alcanzarán mayor precio, siendo estos la base para la obtención de los denominados cafés especiales.

El artículo "Café del Cauca es el éxito en los mercados internacionales de los cafés especiales" destaca la creciente demanda en los mercados internacionales. Estos cafés de alta calidad están siendo producidos por un creciente número de pequeños y medianos tostadores, así como por "boutiques" de café. Esto sugiere que existe un grupo de consumidores dispuestos a apreciar y pagar por café de alta calidad (Correa Hernando, Eva Cristina (evacristina.correa@upm.es) <https://orcid.org/0000-0002-4508-5066>)

Lo anterior, refleja que Colombia se destaca en este contexto por sus variedades de café de la especie *Coffea arábica*, que son procesos lavados utilizando el método "húmedo". Este método implica el despulpado, la fermentación para eliminar el mucílago y posteriormente el lavado con agua, se extiende en los parabólicos utilizando los rayos del sol para eliminar el contenido de agua para ser comercializado.

Lo expuesto anteriormente, permite tener unos precedentes teóricos que dan las bases a la presente monografía, en la cual se pretende analizar y comparar los diversos métodos de la fermentación de cafés especiales a nivel regional, y concretamente contextualizado en la finca Cuatro Esquinas del Municipio de Sotará, en la cual se venían aplicando técnicas tradicionales de fermentación del café. Se procedió a realizar una prueba utilizando las prácticas tradicionales de fermentación (suaves

lavados), obteniéndose un café de buena calidad en lo sensorial, con aromas suaves con poca acidez.

En segunda instancia se procedió elaborar el proceso de fermentación tipo Honey con variedades rojo y amarillo, y honey negro.

Se realizó las degustaciones y obteniéndose como resultados que con la fermentación tradicional se obtenía un café suave de poca acidez y poco aroma; en la degustación con honey en sus dos presentaciones se tenía un café afrutado, achocolatado, con cuerpo y acentuación acertada denotándose en ésta última una mejor disposición hacia el consumo y perspectiva de mercadeo.

Abstract

The success of the so-called specialty coffee industry in international markets, including the rapid increase in the number of small-medium high-quality coffee roasters and the emergence of coffee "boutiques", shows that there are consumers capable of appreciating, and distinguish quality coffee and are also willing to pay for it (Oberthuer et al., 2011). Colombia is mainly characterized by its coffee varieties from the *Coffea* species. Arabica, obtained through the so-called "wet" processing of coffee, which consists of pulping, liquefaction of the mucilage by microbial fermentation and its subsequent removal by washing with water. This method allows obtaining green coffees with the best aromatic quality (Gonzalez-Rios et al., 2007) that will fetch a higher price in the market, these being the basis for obtaining the so-called special coffees.

The article "Café del Cauca is the success in international markets for specialty coffees" highlights the growing demand in international markets. These high-quality coffees are being produced by a growing number of small and medium-sized roasters, as well as coffee "boutiques." This suggests that there is a group of consumers willing to appreciate and pay for high quality coffee (Correa Hernando, Eva Cristina (evacristina.correa@upm.es) <https://orcid.org/0000-0002-4508-5066>)

The above reflects that Colombia stands out in this context for its coffee varieties of the Arabica species, which are washed processes using the "wet" method. This method involves pulping, fermentation to remove the mucilage and then washing with water, spreading on parabolic dishes using the sun's rays to eliminate the water content.

to be marketed.

The above provides theoretical precedents that provide the basis for this monograph, in which the aim is to analyze and compare the various methods of fermentation of special coffees at a regional level, and specifically contextualized in the Cuatro Esquinas farm in the Municipality of Sotará, in which traditional coffee fermentation techniques had been applied. A test was carried out using traditional fermentation practices (gentle washings), obtaining a coffee of good sensory quality, with soft aromas and low acidity.

Honey -type fermentation process was carried out with red and yellow varieties, and black honey. Tastings were carried out and the results obtained were that with traditional fermentation a soft coffee with low acidity and little aroma was obtained; In the tasting with honey in its two presentations there was a fruity, chocolatey coffee, with body and citrate accentuation, denoting in the latter a better disposition towards consumption and marketing perspective.

Introducción

El café colombiano proviene casi exclusivamente de cultivares de *Coffea arábica*, este tipo de café predomina principalmente en regiones tropicales, ya que requiere de condiciones específicas para su producción, como temperaturas templadas entre los 12 y 23 grados centígrados, precipitaciones atmosféricas cercanas a los 2.000 milímetros anuales distribuidos al año, cierta altitud entre 1.200 y 1.800 sobre el nivel del mar (Federación Nacional de Cafeteros, s.f) es por estas razones que Colombia se convierte en uno de los países idóneos para la producción de esta materia prima. Económicamente hablando, este grano ha abierto las puertas a la industrialización y al comercio mundial, proporcionando millones de empleos y convirtiéndose en una fuente de divisa en el país (Prado, 2020)

Desde hace mucho tiempo, se ha mantenido un modelo de negocio donde la cantidad prima más que la calidad, partiendo de esta premisa, existen cafés comerciales y cafés especiales, su diferencia inicia desde el proceso de recolección de cerezas. En los cafés comerciales se recolectan todo tipo de cerezas, amarillas, verdes, rojas e incluso negras, sin que importe mucho su fase de maduración. Por el contrario, para los cafés especiales se recolectan cerezas en óptimos estados de maduración, y pasando por puntos de control adicionales para deshacerse de cualquier grano defectuoso según el criterio de la SCAA (Specialty Coffee Association of América por sus siglas en inglés) (Velásquez, 2016). Los procesos pos cosecha posteriores también son un factor importante en la producción de cafés especiales.

En los últimos años el café especial ha tenido un alza de consumo en el mercado global. Un porcentaje representativo de la población en el mundo que consume café es vigilante estricta de su calidad de taza (León & Palacio, 2019) Este tipo de crecimientos generalmente ocurre en mercados más establecidos como el mercado europeo, estadounidense, australiano y el de Asia Oriental. A pesar de que Colombia produce un grano de café cultivado en condiciones geográficas y climáticas ideales, y además de eso es conocido en el mercado mundial, alrededor del 90% de las exportaciones de café de Colombia son de grano básico (Forman, 2023). Dado que, en última instancia el café especial le permite al consumidor, tener la posibilidad de acceder a una bebida llena de atributos que lo hacen diferenciarse de los cafés comerciales y por lo cual, el cliente está

dispuesto a pagar un mayor precio, es por esta razón que el mercado de cafés especiales enmarca una alternativa beneficiosa, tanto para el caficultor, como para el exportador y el comercializador.

En cuanto a procesos pos cosecha, hace algunos años se ha despertado gran interés en países productores sobre la fermentación del grano, dado que éste proceso influye en una serie de cambios químicos esenciales para el desarrollo del perfil sensorial en la taza final del café, lo que ha llevado a investigadores alrededor del mundo a estudiar factores y métodos específicos que intervienen en procesos de fermentación controlada para la producción de cafés especiales de *coffea arábica*, ya que tienen un proceso estandarizado de producción caracterizado por la calidad y la singularidad del origen, desde los criterios de selección de las plantaciones, hasta la preparación (Varady, Francov, Kloucek, & Cenicienta, 2022)

Los estudios no simplemente se limitan a investigar detalladamente el proceso fermentativo, sino también la compleja composición del aroma volátil y los constituyentes no volátiles presentes en la materia prima, como el azúcar, los aminoácidos y los lípidos, donde estos precursores de aroma sufren modificaciones adicionales en los pasos de procesamiento pos cosecha (Pereira, Junior, Zulma, Medeiros, & Soccol, 2018) Además de los compuestos bioactivos, los compuestos volátiles juegan un papel importante en la bebida final y pueden verse influenciados por la forma en la que se procesan los granos (Varady, Adela, Pavel, & Cenicienta, 2022).

Durante el proceso de pos cosecha, la fermentación ocurre espontáneamente por microorganismos epífitos que procesan el mucílago del café. La producción de metabolitos microbianos puede llegar al interior de la semilla, dando lugar a beneficios o efectos nocivos sobre la calidad de los granos de café (Jiménez, y otros, 2022). Nuevos métodos de procesamientos innovadores, especialmente la fermentación anaeróbica o la maceración carbónica, que cambian rápidamente el fruto del café y dan como resultado un sabor significativamente diferente al de los métodos de fermentación tradicionales, también pueden afectar el contenido de compuestos bioactivos y las actividades antioxidantes en los cafés especiales (Varady, Adela, Pavel, & Cenicienta, 2022). El uso de cultivos iniciadores (principalmente cepas de levaduras) ha surgido como una opción prometedora para mejorar la calidad y mejorar el perfil sensorial del café. El método SIAF consiste en la producción gradual de CO₂ impulsada por el metabolismo microbiano, mejorando el rendimiento fermentativo de las bacterias ácido lácticas y levaduras, aumentando la

producción de metabolitos (ácidos orgánicos, alcoholes y compuestas y compuestos volátiles) que intensifican los aromas y sabores deseados en el café (Jiménez, y otros, 2022)

Atendiendo el hecho de que en muchas fincas colombianas productoras de café el proceso pos cosecha de café se hace con métodos tradicionales poco estandarizados, que pueden generar un riesgo mayor de generar efectos nocivos en el grano de café ocasionando pérdidas económicas al productor, dichos efectos se traducen en una menor calidad o perfil sensorial de la taza final del café dado que las condiciones de procesamiento y fermentación del fruto del café afectan el perfil microbiano y la puntuación sensorial de las bebidas, y entendiendo que factores como el origen geográfico, el clima, las especies, los métodos de recolección, procesamiento y almacenamiento influyen en la calidad final del producto. El objetivo de esta revisión es examinar los beneficios y los efectos indeseables que la implementación de métodos innovadores en el procesamiento de pos cosecha le brindan al grano de café arábica en relación a compuestos orgánicos y metabolitos derivados de microbios generados durante la eliminación de la capa de mucílago de la fruta en la fermentación, que constituyen el perfil sensorial y la calidad del café, para que de esta forma el productor de café se pueda encontrar con herramientas de conocimiento útiles que le permitan incrementar la calidad de su producto

Un café especial se clasifica como tal cuando obtiene una puntuación superior a 80 puntos en la escala de 100 puntos de la Speciality Coffee Association, ésta medición califica ciertos parámetros de calidad (Velásquez, 2016), los cuales serán criterios de referencia para determinar el resultado de un proceso de pos cosecha implementando diferentes técnicas de procesamiento en las revisiones de las investigaciones centradas en fermentación, que abordaremos a lo largo de este trabajo, por tal razón es importante tener en cuenta algunos conceptos como “cuerpo” que se refiere a la textura del café en la boca. La diferencia entre “fragancia” y “aroma”, donde el primer concepto hace referencia al olor que desprende el café molido, y el segundo concepto que se refiere al olor del café inficionado en agua; cuando se habla de “acidez” se refiere al sabor del café tras el primer sorbo, y el “postgusto” como el sabor que deja el café tras degustarlo. Por lo tanto, cuando se habla de “sabor” tenemos en cuenta el aroma, la acidez y el postgusto, finalmente el término “equilibrio” toma en cuenta la unión de sabor, acidez, postgusto y cuerpo. Además de todos estos conceptos que involucran la participación del sentido del gusto, es importante tener en cuenta el

concepto de “taza limpia” que hace referencia a que no aparecen aspectos negativos en ningún momento de la degustación del café (Café la Bastilla, s.f)

El fruto del cafeto se compone en su parte más externa de una piel la cual en un inicio es de color verde y que dependiendo de su genotipo puede tornarse de una coloración roja a roja anaranjada cuando madura (exocarpio), una pulpa carnosa de color blanco amarillento, fibrosa y dulce, rica en carbohidratos como glucosa, fructosa y pectina, también rica en proteínas, grasas, minerales lipídicos y cantidades considerables de taninos, poli fenoles y cafeína (meso carpa), además de una capa de pergamino liso, compuesta por a-celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas (endocarpo) y una piel plateada predominantemente compuesta por polisacáridos, especialmente celulosa y hemicelulosas, además de monosacáridos, proteínas, poli fenoles y otros compuestos menores (tegumento) que rodearán a la semillas que contienen al endospermo y a los embriones. (Pereira, Junior, Zulma, Medeiros, & Soccol, 2018)

En los procesos de pos cosecha, las últimas tres capas ricas en azúcares (mesocarpio, endocarpio y tegumento) son muy importantes en el proceso de fermentación, después de que las capas externas (la piel y la pulpa) son eliminadas. Posterior al despulpado los granos de café pueden someterse a métodos tradicionales para la descomposición y eliminación del mucílago, como los métodos: natural, lavado y semilavado. Independientemente del método utilizado, los azúcares presentes en el mucílago permitirán el crecimiento de microorganismos, especialmente de levaduras y bacterias del ácido láctico (Pereira, Junior, Zulma, Medeiros, & Soccol, 2018) El crecimiento microbiano genera una variedad de metabolitos finales que pueden difundirse en la semilla y tener un impacto en la calidad final del café.

Además de la utilización de métodos tradicionales para la fermentación del mucílago, en los últimos años se han realizado investigaciones a partir de métodos alternativos de fermentación con la capacidad de potenciar beneficios funcionales del café, y con el objetivo de desarrollar cafés pro bióticos y sensorialmente atractivos. Métodos como la fermentación anaeróbica o la maceración carbónica o método SIAF acompañado del uso de biorreactores, que cambian rápidamente el fruto del café y dan como resultado un sabor significativamente diferente, también pueden afectar el contenido de compuestos bioactivos y las actividades antioxidantes de los cafés especiales (Batista, Batista, Ribeiro, & Schwan, 2022)

La fermentación es la conversión de azúcares y compuestos pépticos por levaduras, bacterias y enzimas en productos como alcoholes y ácidos orgánicos. Una fermentación descontrolada genera problemas de grano, y sabores avinagrados, por lo tanto, esta operación unitaria es de suma importancia para lograr niveles de taza de alta calidad (Elhalis, H. et al., 2023).

La calidad de la bebida es consecuencia de muchas variables como el suelo la madurez del grano, la variedad del café, la altura. Los atributos organolépticos más relevantes en la bebida del café son la acidez, el sabor y el aroma. En sí las características de la bebida está influenciada por la matriz de estas variables, incluyendo, además, de las mencionadas los procesos de tostón y preparación de la bebida final, altitud de la plantación y fermentación (Santos et. Al. 2019; Silva et al. 2022).

A diferencia de ésta los procesos de fermentación tradicionales se han empezado a realizar procesos con metodologías de control dando avances en el conocimiento a nivel microbiológico, tecnológico y de manejo de las diferentes operaciones del beneficio; ha sido estudiada como la diversidad microbiana puede afectar positivamente la calificación del café (Cruz-O'Byrne et al., 2021). han sido utilizados cultivos iniciadores como por ejemplo *Cultures* (*Meyerozyma caribbica* (CCMA 0198), *Saccharomyces cerevisiae* (CCMA 0543), *Candida parapsilosis* (CCMA0544), and *Torulasporea delbrueckii* (CCMA 0684) encontrando variación en las percepciones de atributos como sabor a frutas, nuez, cocoa por la variedad del café, tipo de procesamiento, y tipo de inóculo (Pereira Bressania et al. 2020) y han sido realizados estudios con biorreactores los cuales han sido equipados con controladores de temperatura, humedad relativa, indicadores de PH entre otros.

Las publicaciones científicas relacionadas, están en permanente actividad, de aquí la importancia de hacer una revisión, como propósito de la monografía propuesta *Fermentación de Coffea arábica en Cafés Especiales: Estado del conocimiento científico publicado en línea de tiempo 2019-2023*

1. Planteamiento del problema

Constituyéndose en una problemática central y eje de la presente investigación: el proceso de fermentación tradicional del café, descontrolada y sin trazabilidad, se delimita este fenómeno en el siguiente cuestionamiento:

¿Porque la fermentación del café requiere conocimiento científico?

Las fermentaciones tradicionales son procesos descontrolados en cuanto al manejo de microorganismos y técnicas que determinen la finalización del mismo. Generalmente están definidas por el tiempo que ha decidido de forma empírica los productores sin tener en cuenta parámetros medibles como acidez, temperatura, porcentajes de mucilago. La variabilidad en la tasa de café entendida como la variación en la calificación por panelistas experimentados está estrechamente relacionada con la operación de fermentación. El mercado cambiante de los consumidores de la bebida del café obliga a revisar los procesos necesarios para estar acordes a sus exigencias, así por ejemplo determinar las variables específicas a controlar como la fermentación para obtener un café de alta calidad. El estudio está enfocado en documentar los avances e investigaciones de los procesos de fermentación que han buscado mejorar características organolépticas de calidad y o calificación por parte de panelistas entrenados o medidas instrumentales aceptadas por las diferentes organizaciones pertinentes al tema de la calidad del café.

A continuación, son presentadas preguntas orientadoras que pretenden brindar apoyo o luces a la formulación inicial del problema:

¿Con el desarrollo del estado del arte sobre procesos de fermentación de café (Coffee arábica) será posible dar a conocer o contextualizar los avances en la línea de tiempo 2019 a 2023 para presentar una perspectiva de investigación y nuevas propuestas de negocio y mejoras en cuanto a la calidad del grano para su consumo?

¿Con relación a los procesos tradicionales de fermentación habrá un avance significativo en ellos que haya permitido lograr mejorar la calidad del Café?

2. Justificación

Antecedentes

Grande es la pléyade de sabios que se han dedicado a la fermentación alcohólica: Gay-Lussac, Pasteur, Harden y Young, Lebedeff, Fernbach Neuberg, Kluyver, Meyerhof y otros; en cambio muy pocos nombres se encuentran en la literatura relacionada con el estudio del "beneficiado del café". Aquí deben mencionarse en primer término Perrier, LilienfeldToal y Case. Es bastante fácil encontrar una explicación adecuada para este fenómeno. Los estudios de la fermentación alcohólica nunca han tenido fronteras geográficas; en cambio, los trabajos sobre el beneficiado del café han podido verificarse con éxito sólo en las regiones donde se cultiva el vegetal en cuestión, situadas todas dentro de la zona tropical o sub-tropical, y por regla general alejadas de instituciones dedicadas a la investigación. Sólo en los últimos años se han creado estaciones experimentales consagradas al estudio del café, en Brasil, Colombia, Kenya algunos países centroamericanos, y a la luz de los trabajos verificados en sus laboratorios, se empieza a vislumbrar el mecanismo complejo de las transformaciones a las cuales se sujeta el café durante el "Beneficiado Húmedo".

No cabe duda que todavía falta mucho que aprender; que todos los trabajos efectuados hasta la fecha deben considerarse incompletos, y que la mayor parte de las deducciones no pasan de ser hipótesis de trabajo, que podrán servir de base a investigaciones futuras.

La historia de la fermentación del café se remontan en siglos atrás en las Regiones de África Oriental y más tarde en la Península Arábiga, aquí una breve descripción de eventos relevantes que han surgido desde hace mucho tiempo en la historia del café; se dice que fue originario de la Región de Etiopía donde las leyendas cuentan que un pastor llamado Kaldi observó que sus cabras se volvían más enérgicas después de comer los frutos de un arbusto, Kaldi compartió su descubrimiento con los monjes locales, quienes comenzaron a utilizar los granos de café para preparar una bebida estimulante. En los Monasterios Etíopes, los granos de café se utilizaron inicialmente para preparar una bebida que ayudaba a mantener a los monjes despiertos durante largas horas de la oración, y fue así como el conocimiento del café se extendió gradualmente a otras regiones de África y el mundo islámico. En la Península Arábiga, los granos de café se

tostaron por primera vez para preparar la bebida que es la que conocemos en nuestra actualidad. El café de Constantinopla y Europa hoy Estambul siglo XV los cafés se convirtieron en lugares populares para socializar, para dialogar temas de trabajo o negocios y beber el café, La bebida finalmente llegó a Europa a través de Venecia en el siglo XVII, donde se abrieron las primeras cafeterías en Ciudades como Paris y Londres.

Referenciando toda esta trayectoria las etapas y la historia del café, la fermentación era una parte integral del proceso de preparación; por lo cual los granos de café se recolectaban, se extraía la pulpa (mucílago) que los rodeaba y luego se fermentaban durante un periodo de tiempo específico antes de lavarlos y secarlos al sol. Con el transcurso del tiempo, la fermentación del café evolucionó y se adoptó a diferentes regiones como en Colombia las condiciones, siguen siendo importante en muchas regiones cafetaleras, el cual la fermentación continúa siendo un aspecto crucial en la creación de los perfiles de sabor únicos de diferentes variedades de café en todo el mundo.

En la actualidad, la fermentación del café está experimentando un auge en popularidad. Los consumidores están cada vez más interesados en probar nuevos sabores y experiencias sensoriales en su taza de café. Como resultado, los cafés fermentados se están volviendo más comunes en cafeterías y tiendas especializadas. Además, los productores están explorando nuevas formas de innovar en la fermentación, utilizando diferentes tipos de barriles de maduración, experimentando con levaduras salvajes y buscando formas de controlar y reproducir perfiles de sabor específicos de manera consistente. Copyright 2019 Amauta State - All Rights Reserved.

Atendiendo al hecho de la nueva tendencia hacia el consumo de cafés especiales respecto a cafés comerciales en las dinámicas de mercado, aspectos como el placer sensorial, además de los ambientales e incluso los sociales toman relevancia en dicha tendencia, desplazando la razón meramente estimulante que el café brinda (Arias, Ruíz, & Londoño, 2018) Entre las razones mencionadas anteriormente, además de Estados Unidos y países europeos, el aumento del consumo de café en grandes naciones como China e India, sobre todo por la generación de clase media de los millenials en estos países, que se inclinan por el café de especialidad. Sumado a esto, el incremento de consumo de café especial en países emergentes ha aportado al crecimiento del sector en los últimos años (Guerrero, Gonzáles Natalia, & Lindy., 2022) A Pesar de esto, el 90% del volumen de las exportaciones de café colombiano, son de tipo básico o comercial, por lo que

es necesario evaluar la oferta nacional para tomar un posicionamiento dentro de este mercado de alto valor (Arias, Ruíz, & Londoño, 2018)

En un mercado en evolución, que demanda productos exóticos y diferenciados, Colombia debería ampliar su portafolio de productos, produciendo cafés exóticos, llamativos y diferenciados, de tal manera que empiece a recuperar el terreno perdido en los cafés de alto valor según datos de la FNC. Por tal motivo, para que el crecimiento del mercado mundial de cafés de especialidad aumente significativamente se requiere que más agricultores produzcan café de mayor calidad.

Por las razones expuestas anteriormente y ante la problemática de una pérdida de posicionamiento del café especial colombiano en el mercado mundial, esta revisión pretende ser una herramienta útil de investigación a partir de datos recolectados de múltiples artículos con bases científicas sobre las innovaciones recientes que el productor puede implementar en sus procesos pos cosecha además de los métodos tradicionales que muchas veces suelen ser poco estandarizados.

Actualmente el mercado busca perfilar cafés que se diferencien en cuanto a notas, intensidad, cuerpo, textura y sabor, por lo cual los investigadores han realizado estudios concernientes a evaluar los efectos que tienen las diferentes variables en la calificación final, estudios como esterilización del grano y utilización de cultivos iniciadores (starter) (Magalhães et al. (2021), uso de reactores y tecnologías de control; de tal manera que identificar los avances en la materia permitirán tener un panorama de las posibilidades que se generen con los descubrimientos y mejoras del proceso del café. De igual manera los estudios permiten ajustar los procesos tradicionales, los cuales también deben ser valorados pues han generado una cultura alrededor de la de la calidad del café, pero esta puede cambiar y mejorar con los cambios de preferencias de los consumidores y lo deseos de ellos en las características que generan en la tasa final.

Este trabajo de monografía es importante porque puede permitir visualizar los avances que han conllevado a mejorar los procesos del beneficio del café, como observar mejoras en la reducción de tiempos de operación y proceso, mejoramiento de la rentabilidad o reducción de costos, mejor utilización del agua, u operaciones amigables con el medio ambiente y desarrollos o avances para perfilar tazas con alta calidad.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar en forma teórica y sistemática los estudios reportados sobre procesos de fermentación para la obtención de cafés especiales, en la ventana de tiempo 2019-2023

3.2 Objetivos específicos

3.2.1 Documentar el estudio de la fermentación del café para la obtención de cafés especiales en el periodo 2019 a 2023.

3.2.2 Identificar los procesos de fermentación tradicionales y nuevos existentes para la obtención de cafés especiales.

4. Hipótesis

La fermentación del café es un proceso complejo que involucra varios factores, como la calidad del sustrato, la madurez y la sanidad del fruto, la temperatura ambiente, la higiene de las instalaciones, el tiempo y el sistema de fermentación que se requiere un control riguroso en los procesos de la fermentación, a continuación, se presentan algunas hipótesis con respecto a la fermentación con cafés especiales. Una de ellas sería la calidad del sustrato en la que es un factor crítico en el proceso de fermentación del café, en la que se esperan que los granos despulpados de alta calidad produzcan bebidas de café con aromas y sabores de buena calidad. Otra de ellas sería la temperatura ambiente que es un factor importante en el proceso de fermentación del café. Se espera que las temperaturas más bajas aproximadas entre los 15°C produzcan cafés con sabores especiales y delicados, mientras que en temperaturas altas entre los 18 y los 26°C y si los tiempos de fermentación son prolongados pueden generar defectos en la calidad como son sabores agrios y avinagrados.

Otra hipótesis es relacionada con el tiempo de la fermentación que sería un factor crítico en el proceso de la fermentación, en la que se puede deducir que si utilizamos tiempos de fermentación controlados produzcan bebidas de café con aromas y sabores de buena calidad.

5. Marco teórico

5.1. El origen botánico del café

La planta de café silvestre (*Coffea arábica*) es una planta autóctona de Etiopía, donde fue descubierta alrededor del año 850 d.C. La historia del café Robusta es más reciente. Aparentemente, la primera transferencia y cultivo de plantas tuvo lugar alrededor de 1870 en la cuenca del Congo (Herrera et al., 2017).

El árbol de café

Es un arbusto perenne, con producción de semillas en bayas las cuales poseen cascara, piel, mucilago, pergamino y piel plateada antes de llegar a la semilla (Elhalis et al., 2023). Abarca cerca de 100 especies de las cuales se cultivan dos en particular, *Coffea arábica* y *Coffea canephora*. Su cultivo esta dado particularmente en países no arios, en zonas de trópico (International Coffee Organization 2014). Colombia cultiva exclusivamente cafés Arábica (*Coffea arábica*), una actividad que garantiza ingresos para más de medio millón de pequeñas fincas familiares (<3 ha). Hace cincuenta años, se inició el programa *100% Café de Colombia*, primero como un esfuerzo para aumentar la calidad de la producción mediante la adopción de prácticas agrícolas adecuadas, y segundo para promover su imagen en el extranjero (Arana et al., 2015).

Recolectar los frutos de café en su estado óptimo de maduración es uno de los factores más importantes para obtener una bebida de calidad.

Ese cuidado puesto en la cosecha influye en el rendimiento durante el beneficiado y en los sabores que tendrá la taza final.

El estado de madurez fisiológica del fruto de café se define como las alteraciones morfológicas y fisiológicas que ocurren a partir de la fecundación, seguidas por un momento en el cual las semillas están en condiciones de ser cosechadas.

Desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren en promedio 32 semanas. Este desarrollo dura de 220 a 240 días en promedio.

Tradicionalmente, el café se cosecha cuando muestra un color rojo o amarillo que indica su madurez, según la variedad. Los frutos del café han madurado completamente cuando la producción de azúcares y materia seca se han maximizado en el mucílago. Para entender la relación de estos dos componentes con la calidad del café, se necesita medir algo conocido como los grados Brix en cada una de las muestras de mucílago. Los grados Brix indican el nivel de azúcar que contiene una solución acuosa.



Figura 1: Fotografía tomada de primero café, Fruto del café: viaje de la semilla a su recolección, julio 8, 2023, <https://primerocafe.com.mx/caficultura/fruto-cafe-semilla-etapas-recoleccion/>

Etapas del desarrollo del fruto del café:

De acuerdo con el libro *Sistemas de producción del café en Colombia* de Cenicafé citado en la página web primero café, Fruto del café: viaje de la semilla a su recolección, <https://primerocafe.com.mx/caficultura/fruto-cafe-semilla-etapas-recoleccion/>, revisada el 8 de julio de 2023, el desarrollo del fruto pasa por diferentes etapas:

- Etapa 1: Primeras 7 semanas después de la floración (0 – 50 días). El crecimiento es lento. El fruto tiene el tamaño de un fósforo.
- Etapa 2: Semanas 8 a la 17 después de la floración (50 – 120 días). El fruto crece en forma acelerada y adquiere su tamaño final, y la semilla tiene consistencia gelatinosa.
- Etapa 3: Semanas 18 a la 25 después de la floración (120–180 días). La semilla o almendra completa su desarrollo, adquiere consistencia sólida y gana peso.

- Etapa 4: Semanas 26 a la 32 después de la floración (180 – 224 días). El fruto se encuentra fisiológicamente desarrollado y comienza a madurar.
- Etapa 5: Después de la semana 32 (más de 224 días), el fruto se sobre madura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. En esta etapa generalmente el fruto pierde peso.
- Cosechar un fruto maduro de café es relevante porque posee características físicas y químicas que determinan la calidad del producto obtenido, lo cual se traducirá en tazas que resalten los mejores atributos del grano.

En la imagen se puede evidenciar las diferentes etapas que se describieron en el párrafo anterior las cuales se dan en la maduración del café.



Figura 2: Fotografía tomada de primero café, Fruto del café: viaje de la semilla a su recolección, julio 8, 2023, <https://primerocafe.com.mx/caficultura/fruto-cafe-semilla-etapas-recoleccion/>

Los frutos del café deben recolectarse de los árboles para ser llevados a las instalaciones donde se transforman en un producto estable. Hay dos formas principales de cosechar el café a mano o mecánicamente. La selección del método depende de varios factores, como el paisaje, la pendiente, la variedad del café, el costo de la mano de obra, el tamaño de la finca y la distribución de la madurez de la cereza. (Barbeau et al, 2001)

Un café especial se clasifica como tal cuando obtiene una puntuación superior a 80 puntos en la escala de 100 puntos de la Speciality Coffe Association, ésta medición califica ciertos

parámetros de calidad (Velásquez, 2016) , los cuales serán criterios de referencia para determinar el resultado de un proceso de pos cosecha implementando diferentes técnicas de procesamiento en las revisiones de las investigaciones centradas en fermentación, que abordaremos a lo largo de este trabajo, por tal razón es importante tener en cuenta algunos conceptos como “cuerpo” que se refiere a la textura del café en la boca. La diferencia entre “fragancia” y “aroma”, donde el primer concepto hace referencia al olor que desprende el café molido, y el segundo concepto que se refiere al olor del café inficionado en agua; cuando se habla de “acidez” se refiere al sabor del café tras el primer sorbo, y el “postgusto” como el sabor que deja el café tras degustarlo. Por lo tanto, cuando se habla de “sabor” tenemos en cuenta el aroma, la acidez y el postgusto, finalmente el término “equilibrio” toma en cuenta la unión de sabor, acidez, postgusto y cuerpo. Además de todos estos conceptos que involucran la participación del sentido del gusto, es importante tener en cuenta el concepto de “taza limpia” que hace referencia a que no aparecen aspectos negativos en ningún momento de la degustación del café (Café la Bastilla, s.f)

La fermentación del mucílago del café es un proceso importante que involucra levaduras de café con una baja actividad de aldehído deshidrogenasa, lo que resulta en una ausencia de ácido acético en los cultivos seleccionados. Durante la fermentación, las levaduras generan una variedad de compuestos de sabor de bajo peso molecular, incluyendo ésteres, alcoholes superiores, aldehídos, cetonas y terpenoides. Los ésteres, como el acetato y los ésteres etílicos, son los más abundantes y contribuyen a las notas sensoriales florales y afrutadas en las bebidas de café.

En el proceso de fermentación del café, se forman compuestos cetónicos, como el di acetilo, que están relacionados con el aroma mantecoso en el café tostado. La presencia de 2,3-butanodiona en los granos tostados está vinculada a la producción de este aroma. La temperatura de fermentación puede influir en la conversión de α -acetolactato en di acetilo y, por lo tanto, en el sabor final del café.

Los terpenos, como el linalool, se originan a partir de precursores de glucósidos a través de enzimas β -glucosidasa de levadura durante el proceso de eliminación del mucílago. Algunas levaduras específicas pueden producir terpenos a través de la ruta del ácido mevalónico. Estos compuestos pueden afectar el aroma del café, pero se requieren más investigaciones para comprender su impacto directo en la calidad del producto final.

Los aldehídos generados durante la eliminación del mucílago son precursores importantes de compuestos aromáticos, como alcoholes superiores y ésteres. La actividad del alcohol deshidrogenasa desempeña un papel crucial en la conversión de estos compuestos. Algunos aldehídos con aroma activo pueden liberarse durante el proceso de fermentación, influyendo en los aromas frutales y florales del café.

La elección de cultivos iniciadores adecuados es esencial para un proceso controlado de eliminación del mucílago. Los microorganismos seleccionados deben tener perfiles de producción de aromas deseables y no deben introducir sabores no deseados. Combinar diferentes cepas microbianas puede mejorar el sabor, y se pueden aplicar factores estresantes como temperaturas extremas para modular la concentración de compuestos aromáticos.

En resumen, la calidad del café verde se basa en sus constituyentes no volátiles, como el azúcar, los aminoácidos y los lípidos, que sufren modificaciones durante el procesamiento pos cosecha, incluyendo la germinación de la semilla y la oxidación de lípidos.

La tecnología de fermentación de café conocida como anaerobiosis auto inducida (SIAF, según su denominación en inglés) se basa en la generación gradual de CO₂ a través de la actividad metabólica microbiana. La anaerobiosis se alcanza mediante la realización de la fermentación en contenedores sellados que limitan la presencia de oxígeno, permitiendo así la actividad microbiana. Este enfoque tecnológico mejora el rendimiento de la fermentación llevado a cabo por bacterias del ácido láctico y levaduras, lo que conduce a un aumento en la producción de metabolitos y mejora la calidad sensorial del café (Bressani et al., 2021; Da Mota et al., 2020; Martínez et al., 2021).

El método SIAF promueve el crecimiento de levaduras y bacterias, como se ha documentado previamente (Martínez et al., 2017). La colaboración sinérgica entre las bacterias del ácido láctico y las levaduras favorece su predominio durante el proceso de fermentación. En consecuencia, el crecimiento de levaduras en los productos alimenticios que se someten a fermentación se ve beneficiado por el entorno acidificado creado por las bacterias del ácido láctico (Da Mota et al., 2022).

La utilización de biorreactores en el proceso de fermentación del café ofrece un entorno anaeróbico propicio para la comunidad microbiana que participa en el proceso de fermentación (Bressani et al., 2021; Da Mota et al., 2020; Martínez et al., 2021).

5.2 Bioprocesos en el café

Procesos de café

La semilla de café es cosechada en su estado óptimo de madurez para obtener un producto final de alta calidad. Le suceden varias operaciones posteriores a la cosecha dependiendo del tipo de proceso. Existen en general tres tipos: proceso natural seco, proceso húmedo y proceso semi-seco. En el primero las semillas no son descascaradas sino puestas a secado posteriormente a un proceso de descascarillado y pulido; en el segundo las semillas de café siguen a un proceso de despulpado, fermentación húmeda, desmucilaginado mecánico, lavado, secado, descascarillado y pulido; en el tercer proceso las semillas son despulpadas, es separado las semillas verdes, secado, descascarilladas y pulidas (Elhalis et al., 2021).

En el proceso de fermentación húmeda el agua transporta los granos despulpados a un tanque lleno de agua donde los granos se someten a una fermentación sumergida durante 6-72h dependiendo de las condiciones climáticas circundantes. Durante la fermentación el mucílago restante se utiliza como sustrato microbiano produciendo metabolitos secundarios que incluyen ácidos orgánicos, cetonas y aldehídos que podrían afectar la calidad final.

Proceso semiseco, las frutas cosechadas maduras, inmaduras demasiado maduras son limpiadas y separadas por flotación y luego las frutas maduras se despulpan como el proceso húmedo y los granos despulpados son empacados en sacos y son sometidos a un secado hasta alcanzar el 40%, luego es realizado un secado adicional con mezclas frecuentes hasta alcanzar un 13% de humedad que puede lograrse de 10 a 15 días.

Café especial

“Un café es considerado especial cuando es percibido y valorado por los consumidores con alguna característica que lo diferencia de los cafés convencionales y por el cual está dispuesto a pagar un precio superior. El café especial es aquel que, por sus atributos y calidad en taza, reporta efectos sensoriales en el catador los cuales hacen que sea mejor valorado y que tenga un precio más alto en el mercado a comparación de los cafés comerciales (Federación Nacional de Cafeteros, Sin fecha). León et al., (2019). Otra definición de café especial abarca el concepto relacionado no solo con el producto en sí, sino con la relación costo beneficio al consumidor y/o productor, entonces un café puede ser especial cuando un consumidor está dispuesto a pagar un mayor valor y este debe representar un beneficio para el productor “(Federación Nacional de Cafeteros, sin fecha).

Además de lo anterior podría ser considerado también especial por el trabajo realizado desde el inicio del cultivo, con la preparación del terreno, la semilla, la selección de micro lotes, buenas prácticas agronómicas y gestión del cultivo (Correa et al., 2016), el esfuerzo físico realizado y los cuidados que puede dar una comunidad cafetera a su entorno, los bosques fuentes de agua y en sí a la flora y fauna. Entendiendo lo mencionado sería natural considerar que el concepto de café especial puede cambiar en diferentes aspectos, por el hecho de que el café posee unas características intrínsecas o por el trabajo que se realiza para lograr una armonía ecológica y social.

5.3 Variables del café que pueden y deben controlarse para producir café de calidad:

Los protocolos controlados de fermentación del café permiten no sólo lograr diferencias en las características de sabores especiales y su intensidad. También permiten resaltar la presencia y concentración de compuestos volátiles y aromáticos responsables del aroma.

Sin embargo, una mala fermentación sin supervisión o control puede producir sabores desagradables en el café, como moho, químicos, aromas herbáceos o amaderados. Por eso es tan importante que el fabricante comprenda el proceso y las variables que lo afectan. La fermentación controlada del café es clave para minimizar riesgos, evitar resultados no deseados, replicar procesos de fermentación exitosos y mejorar la rentabilidad del producto.

Algunas de las variables que se pueden controlar durante la fermentación del café incluyen:

- Temperatura ambiente y humedad:

En general, cuanto mayor es la temperatura, mayor es la actividad biológica, porque los microorganismos se multiplican más rápido. Y al aumentar la población microbiana, descompone los sustratos orgánicos en menos tiempo. Por el contrario, a temperaturas más bajas, las colonias microbianas se multiplican más lentamente y los procesos de fermentación tardan más. Por tanto, la temperatura ambiente es un factor clave a considerar en el proceso de fermentación del café.

Dado que el tiempo es un factor arbitrario e impredecible, si no se controla la temperatura, los cambios bruscos que afectan la masa del café provocarán saltos y caídas en la temperatura metabólica, lo que afectará los microorganismos y los resultados de la fermentación. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- Humedad del grano

Una vez que los granos están listos para su almacenamiento, envío y posterior tostado, asegurar un cierto porcentaje de humedad es clave para garantizar la calidad en taza. Para los cafés especiales, el contenido de humedad generalmente aceptado es del 10,5 al 11,8%.

Hay que tener en cuenta que el clima y la altitud de varias regiones del mundo afectan el contenido de humedad y el tiempo de secado para llegar a este porcentaje ideal. El peligro de que la humedad salga del parámetro es tan grande que puede significar que el café ya no se venda en el mercado especial o que su precio se reduzca significativamente, porque el comercializador debe participar en la tarea de secado si es posible. Es importante que el fabricante cuide este parámetro, porque puede suponer incluso la pérdida de una relación comercial.

Una humedad demasiado alta o superior al 12,5% puede significar moho y ocratoxinas, un mico toxina producida naturalmente por ciertos hongos, incluidos *Aspergillus ochraceus* y *Penicillium verrucosum*, que se consideran transmitidos por los alimentos. Algunas de estas sustancias pueden volverse cancerígenas y dañar los órganos internos, especialmente el hígado.

En cambio, si el grano de café está demasiado seco se pierde gran parte de su calidad en cuanto a acidez, aroma y sabor. Los frijoles también se vuelven quebradizos y se rompen fácilmente cuando se muelen. También dificultan mucho el tostado porque aumenta la probabilidad de tostar demasiado e incluso quemar el grano, lo que reduce las ganancias. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- Disponibilidad de oxígeno

Los microbios necesitan agua, proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales para prosperar, así como condiciones y características ambientales específicas como temperatura, actividad del agua, pH, potencial redox y presencia o ausencia de oxígeno. Estas propiedades se pueden cambiar y, dependiendo de su modelado, los resultados pueden ser muy diferentes.

Los principales microorganismos de fermentación son las levaduras, las bacterias del ácido láctico, *Lactobacillus* spp. y *Streptococcus* spp., Enterobacteriaceae, algunas especies de *Clostridium* y bacterias propio nato y metano. Las levaduras son anaerobias facultativas, crecen en presencia de oxígeno, pero fermentan azúcares en un ambiente anaeróbico. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

Es oportuno destacar algunos de los procesos de oxidación aeróbica incompleta de la materia orgánica que se diferencian de la fermentación. Estos procesos incluyen la etificación y la producción de ácido cítrico, que requieren oxígeno y microorganismos aeróbicos.

- Condiciones de fermentación

Un gran número de cafetaleros utilizan tanques de fermentación de cemento, en forma de cubos, sin pintura y protección especial, o tanques plásticos que no están expuestos a diversos factores ambientales. Estas zonas de fermentación normalmente no permiten una fermentación uniforme, sino que producen una combinación de oxidación (granos expuestos al oxígeno) y fermentación (granos debajo). Ver Figura 4.



Figura 4: Behindtheleaf Coffee, Creative District. 2023

Dado lo anterior, es importante establecer protocolos de higiene para estas zonas de la finca, esto teniendo en cuenta que factores como la inadecuadas practicas higienices pueden afectar la calidad de la fermentación del café.

5.4 Tipos de Fermentación

- La fermentación del café como diferenciador de calidad:

Hay que tener en cuenta que, si la calidad del café de la cosecha es mala, ningún proceso de fermentación, por muy bueno que sea, puede mejorar la calidad de la bebida. Y un proceso de enriquecimiento y fermentación incorrecto dará como resultado la taza equivocada, a pesar de que el café de cereza utilizado en el proceso fuera de muy buena calidad. Como se dijo anteriormente, la fermentación del café es un proceso en el que no existen microorganismos, especialmente levaduras de las familias *Saccharomyces*, *Torulopsis*, *Candida* y *Rhodotorula*, y bacterias ácido lácticas *Lactobacillus* y *Streptococcus*. Estos microorganismos realizan la digestión externa de las plantas de café, donde secretan enzimas capaces de descomponer la pectina y los azúcares complejos en azúcares simples que pueden digerir. El proceso también produce otros subproductos como alcoholes, ácidos orgánicos y dióxido de carbono, además de sustancias aromáticas como aldehídos, cetonas y ésteres, que tienen un olor muy característico. Aunque la levadura responsable de la mayoría de los procesos de fermentación de los alimentos es la misma, *Saccharomyces cerevisiae*, otros microorganismos en las cerezas del café operan en cada lugar específico y son responsables de las características de sabor únicas de cada café de origen. La fermentación es una parte clave del procesamiento del café después de la cosecha. Esto puede suceder de dos maneras. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- Fermentación con baja disponibilidad de oxígeno

Esto generalmente se llama oxidación incompleta en lugar de fermentación, pero se ha vuelto común en la industria decir "fermentación aeróbica", que ocurre en presencia de oxígeno. Esta fermentación se produce cuando dejas cerezas recién cogidas en un recipiente o recipiente y los microorganismos hacen el trabajo por sí mismos. En este caso no se pueden controlar las

variables, porque la presencia de oxígeno no permite regular las diferentes variables. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- Fermentación

La fermentación anaeróbica del café es un método en el que los azúcares más complejos, como la pectina, se hidrolizan en parte por la actividad enzimática del complejo microbiano y principalmente por la acidez del sustrato. Durante el proceso de fermentación anaeróbica, finalmente se produce alcohol como subproducto. Pero si no se detiene a tiempo el proceso de fermentación del café, la descomposición de los alcoholes continúa y comienza a formarse una mayor cantidad de ácido acético como subproducto, lo que le da al café un desagradable sabor a vinagre. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

Maceración carbónica: En la maceración carbónica la cereza de café puede introducirse entera en un medio cerrado y hermético generalmente de acero inoxidable, eliminando la presencia de oxígeno y llenándola de CO₂. Éste método puede usarse como complemento de métodos tradicionales como el lavado o natural (Primero Café, s.f). El método por anaerobiosis microbiana auto inducida (SIAF) puede convertirse en un paso adicional para el procesamiento tradicional de café natural y despulpado, éste método se realiza por el metabolismo microbiano que utiliza oxígeno remanente para sus acciones metabólicas liberando CO₂, compuestos volátiles y no volátiles. (Batista, Batista, Ribeiro, & Schwan, 2022).

La fermentación anaeróbica y/o la maceración carbónica cambian rápidamente el fruto del café, dando como resultado un sabor muy diferente al de los métodos de las fermentaciones tradicionales. Los granos despulpados contienen muchos grupos microbianos, como bacterias del ácido láctico, bacterias del ácido acético, entero bacterias y levaduras que interactúan durante la fermentación, y el metabolismo endógeno de los granos que conduce a un perfil específico de precursores del sabor.

Fermentación Controlada: la fermentación controlada en tanques abiertos favorece el crecimiento de varios microorganismos y promueve la formación de numerosos metabolitos no deseados, lo

que compromete la calidad de la bebida final (Masoud et al., 2005; Pereira et al., 2015; Silva et al., 2013).

Los factores de la fermentación controlada que observamos es la calidad del sustrato, en la que se seleccionan los frutos maduros y sanos, en los que se seleccionan los frutos maduros y sanos. En cuanto a los factores ambientales, se debe controlar la temperatura, la humedad, la higiene y la ventilación de los tanques y las instalaciones. En cuanto al tiempo de fermentación se debe fijar un tiempo óptimo para interrumpir el proceso y evitar la formación de defectos en el grano y la bebida.

Fermentación Modulada: Con cultivos adicionados-Tipo infusión Fermentación auto inducida

En el presente artículo nos aclara que la fermentación controlada en tanques abiertos puede favorecer el crecimiento de varios microorganismos y promover la formación de numerosos metabolitos no deseados, lo que compromete la calidad de la bebida apreciando una característica organoléptica de excelente sabor.

Fermentación Modulada con cultivos adicionados-Tipo infusión Fermentación auto inducida:

La fermentación anaeróbica auto inducida (SIAF) es una nueva tecnología para fermentar el café que fue descrita por primera vez por Mota et al., 2020 utilizando biorreactores de polietileno cilíndricos cerrados. Este método se basa en la fermentación del café en un ambiente cerrado sin adición de agua, es decir, en fermentación en estado sólido. El proceso SIAF tiene una etapa aeróbica y una anaeróbica. La condición anaeróbica se logra lentamente debido al metabolismo de los microorganismos que consumen O₂ y producen CO₂. Comúnmente se ha llevado a cabo en biorreactores de polietileno de pequeñas dimensiones, oscilando entre 20 y 200L. En estos casos, el ambiente anaeróbico se consigue mediante el uso de una válvula de esclusa de aire, que posibilita la salida de parte del CO₂ producido en el interior del reactor, pero no permite la entrada de oxígeno. Este es un método que se puede realizar con cerezas de café naturales o despulpadas y normalmente la homogeneización y alimentación del biorreactor se realiza de forma manual (Martínez et al., 2021). Esta tecnología mejora el rendimiento fermentativo de las bacterias del ácido láctico (BAL) y la levadura, aumentando la producción de metabolitos y la calidad sensorial de la bebida (TS Pereira et al., 2022). El SIAF impacta positivamente el comportamiento microbiano, dando como resultado café con un atributo frutal más intensificado. Es notoria la presencia de metabolitos como ácido clorogénico, sacarosa, ácido láctico y trigonelina

en los cafés producidos por este proceso (TS Pereira et al., 2022). Muchos productores están aplicando procesos de restricción de O₂ para promover la fermentación anaeróbica con o sin microorganismos añadidos. En condiciones anaeróbicas, la célula produce menos energía, lo que en consecuencia puede afectar el crecimiento de microorganismos y la producción de enzimas (Pereira et al., 2021). Según Elhalis et al. (2020a) los subproductos de menor peso molecular son interesantes para el desarrollo del sabor en el café y el etanol es importante para la viscosidad de las bebidas y puede actuar como disolvente para los volátiles. La comunidad de hongos tuvo poca variación en el tiempo y fue más pequeña en 120 h en comparación con la población inicial. Por otro lado, la diversidad bacteriana aumentó con el tiempo y se correlacionó con el aumento del regusto y la fragancia. En la prueba de cata se observó un aumento en la nota global de los cafés con el aumento del tiempo y temperatura de la fermentación. El proceso que utilizó 38 °C y 120 h tuvo el mejor puntaje (85,15). Los compuestos orgánicos como trigonelina, ácido fórmico, lípidos y γ -butirolactona contribuyeron a la puntuación y la calidad sensorial de la bebida de café. En la Tabla de datos complementarios 2 se describe más información sobre las variables del proceso, la descripción y la evaluación sensorial. La temperatura dentro de un biorreactor depende de la temperatura ambiental y aumenta durante el tiempo de fermentación (Martins et al., 2020).

En el método SIAF, la medición de la temperatura es muy importante porque el tiempo de finalización está definido por la estabilización de la temperatura. Martínez et al. (2021) implementaron y evaluaron el rendimiento de biorreactores de acero inoxidable de 300 L que se construyeron para aumentar la producción de café especial en condiciones de fermentación monitoreadas. La instalación de termómetros permitió un seguimiento continuo de la temperatura hasta el final de la fermentación. Este método es más utilizado en los cafés Arábica, en los que se cosechan las cerezas del café y se retiran mecánicamente la piel y la pulpa, dejando el mucílago adherido a los granos posteriormente, estos cafés despulpados ricos en azúcar simples y pectina, se trasladan a tanques de agua donde se dejan fermentar durante 6 a 72 horas dependiendo de la temperatura ambiental, siendo de 24 a 48 horas lo más común.

Lo que el artículo habla sobre una nueva tecnología llamada "Fermentación Anaeróbica Auto inducida" (SIAF) que se utiliza para fermentar café. Esta tecnología implica fermentar el café en un ambiente cerrado sin la adición de agua, lo que se conoce como fermentación en estado sólido.

El proceso SIAF consta de dos etapas: una aeróbica y una anaeróbica. La etapa anaeróbica se logra gradualmente debido al metabolismo de microorganismos que consumen oxígeno y producen dióxido de carbono (CO₂).

Para lograr la condición anaeróbica, se utilizan biorreactores de polietileno de pequeñas dimensiones, generalmente de 20 a 200 litros, equipados con una válvula de esclusa de aire que permite la salida del CO₂ producido en el reactor, pero no permite la entrada de oxígeno. La fermentación SIAF se puede realizar tanto con cerezas de café naturales como con cerezas despulpadas, y la homogeneización y alimentación del biorreactor generalmente se realiza de forma manual.

Esta tecnología mejora el rendimiento de la fermentación de bacterias del ácido láctico (BAL) y levaduras, lo que resulta en una mayor producción de metabolitos y una mejora en la calidad sensorial del café. Se observa un atributo frutal más pronunciado en los cafés producidos mediante el proceso SIAF, y se detecta la presencia de metabolitos como el ácido clorogénico, la sacarosa, el ácido láctico y la trigonelina en estos cafés.

Compuestos fenólicos:

Se le llaman compuestos fenólicos a un grupo de sustancias que en su estructura química poseen un grupo funcional hidroxibenceno (fenol), el cual se encuentra unido a compuestos aromáticos y alifáticos. La clasificación de estas sustancias depende del número de anillos fenólicos y los grupos funcionales ligados a este. Los compuestos antioxidantes ejercen su acción al bloquear la producción de radicales libres, inhiben la oxidación y degradación de los bioproductos derivados de la oxidación lipídica. Esta actividad antioxidante, por parte de los compuestos fenólicos, está dada mayoritariamente por mecanismos de óxido reducción. El café posee importantes cantidades de compuestos fenólicos cuyos representantes más abundantes son los ácidos clorogénicos que es conjugado de ácido quínico (Chavez & Esquivel, 2018)

ACIDO CLOROGÉNICO:

Los ácidos cloro génicos son una familia de ésteres, formada entre ácido químico y compuestos fenólicos conocidos como ácidos cinámicos. El ácido cloro génico más abundante en el café es el ácido 5-O-caffeoylquinic, un éster formado entre el ácido químico y el ácido caféico (ver la imagen de abajo) (Olthof MR, s.f)

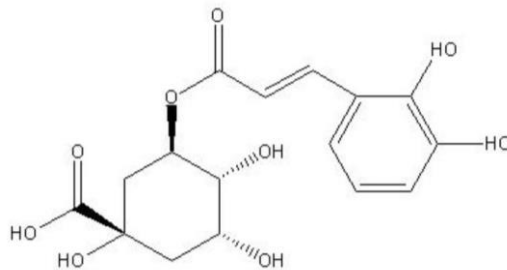


Figura 10. Estructura química del ácido clorogénico, Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante, 2018.

Los ácidos cloro génicos dan cuerpo, sabor amargo y astringencia a la bebida. En la tostación, los ácidos cloro génicos se isomerizan, se unen a las melanoidinas, se hidrolizan, forman quinolactonas y se transforman en cate col, guayacol y pirogalol que tienen olores a humo y quemado. El contenido de ácidos cloro génicos en una taza de café depende de la especie, la madurez, el procesamiento y el grado de tostación (Cenicafé, 2011)

Además de la capacidad antioxidante y los efectos beneficiosos en la micro biota intestinal de los ácidos cloro génicos, se reporta que reducen la producción de mico toxinas como *Aspergillus*, y según evidencia científica se registra que por medio de la modificación química de éste ácido es posible obtener sustancias con capacidad de inhibir la enzima integrasa del virus de la inmunodeficiencia adquirida (VIH) y detener la replicación de ADN del virus de la hepatitis B (Chavez & Esquivel, 2018)

CAFEÍNA

La cafeína (1, 3, 7-trimetilxantina) (figura 3) es un alcaloide de purina que se encuentra naturalmente en los granos de café. en estado puro es un sólido cristalino blanco y se ha visto que su concentración varía en extractos de café arábica. Tiene poder antioxidante; ya que inhibe la lipoperoxidación inducida por radicales hidroxilos (-OH), peróxidos (ROO) y oxígeno, por lo cual es un antioxidante comparable al glutatión y superior al ácido ascórbico (González & Ramos, 2015)

La cafeína actúa bloqueando los receptores de la adenosina neurotransmisora, inhibe la fosfodiesterasa, que es responsable de la desactivación del AMPc. El crecimiento de la tasa de AMPc intracelular amplifica sus acciones de «segundo mensajero», lo que la hace responsable de las principales consecuencias farmacológicas de la cafeína. También eleva los niveles de dopamina y estimula la segregación de adrenalina, una hormona de lucha o huida. La cafeína también actúa en otros puntos del cuerpo, de forma que incrementa el ritmo cardíaco, constriñe los vasos sanguíneos, relaja las vías respiratorias, mejora la respiración y hace que algunos músculos se contraigan más fácilmente. (González & Ramos, 2015)

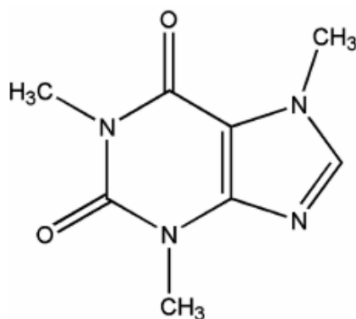


Figura 11. Estructura química de la cafeína, Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante, 2018.

ÁCIDO GÁLICO

El ácido gálico (también conocido como ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) es un ácido trihidroxibenzoico, un tipo de ácido fenólico. La fórmula química del ácido gálico es $C_6H_2(OH)_3$

3COOH. Se encuentra solo o como parte de taninos hidrolizables. Los grupos de ácido gálico suelen estar unidos a dímeros como el ácido elágico. Los taninos hidrolizables se hidrolizan para dar ácido gálico y glucosa o ácido elágico y glucosa, conocidos como galotaninos y elagitaninos, respectivamente. (Thermo Fisher Scientific Inc., 2023)

Es un inhibidor de la anhidras carbónica débil. Un estudio mostró que el ácido gálico tiene un efecto sobre la formación de proteínas amiloides al modificar las propiedades de la alfa-sinucleína, una proteína asociada con el desarrollo de enfermedades neurodegenerativas. (Salas, Cruz, Belmares, Urdiales, & Herrera, 2013)

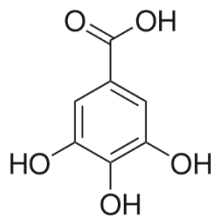


Figura 12. Estructura química del ácido gálico, Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante, 2018.

En resumen, la Fermentación Anaeróbica Auto inducida (SIAF) es una tecnología que se utiliza para fermentar café en un ambiente cerrado sin agua, mejorando la calidad sensorial del café y aumentando la producción de metabolitos beneficiosos.

5.5 Rutas fermentativas

Existen varios tipos de fermentación, dependiendo del microorganismo, sustrato y condiciones.

- Alcohólico:

Esto lo llevan a cabo principalmente levaduras que producen etanol y dióxido de carbono. En presencia de oxígeno, las levaduras respiran, crecen, oxidan completamente la glucosa y obtienen así ATP, pero en condiciones anaeróbicas, estos microorganismos fermentan azúcares como la glucosa y algo de lactosa.

Por lo tanto, de acuerdo con la serie de reacciones del glucólisis, la glucosa se convierte en ácido tartárico y luego la enzima piruvato descarboxilasa convierte el ácido piruvato en

acetaldehído, luego el acetaldehído se convierte en etanol mediante la enzima alcohol deshidrogenasa.

- **Etílica:**

Se utiliza para elaborar vinos, cervezas y licores. Además, la celulosa obtenida de la madera y de los residuos agrícolas se convierte en azúcares que pueden ser fermentados por ácidos inorgánicos o enzimas mediante hidrólisis previa, y luego se obtiene bioetanol por fermentación alcohólica. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- **Láctico**

Lo llevan a cabo las bacterias Lactobacillaceae y Enterobacteriaceae, algunos protozoos y también en el músculo esquelético humano, y consiste en la obtención de ácido láctico a partir de azúcares. Durante la fermentación del ácido láctico, el piruvato producido durante el glucólisis se convierte en ácido láctico mediante la enzima lactato deshidrogenasa.

El ácido láctico aumenta la acidez y el sabor de los productos lácteos, verduras, legumbres, cereales y carnes, y mejora su estabilidad microbiológica y seguridad al limitar el crecimiento de otras bacterias perjudiciales. Dependiendo de los productos obtenidos, las bacterias lácticas se clasifican en homofermentativas y heterofermentativas.

Las bacterias homofermentantes producen más del 90% de ácido láctico a partir de glucosa y, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno, sólo se produce una pequeña cantidad de alcohol, dióxido de carbono y acetoina. (*Streptococcus lactis*, *S. faecalis*, *S. thermophilus*, *Pediococcus cerevisiae* y la mayoría de *Lactobacillus* como *L. lactis*, *L. acidophilus*, *L. bulgaricus* y *L. casei*;2023)

- **Propiónico**

Es producido por bacterias anaeróbicas del género *Propionibacterium*, que dominan el estómago o rumen y los intestinos de los rumiantes y producen ácidos grasos. En ausencia de oxígeno, el ácido láctico produce ácido propiónico, ácido acético, dióxido de carbono y agua. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- **Butírico**

En ausencia de oxígeno, *Clostridium butyricum* fermenta la lactosa y produce ácido butírico, ácido acético, dióxido de carbono y H₂; Otros clostridios producen butanol, acetona, alcohol isopropílico y gases H₂ y CO₂. Este tipo de fermentación produce olores desagradables como mantequilla rancia y sudor. Se puede preparar en pastos y piensos. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- Fórmica

Lo llevan a cabo Enterobacteriaceae. A partir de la glucosa, *Escherichia coli* produce etanol, ácido succínico, ácido láctico, ácido acético, ácido fórmico y gases H₂ y CO₂, pero no produce butilenglicol. *Aerobacter aerogens* produce estos ácidos a excepción del ácido succínico y grandes cantidades de butilenglicol, etanol y CO₂. El ácido fórmico no es el ácido principal producido durante esta fermentación. (Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa, s.f. 2023).

- Metánico

Esto lo llevan a cabo las bacterias metano, que son anaerobios obligados. Esta fermentación se produce después de que otros microorganismos han fermentado los sustratos y se han producido alcoholes y ácidos grasos, H₂ y CO₂, que luego se convierten en metano y agua.

- Malo láctica

Consiste en la conversión del ácido málico en ácido láctico y CO₂ por parte de las bacterias lácticas *Leuconostoc*. El ácido málico se encuentra en la piel de las uvas y en la pulpa de muchas frutas. Algunos vinos se someten a este proceso después de la fermentación alcohólica para reducir su acidez y desarrollar ciertos compuestos y sabores.

La siguiente tabla numero 1 presenta un resumen de las diferentes bacterias, hongos y microorganismos que contribuyen en la ruta de fermentación del café.

Tipo de fermentación	Microorganismos fermentadores	Sustratos	Productos
Alcohólica o etanólica	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>S. ellipsoideus</i> , <i>S. anomensis</i> , <i>S. carlsbergensis</i> , <i>Candida pseudotropicalis</i> , <i>Torulopsis</i> spp., <i>Mucor</i> spp., <i>Kluyveromyces fragilis</i> , <i>Sarcina ventriculi</i> , <i>Zymomonas mobilis</i>	Malta de cebada, cereales, arroz, maíz, trigo, jugo de la vid, caña de azúcar, melaza, sorgo, jugos de frutas, remolacha, suero de leche, soya	Etanol, vinos, cerveza, licores, bebidas destiladas, pan, salsas
Láctica homofermentativa	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>S. lactis</i> , <i>S. faecalis</i> , <i>Pediococcus cerevisiae</i> y por la mayoría de los <i>Lactobacillus</i> como <i>L. lactis</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>L. bulgaricus</i> , <i>L. casei</i> .	Leche, suero de leche, vegetales, sacarosa	Yogur, suero de leche, quesos, mantequilla, kumis, encurtidos
Láctica heterofermentativa	<i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> y <i>L. fermenti</i> , <i>Bifidobacterium bifidus</i> .	Leche, suero de leche, vegetales, sacarosa	
Propiónica o propanoica	<i>Propionibacterium freundenreichii</i> , <i>P. shermanii</i> , <i>P. pentosaceum</i> , <i>Micrococcus lacticus</i> , <i>Clostridium propionicum</i> , entre otras	Productos lácteos, glucosa, sacarosa, lactosa, pentosas, ácido láctico, ácido málico, glicerina	Ácido propiónico, ácido acético y otros ácidos
Butírica o butanoica	<i>Clostridium butyricum</i> y <i>Clostridium</i> spp.	Polisacáridos (almidón, glucógeno, pectina), glucosa, proteínas, aminoácidos, purinas, etanol, ácido úrico, xantina	Ácidos butírico, acético, fórmico, láctico, succínico, butanol y otros alcoholes y cetonas
Fórmica o ácidomixta	<i>Enterobacter</i> spp., <i>Escherichia coli</i> , <i>Aerobacter aerogens</i> , <i>Erwinia</i> spp., <i>Serratia marcescens</i> , <i>Proteus vulgaris</i> , <i>Salmonella thyphi</i> , <i>Shigella</i> spp., y las bacterias luminosas	Glucosa o lactosa	Ácidos, acético, láctico, málico, fórmico, vinagre, glicerina y disolventes
Metánica	<i>Methanobacterium omelianskii</i> , <i>M. formicium</i> y <i>M. ruminantium</i> , <i>Methanosarcina methanica</i> , <i>M. barkeri</i> , <i>Methanococcus mazei</i> y <i>M. vannielii</i>	Alcoholes, ácidos, CO ₂	Gas metano
Maloláctica	<i>Leuconostoc oenos</i>	Ácido málico	Vinos blancos y rojos, cidra

Tabla 1: Tipos diferentes de fermentación: microorganismos fermentadores y los productos resultantes. Nacional, F., & Café, D. (s.f.). (11 de octubre de 2023)

6. Metodología

Según el objetivo, Documentar el estudio de la fermentación del café para la obtención de cafés especiales en el periodo 2020 a 2023 en 4 bases de datos, se realizaron las siguientes actividades:

Serán aplicadas métricas de publicaciones científicas la revisión en línea del tiempo de 2019 a 2023, con las palabras “Fermentation” and “speciality coffee” en 4 bases de datos: Scopous, Sciencedirect, Taylor & Francis, Springerlink, para construir la relación artículos publicados por año, como evidencia de actividad científica relacionada para alcanzar el logro correspondiente al objetivo 1 de la investigación, Serán aplicadas métricas de publicaciones científicas la revisión en línea del tiempo de 2019 a 2023, con las palabras “Fermentation” and “speciality coffee” en 4 bases de datos: Scopous, Sciencedirect, Taylor & Francis, Springerlink, para construir la relación artículos publicados por año, como evidencia de actividad científica relacionada; para tal efecto se

elaboró y desarrollo un formato para la compilación de artículos leídos sobre fermentación tradicional y la fermentación por medio de los cafés honey y/o especial.

Según el objetivo Identificar los procesos de fermentación tradicionales y nuevos existentes para la obtención de cafés especiales según reporte de la revisión de publicaciones y otras fuentes

Actividades:

Para alcanzar los logros establecidos en el objetivo 2 concernientes a la fermentación tradicional versus fermentación controlada, se tuvieron en cuenta experiencias empíricas de campesinos de la Región, y los fundamentos teóricos científicos de la fermentación controlada del café para realizar las pruebas de comparación en los dos casos.

Será realizada una investigación exploratoria del material bibliográfico en fuentes de nivel Nacional y comités Departamentales de la Federación Nacional de Cafeteros, como también será realizada una recopilación descriptiva y fotográfica en campo sobre el proceso de fermentación tradicionales que aún se aplican en algunas fincas ubicadas la zona del Municipio de Popayán Cauca.

7. Resultados

De acuerdo a la línea del tiempo 2019- 2023 se realizó la revisión bibliográfica con base de datos a nivel Internacional, Nacional y Departamental en la cual se identifica la siguiente información:

En la tabla N° 2 se muestra una tabla con las Base de datos y enumera tres bases de datos: Sciencedirect, Scopus y Springerlink. La segunda columna se titula “Año” y enumera los años 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 de artículos investigados. La tercera columna se titula “Número de artículos” y enumera el número de artículos publicados en cada base de datos en cada año con la Palabra clave ‘specialty coffee’ hay un número de artículos 1327. Y con la palabra clave ‘Fermentation coffee’ hay un número de artículos 1069.

Tabla 2: Publicaciones relacionadas a la fermentación del café del año 2019 al 2023

Base de datos	Año	Número de artículos	
		Palabra clave	
		"Fermentation coffee"	speciality coffee"
Scimedirect	2019	805	50
	2020	836	67
	2021	854	66
	2022	1068	72
	2023	1240	60
Scopus	2019	98	62
	2020	117	68
	2021	131	85
	2022	128	75
	2023	103	82
Springerlink	2019	475	593
	2020	481	561
	2021	835	1128
	2022	1327	1675
	2023	1069	1327

En la gráfica N° 3 se muestra la gráfica de línea muestra el crecimiento proyectado de las investigaciones científicas en el campo del café especial y la fermentación desde 2019 hasta 2023. La gráfica tiene tres líneas que representan el crecimiento proyectado de artículos científicos de café especial y de fermentación. El eje x representa los años desde 2019 hasta 2023, mientras que el eje y representa el número de investigaciones científicas de café en miles. La línea naranja representa el crecimiento de investigaciones de café especial, la línea verde representa el crecimiento de investigaciones en fermentación. La gráfica muestra que se espera que el número de investigaciones científicas de café especial decrezca en los próximos años, mientras que se espera que el número de artículos de fermentación permanezca relativamente estable o aumente levemente. La línea naranja que representa las investigaciones de café especial muestra una tendencia a la baja en los próximos años esto podría indicar un cambio en el enfoque de la investigación o simplemente una disminución en el interés por el café especial.

Por otro lado, la línea verde que representa las investigaciones en fermentación muestra una tendencia estable con un ligero aumento. Esto podría indicar un interés sostenido o creciente en la fermentación como tema de investigación.

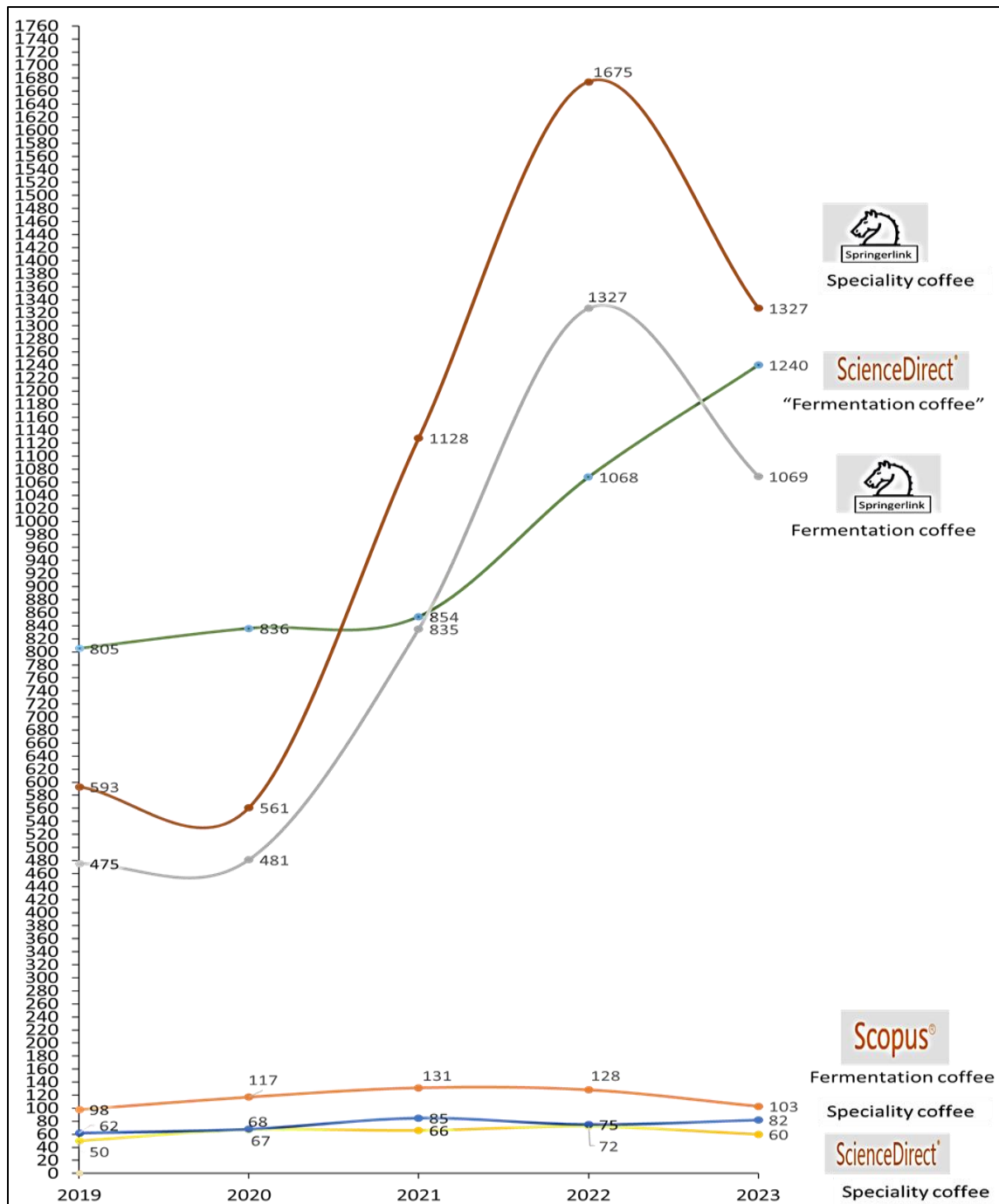


Figura : Compilación de Publicaciones relacionadas a la fermentación del café del año 2019 al 2023

Base de datos	Artículo	Tipo de café especial	Especie-variedad-varietal del café	Tipo de fermentación	Variables controladas	Equipos Utilizados-tecnología	Variable respuesta	Relevancia
Sciencedirect	Effect of method of processing specialty coffee beans on bioactive and volatile compounds (2021) 114245	Coffea arabica specialty	Catuai Rojo	Anaerobic fermentation and carbonic maceration	Las temperaturas del cuadrupolo y de la fuente de iones se mantuvieron a 230 y 230 °C, respectivamente. Los compuestos se midieron en modo de exploración en el rango de 55 a 700 m/z	Bio reactores, tanques de almacenamiento	cambios en la fluorescencia se midieron a intervalos de 1 min durante 120 min, con longitudes de onda de emisión y absorbancia establecidas en 494 y 518 nm, respectivamente. La mezcla se mantuvo en la oscuridad a temperatura ambiente durante 30 min.	El método de procesamiento del café puede afectar el contenido de compuestos bioactivos y volátiles en los cafés especiales.
Sciencedirect	Un análisis tecnoeconómico crítico del procesamiento del café utilizando un sistema de fermentación moderno: Implicaciones para la producción de (2021) 14-21 café especial moderno: Implicaciones para la producción de (2021) 14-21 café especial	Coffea arabica specialty		la fermentación controlada en tanques abiertos	tanques abiertos sin aireación y control de temperatura. Las frutas demasiado maduras (F-101) y las frutas inmaduras (G-101) se procesan directamente en el patio de secado (DY-102/103) durante 21 a 28 días hasta alcanzar un contenido de humedad de 10 a 12 %. Después del secado, la cáscara se separa de los frutos secos en la peladora (P-101). Los granos de café verde (F-103 y G-103) se almacenan y comercializan como de menor calidad. Luego, se	reactor encamisado y agitado de 30 m3, de acero al carbono y resistente a presiones de hasta 172 kPa tanques de acero inoxidable en bioprocesos industriales	dimensionado para una capacidad de producción diaria de 10 toneladas de café verde en grano	debido al control del proceso, la dominancia de cultivos iniciadores y mejora de la calidad final del café. Genera Mayores ganancias

					<p>interrumpe la aireación y se forma un ambiente anaeróbico que permite una fermentación anaeróbica durante las últimas 12 h (fase anaeróbica). El inóculo (I-101) solo se agrega en IFB.</p> <p>Se consideró una relación promedio de 65:30:5 de cereza, inmaduros y sobremaduros</p>			
Sciedirect	<p>Explorando los impactos del procesamiento poscosecha en la formación del aroma de los granos de café: una revisión (2019)441-452</p>		Café verde	<p>En tanque de fermentación bajo el agua (proceso húmedo) o se colocan en una terraza (proceso semiseco)</p>	<p>semillas se exponen al sol o a secadores de aire hasta que el contenido de humedad sea de aproximadamente 10% a 12%. Después del secado, las frutas se limpian y descascaran, y luego se eliminan la piel y la pulpa secas.</p>	<p>Secado al medio ambiente con hiperbólicos</p>	<p>estos compuestos tienen un impacto importante en la percepción humana, como pirazinas, furanos, ésteres, cetonas, fenoles y compuestos de azufre</p>	<p>Los hallazgos de esta encuesta mostraron que los componentes volátiles de los granos de café verde (p. ej., alcoholes, aldehídos y alcanos) no tienen una influencia significativa en la composición final del aroma del café, ya que solo quedan unos pocos compuestos de este tipo en los granos después del tostado</p>

Sciencedirect	Influencia de la fermentación anaeróbica y la inoculación de levadura en la viabilidad, composición química y calidad del café (2023) 102218	variedad Topazio Amare	Topazio Amarelo	El método SIAF consiste en la producción gradual de CO2 impulsada por el metabolismo microbiano, mejorando el rendimiento fermentativo de las bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras y aumentando la producción de metabolitos (ácidos orgánicos, alcoholes y compostas volátiles) que intensifican los aromas y sabores deseados en café	El tiempo de fermentación tanto para el café natural como para el desulpado fue de 180 h, y el final de la fermentación se produjo al disminuir la temperatura del café (Cuadro 1). Se tomaron muestras al inicio de la fermentación (0 h) y al final del secado (480 h). El café se secó inmediatamente al sol en terrazas suspendidas hasta alcanzar un 11% de humedad.	biorreactores cerrados	SIAF es una nueva tecnología aplicada al procesamiento fermentativo del café en biorreactores cerrados, creando una modificación en el ambiente de fermentación al limitar la disponibilidad de oxígeno y permitiendo el desarrollo de microorganismos aerobios facultativos	El SIAF favorece la producción de cafés especiales ya que todos los cafés fermentados fueron considerados cafés especiales con puntajes superiores a 80. El uso de levaduras como cultivos iniciadores en el procesamiento del café estimula la producción de cafés especiales diferenciados, produciendo una variación en la composición de compuestos volátiles y generando diferenciación en las características sensoriales de la bebida
Sciencedirect	Revista Ingeniería y Región, Volumen 27. Enero-Junio de 2022/Universidad Surcolombiana Evaluación del proceso de beneficio semiseco en las variedades de Café (Coffee arábica)	Coffee Arabica	Variedad castillo	procesamiento de café: Húmedo y Semiseco			Se analizó el puntaje final en taza de las muestras de café mediante análisis ANOVA multifactorial con 95%	

Tabla 3 Regiones que cultivan café. Procesos de fermentación nuevos e innovadores.

Más de 90 años de estudios científicos que exploran la compleja composición del aroma volátil del café han producido más de 1000 compuestos volátiles (Lee & Shibamoto, 2002; Czerny, Mayer & Grosch, 1999; Grosch, 1998; Mayer, Czerny & Grosch, 1999; Sanz, Czerny, Cid & Schieberle, 2002). Estos volátiles, incluidos los compuestos de azufre, pirazinas, piridinas, oxazoles, pirroles, furanos, aldehídos, alcoholes superiores, cetonas, ésteres y fenoles, se generan principalmente por reacciones térmicas que ocurren durante el tostado y la elaboración (Buffo & CardelliFreire, 2004); Bröhan, Huybrighs, Wouters & der Bruggen, 2009; Rodríguez, Duran & Reyes, 2010). Sin embargo, la composición química de los granos de café verde, así como los cambios químicos que ocurren durante la pos cosecha.

Los hallazgos revisados en esta revisión muestran que los principales compuestos activos del olor en las bebidas del café como furanos, pirazinas y pirroles, no se encuentran en los granos de café verde crudo. Por lo tanto, la calidad del grano de café verde está determinada por constituyentes no volátiles presentes en la materia prima, como el azúcar, los aminoácidos y los lípidos. Estos precursores de aroma sufrirán modificaciones adicionales en los pasos de procesamiento pos cosecha debido al proceso de germinación de la semilla y la oxidación de lípidos.

Ácidos orgánicos producidos durante la fermentación y percepción sensorial en cafés especiales usando cultivo iniciador de levadura

A nivel Internacional consultando base de datos

Comparativo de calidad organoléptica de café (*Coffea arábica* L.) en Puno - Perú y La Paz – Bolivia

Esta investigación permitirá determinar la escala y el nivel de calidad de taza organoléptica en las zonas fronterizas de producción de café. Actualmente más del 90% de la producción, se exporta como materia prima de café y una mínima proporción para el mercado interno como café industrializado por la Central de Cooperativas del Valle de Sandia (CECOVASA) y la Asociación de Productores de Café Apolo (APCA), para la clasificación y comercialización es importante

comparar la calidad y plantearse los siguientes objetivos como determinar los puntajes de calidad de taza, comparar los perfiles de calidad de café en taza; y describir los perfiles de café con cualidades organolépticas.

Lo que permite identificar en éste estudio es que busca evaluar la calidad del café producido en las zonas fronterizas mediante la asignación de puntajes específicos de calidad para las muestras de café

Investigación alimentaria 128 (2020)

El propósito de este estudio fue demostrar cómo la fermentación del café, utilizando cuatro cepas de inicio diferentes (*Meyerozyma caribbica* (CCMA 0198), *Saccharomyces cerevisiae* (CCMA 0543), *Candida parapsilosis* (CCMA0544) y *Torulaspota delbrueckii* (CCMA 0684)), afectó los ácidos orgánicos y los perfiles volátiles en dos variedades de café (Bourbon Amarelo y Canário Amarelo) utilizando métodos de procesamiento natural y despulpado natural, además de evaluar la percepción sensorial. Se empleó la técnica de PCR en tiempo real (qPCR) para examinar la dinámica de las poblaciones de levadura. La detección de ácidos orgánicos se realizó mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC), mientras que la identificación de compuestos volátiles se llevó a cabo mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS).

De acuerdo a la línea del tiempo a nivel Internacional se tiene la siguiente experiencia

Caracterización física y factores de conversión de café especial en la finca agrotakesi, municipio de Yanacachi - La Paz, Bolivia

Se evaluó la producción de frutos del café de la especie *C. arábica* de la variedad típica, mediante el proceso de beneficio tradicional, utilizando las instalaciones de la planta de beneficio húmedo y laboratorio de la finca Agrotakesi, con equipos, herramientas e insumos necesarios del caso.

El análisis de balance de masa del café, se desarrolló a partir de los datos de cosecha, estimando los valores de rendimiento másico de cada una de las actividades dentro del proceso de

beneficiado hasta obtener café oro, considerando las operaciones de recepción, despulpado, lavado, secado y trilla, con los productos (café guinda, café baba, café lavado, café pergamino seco y café oro) y subproductos (sultana fresca, mucilago, agua, pergamino más película plateada).

Proceso tradicional húmedo, implica pasar los frutos por una despulpadora para separar el grano del resto del fruto, se fermenta de 6 a 18 horas, se lava y se seca en parabólicos

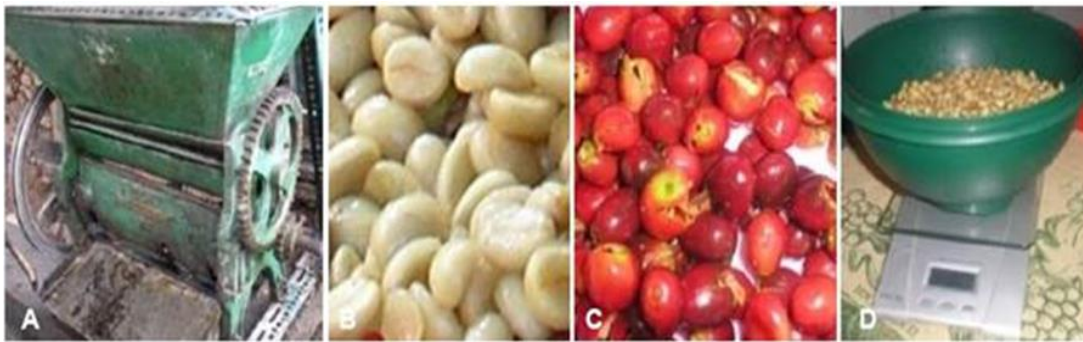


Figura 5: Operación de despulpado y muestreo del café baba; A) peladora de café marca Antioqueña, B) café despulpado, C) café baba y sultana fresca; D) pesado de la muestra de café baba (1 kg) López Blanco, C. (2021).

El café baba se fermentó en tanque tina, de forma natural en seco a temperatura ambiente, llegando a su punto de lavado en un tiempo promedio de 19 horas, procediendo con su lavado, retirando el mucilago y flotes de granos vanos (ch'uzos) con enjuagues sucesivos, obteniendo así el estado de café lavado. Se tomó las muestras de 1 kg de café lavado, para determinar el porcentaje de masa, la densidad aparente y peso unitario; y las relaciones de conversión respectivas.



Figura 6: Lavado discontinuo del café fermentado en la obtención del café lavado; A) determinación del punto de lavado en café baba fermentado, B) y C) Remoción y mezcla de agua/café en el retiro de mucilago y flotes de granos vanos, D) obtención del café lavado (Fuente: López Blanco, C. (2021).

Después del lavado, luego fue trasladado al silo de secado mecánico con flujo continuo este café lavado se llevó a tarimas para su escurrido y oreado con el fin de eliminar la película de agua que de aire caliente (50 a 55°C) de 24 a 36 horas, obteniendo el café pergamino seco con 12 % de humedad, del cual se tomó muestras de 1 kg, para determinar la masa, humedad, densidad aparente, peso; las relaciones de conversión respectivas.



Figura 7: Proceso de pre secado y secado del café (beneficio seco); A) escurrido del café lavado en tarimas, B y C) silo de secado mecánico (vista frontal) y remoción del café dentro el silo, D) medida de humedad del café pergamino seco (11 %) (Fuente: López Blanco, C. (2021).

Mediante la trilla del café pergamino seco, se obtuvo el pergamino más película plateada y el estado de grano del café oro, donde se tomó las muestras de 1 kg para determinar el porcentaje de masa, la densidad aparente y peso; y las relaciones de conversión respectivas.



Figura 8: Beneficio seco en la obtención del grano de café oro verde; a, b) Pergamino y película plateada del café después del trillado, c) estado de grano de “café oro” (Fuente: López Blanco, C. (2021).

Las variables merman y rendimiento en trilla, se realizó bajo la Norma Boliviana de comercialización del café (“Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio”, octubre 2023), pesando los productos obtenidos; separando granos normales y defectuosos (caracol, triángulo, gigante, etc.) en el café oro resultante, expresando los valores en porcentaje y peso.

A nivel internacional en esta finca se encuentra ubicada a una altitud que varía entre 1,960 y 2,450 metros sobre el nivel del mar. Esta altitud extrema es favorable para la producción de café de alta calidad. El manejo de malezas se realiza de forma manual, con ploteo alrededor de cafetos. bajo el análisis de suelos y las necesidades nutricionales. Referente a la plaga clave broca del café no se presenta por la altura en que se encuentra el cultivo, y en cuanto a enfermedades (roya) su afectación es poco significativa. El manejo de malezas se realiza de forma manual, con ploteo alrededor de cafetos. bajo el análisis de suelos y las necesidades nutricionales.

Impacto de la fermentación por anaerobiosis microbiana auto inducida (SIAF) en la calidad del café

Biociencia alimentaria 47 (2022) 101640

En este artículo uno de los objetivos es la fermentación del café natural (NC) fue llevada a cabo utilizando el método convencional (plataforma) y también mediante el método de fermentación anaeróbica auto inducida (SIAF). Durante el proceso de fermentación, se analizaron un total de 12 muestras. La temperatura más elevada se registró utilizando horas el método SIAF, alcanzando los 30,5 °C para el café natural (NC) y los 29,67 °C para el café procesado (PC), con un tiempo de fermentación de 87. También otro objetivo fue evaluar el impacto del método SIAF en la calidad química y sensorial del café natural y despulpado fermentado por micro biota.

Este biorreactor nos sirve para café natural y café despulpado, el tiempo es de 6 a 72 horas para las degradar el mucilago.

Con relación al presente texto se refiere a los procesos bioquímicos que tienen lugar durante la fermentación natural del café. Durante esta fermentación, que es un método tradicional de procesamiento del café, las enzimas producidas por levaduras y bacterias que se encuentran en el mucílago (la pulpa viscosa que rodea al grano de café) descomponen y transforman varios compuestos presentes en el mucílago. A continuación, explicaré los principales aspectos del proceso:

1. Levaduras y Bacterias: En el mucílago del café, hay una variedad de levaduras y bacterias presentes de forma natural. Estos microorganismos desempeñan un papel clave en el proceso de fermentación.
2. Degradación de Azúcares: Las enzimas producidas por estas levaduras y bacterias descomponen los azúcares presentes en el mucílago. Esto incluye la conversión de azúcares simples, como la glucosa y la fructosa, en otros compuestos, como alcoholes y ácidos.

3. Degradación de Lípidos, Proteínas y Ácidos: Además de los azúcares, las enzimas también degradan los lípidos, las proteínas y los ácidos que se encuentran en el mucílago. Este proceso de degradación puede dar lugar a una serie de subproductos químicos.
4. Formación de Alcoholes, Ácidos, Ésteres y Cetonas: Como resultado de la fermentación, los compuestos descompuestos son transformados en una variedad de productos químicos, que pueden incluir alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres y cetonas. Estos compuestos son responsables de los sabores y aromas únicos que se encuentran en el café fermentado de forma natural.
5. Para concluir durante la fermentación natural del café, las levaduras y bacterias presentes en el mucílago trabajan en conjunto para descomponer y transformar los componentes del mucílago, lo que da como resultado una amplia gama de compuestos químicos que influyen en el perfil de sabor y aroma del café, taza limpia. Este proceso es esencial en la producción de cafés de fermentación natural, que suelen tener sabores frutales, achocolatados y complejos debido a la diversidad de compuestos químicos que se generan durante la fermentación.

De acuerdo a la línea del tiempo a nivel Nacional dentro de nuestro territorio colombiano, se da a conocer el presente texto

La secuenciación genómica en la fermentación del café colombiano revela nuevos registros
De especies de levaduras *Biociencia alimentaria* 52 (2023) 102415

. El presente estudio tiene como objetivo determinar la diversidad de levaduras asociadas a la fermentación húmeda espontánea del café colombiano y analizar la composición del café verde y la calidad sensorial de la bebida.

. Los contenidos de azúcares y proteínas solubles totales en los granos de café verde mostraron una dependencia del tiempo de fermentación, donde disminuyen la glucosa y la fructosa y aumentan la sacarosa y la TSP. Los aminoácidos en general no mostraron diferencias

significativas con respecto al tiempo; sin embargo, la alanina fue la más abundante, seguida del ácido glutámico y el ácido aspártico.

. Estos hallazgos brindan nuevos conocimientos sobre la diversidad microbiana en la fermentación del café, el contenido de azúcares, proteínas y aminoácidos en el café verde y su contribución a la generación de perfiles sensoriales diferenciales

este trabajo tuvo como objetivo principal identificar por primera vez la diversidad de levaduras a nivel de especie y su dinámica poblacional en el proceso de fermentación del café en la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) en Colombia, utilizando secuenciación de alto rendimiento en una escala temporal.

El procesamiento de café (*Coffea arábica* L.) se realizó por vía húmeda en la Sierra Nevada de Santa Marta en Colombia

Este estudio en la fermentación del café colombiano también reporta por primera vez en este tipo de procesos las siguientes levaduras: *Pichia mandshurica*, previamente reportada como cultivo iniciador en la fermentación de rábano (Jing et al., 2021), *Citeromyces* sp. y *Zygorulasporea* sp. en aceitunas de mesa (Montano et al., 2021; Pensando et al., 2022), *Saturnispora* sp.

Las bebidas de café elaboradas a partir de granos fermentados durante 18, 24, 30 y 36 h se caracterizaron por tener atributos sensoriales dulces, afrutados, florales (rosas) y chocolatadas de acuerdo a su puntaje total de calidad en taza, fueron clasificados como cafés especiales al obtener puntajes superiores a 80 puntos.

Nuestros resultados resaltan la importancia de investigar cada variable que involucra el procesamiento del café y las complejas relaciones entre ellas para comprender los mecanismos que se pueden utilizar para estandarizar el proceso para obtener cafés de alta calidad. Este trabajo proporciona nuevos conocimientos que pueden respaldar el desarrollo de nuevas metodologías de investigación y cultivos iniciadores para modular y mejorar los perfiles sensoriales deseables de las bebidas de café.

El texto describe un estudio de secuenciación genómica en la fermentación del café colombiano, que se llevó a cabo con el objetivo de analizar la diversidad de levaduras presentes en el proceso de fermentación del café y evaluar la composición del café verde resultante, así como la calidad sensorial de la bebida de café final. Los siguientes principales hallazgos del estudio son

los: Composición del Café Verde: Se observará que los contenidos de azúcares y proteínas solubles totales en los granos de café verde variarán con el tiempo de fermentación. La glucosa y la fructosa disminuyeron con el tiempo, mientras que la sacarosa y la TSP (proteínas solubles totales) aumentan. Los aminoácidos, en general, no mostraron diferencias significativas en función del tiempo, pero se identificó que la alanina era el aminoácido más abundante, seguido del ácido glutámico y el ácido aspártico

Las características de los antioxidantes poli fenólicos naturales (p. ej., ácidos cloro génicos, cafeína, ácido gálico) es la base de la capacidad antioxidante de los granos de café, esto despierta gran interés en la comunidad científica y productora de generar estrategias para desarrollar cafés probióticos con beneficios funcionales que complementen el atractivo sensorial de la bebida, puesto que los compuestos químicos (bioactivos) y volátiles pueden influenciarse dependiendo de la forma en la que se procese el grano de café.

Se ha observado que las sustancias antes mencionadas mejoran la calidad de vida, previniendo o retrasando la aparición de enfermedades degenerativas provocadas por daño oxidativo que es mediado por especies reactivas del oxígeno conocidas como ROS (reactive oxygen species), entre ellas el peróxido de hidrógeno, el ion súper óxido y el hidroxilo. El peróxido de hidrógeno, mediante ciertas reacciones tiene la capacidad de reaccionar con muchas macromoléculas, causando daño a proteínas, lípidos, mitocondrias y ADN, lo cual va a tener diferente impacto dependiendo del tejido en el cual se lleve a cabo la reacción (PENTA, 2020)

Por las razones anteriormente expuestas se ha experimentado en complementar los métodos tradicionales de procesamiento (miel, lavado, semilavado) con procesamientos innovadores como lo son la maceración carbónica y fermentación anaeróbica.

Efecto del método de procesamiento de granos de café de especialidad (natural, lavado, miel, fermentación, maceración) sobre compuestos bioactivos y volátiles

La tabla 2 describe el método de procesamiento para la variedad de grano de café Catuai Rojo de Nicaragua. Contienen información sobre el método de procesamiento para la variedad de grano de café Catuai Rojo de Nicaragua. La primera fila de datos es para el “País: Nicaragua” y “Variedad: Catuai Rojo” y las dos siguientes son para el “Método de lavado: Lavado húmedo” y el “Método de secado: Secado al sol.

Tabla 4. Método de procesamiento pos cosecha grano Catuaí Rojo

Granos 100% arábica	Método de procesamiento	Método de secado	Tiempo de fermentación	Tiempo de secado	Tueste
País: Nicaragua Variedad: Catuaí Rojo	Lavado (Eliminación completa de la cereza)	Habitual	12-72 horas	10-12 h	Temperatura final de 215°C durante 10 minutos
	Miel (Eliminación total de piel y parcial de pulpa)	Habitual	12-72 horas	10-12 h	

La tabla 3 describe el método de procesamiento para la variedad de grano de café Heirloom de Etiopía. La primera columna se titula “Granos 100% arábica” y enumera los tipos de granos de café Heirloom. La segunda columna se titula “Método de procesamiento” y enumera los métodos de procesamiento para cada tipo de grano. La tercera columna se titula “Tiempo de fermentación” y enumera el tiempo de fermentación para cada tipo de grano. La cuarta columna se titula “Tiempo de tueste” y enumera la temperatura de tueste para cada tipo de grano .

Tabla 5. Método de procesamiento pos cosecha grano Heirloom

Granos 100% arábica	Método de procesamiento	métodos de secado	Tiempo de fermentación	Tiempo de secado	Tueste
País: Etiopía Variedad: Heirloom	Fermentación anaeróbea (pos cosecha en tanque cerrado)	EAO (los granos se dejan bajo lechos africanos cubiertos durante 30 días para su secado)	7 días	30 días	Temperatura final de 215°C durante 10 minutos
	Fermentación anaeróbea (postcosecha en tanque cerrado)	ACR (los frijoles se secan debajo de sacos de dormir en lo alto de las montañas en lechos africanos para acelerar su fermentación)	7 días	13-15 días	

La tabla 4 describe el método de procesamiento para la variedad de grano de café Red Bourbon de diferentes países. La tabla incluye información sobre el método de secado, el tiempo de fermentación y la temperatura de tueste para los granos de café Red Bourbon de diferentes países.

Tabla 6. Método de procesamiento pos cosecha grano Red Bourbon

Granos 100% arábica	Método de procesamiento	Método de secado	Tiempo de fermentación	Tiempo de secado	Tueste
País: Burundi Variedad: Red Bourbon	(Fermentación natural)	Cerezas de café entera se secan al sol	desconocido	3-6 semanas	Temperatura final de 215°C durante 10 minutos
	(Fermentación anaeróbica)	Fermentación y secado en toneles cerrados con levadura Cima (Saccharomyces cerevisiae)	desconocido	desconocido	

La tabla 5 describe el método de procesamiento para la variedad de grano de café Red Bourbon. La tabla incluye información sobre el método de secado, el tiempo de fermentación y la temperatura de tueste para los granos de café Red Bourbon

Tabla 7. Método de procesamiento pos cosecha grano Red Bourbon

Granos 100% arábica	Método de procesamiento	Método de secado	Tiempo de fermentación	Tiempo de secado	Tueste

País: Perú Variedad: Catuái	(Fermentación natural)	Cerezas de café entera se secan al sol	desconocido	3 a 6 semanas	Temperatura final de 215°C durante 10 minutos
	(Maceración carbónica)	Después del secado al sol las cerezas fueron maceradas en un ambiente rico en CO ₂	desconocido	20-25 días	

○ Actividad antioxidante de cafés especiales:

El contenido de poli fenoles totales (TP), flavonoides (TF) y capacidad antioxidante (AC) se midieron utilizando diferentes métodos modificados para el análisis de cada componente mencionado. Se agregaron frijoles recién molidos (100mg) a 10ml de agua destilada hirviendo. Se utilizaron diferentes molinillos para el café tostado y el café verde. La dilución resultante se agregó en pocillos de una placa de micro titulación para su posterior estudio. Todos los análisis (TP, TF, AC) se realizaron por triplicado. (“Beneficioantioxidant capacity and total phenol content in coffee and coffee by-products produced and marketed in Norte de Santander” Sep 2014.)

La tabla 6 ES una comparación de la actividad antioxidante de diferentes tipos de café. Está comparando la actividad antioxidante de diferentes tipos de café de Nicaragua, Etiopía, Burundi, Perú y Colombia.

Tabla 8. Actividad antioxidante de cafés especiales

CAFÉS VERDES (µg GAE/mg)					CAFÉS TOSTADOS (µg GAE/mg)				
PAÍS Y VARIEDAD	MÉTODO	TP	TF	AC	PAÍS Y VARIEDAD	MÉTODO	TP	TF	AC
País: Nicaragua Variedad: Catuaí Rojo	Lavado	25,1	2,19	58,2	País: Nicaragua Variedad: Catuaí Rojo	Lavado	26,2	2,82	72,4
	Miel	18,0	1,65	48,2		Miel	26,3	3,43	64,7
País: Etiopía Variedad: Heirloom	Fermentación anaeróbea (AEO)	4,65	2,05	73,9	País: Etiopía Variedad: Heirloom	Fermentación anaeróbea (AEO)	28,9	4,71	84,1
	Fermentación anaeróbea (ACR)	17,4	1,68	57,6		Fermentación anaeróbea (ACR)	27,3	4,52	70,9
País: Burundi	Fermentación natural	23,5	1,95	62,8	País: Burundi	Fermentación natural	25,3	4,79	128,8

Variedad: Red Bourbon					Variedad: Red Bourbon				
	Fermentación anaeróbica	17,4	2,08	73,4		Fermentación anaeróbica	31,8	4,74	105,4
País: Perú Variedad: Catuaí	Fermentación natural	21,2	1,84	100,5	País: Perú Variedad: Catuaí	Fermentación natural	25,1	4,20	13,9
	Maceración carbónica	19,9	1,86	84,1		Maceración carbónica	23,3	2,22	14,8

El contenido de poli fenoles totales suele ser mayor en los cafés verdes que en los tostados, en el presente estudio la tendencia fue opuesta, dicha diferencia pudo deberse a la molienda de los granos de cafés y su dureza persistente. De igual manera se puede inferir que la molienda del grano de café y la temperatura afecta el contenido de componentes antioxidantes, puesto que la actividad antioxidante de los cafés depende del balance de compuestos formados y degradados durante el tostado

La fermentación de granos verdes con levaduras aumenta la actividad antioxidante, el contenido de PT y TF disminuye el contenido de taninos, que pueden ser responsables de sabores amargos y astringentes en la taza final de café.

Otros factores también afectan el contenido de estos compuestos, con estudios que muestran que el área geográfica, el tipo de grano y el terruño juegan un papel en la determinación de la cantidad presente. Está bien establecido que los poli fenoles y fenoles pueden aumentar la capacidad

antioxidante del plasma, lo que ayudaría a proteger las células humanas contra el daño oxidativo, reduciendo así el riesgo de diversas enfermedades degenerativas asociadas.

Fenoles y Antioxidantes

Los ácidos fenólicos, que tienen una alta actividad antioxidante, además contienen potentes flavonoides. Los fenoles más prevalentes en el café verde son los ácidos cloro génicos, que explican mayormente su contenido de antioxidantes.

○ Análisis de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) de compuestos bioactivos

El ácido cloro génico (ácido 5-O-cafeoilquínico, 5-O-CQA), cafeína (CAF), ácido gálico (GLA) y ácido cinámico (CNA) en muestras de café se analizaron por HPLC. Cada muestra de café (100mg de granos recién tostados) se trató con 10 ml de agua destilada hirviendo. Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., & Grześkowiak, T. (2015).

La tabla 7 es una comparación de diferentes tipos de café y su contenido de antioxidantes y compuestos bioactivos. La tabla tiene 7 columnas y 8 filas. La primera columna es el tipo de café, la segunda columna es el método de procesamiento, la tercera columna es el contenido fenólico total, la cuarta columna es el contenido flavonoide total, la quinta columna es la capacidad antioxidante, la sexta columna es el contenido de ácido 5-O-cafeoilquínico y la séptima columna es el valor p. Los tipos de café incluidos son NIC, ETH, BUR, AR, PER y CM. Los métodos de procesamiento incluidos son honey, AF-EOA, natural y CM. Los valores en la tabla son la media \pm desviación estándar

Tabla 9. Compuestos bioactivos de cafés especiales. Várady, M., Tauchen, J., Fraňková, A., Klouček, P., & Popelka, P. (2022).

CAFÉS						CAFÉ TOSTADOS						
VE RD ES (µg /1000 µg)						S OS (µg/1000 µg)						
PAÍS Y VARIEDAD	MÉTODO	5-O-CQA	CA F	GL A	CN A	PAÍS Y VARIEDAD	MÉTODO	5-O-CQA		C A F	GL A	CN A
País: Nicaragua Variedad: Catuaí Rojo	Lavado	18,3	8,50	0,14	0,14	País: Nicaragua Variedad: Catuaí Rojo	Lavado	8,19		12,6	0,21	0,18
	Miel	16,9	7,82	0,14	0,02		Miel	7,49		12,1	0,21	-
País: Etiopía Variedad: d:	Fermentación anaeróbica (AEO)	25,6	8,60	0,16	0,02	País: Etiopía Variedad: d:	Fermentación anaeróbica (AEO)	8,67		10,7	0,21	-

Heirloom						Heirloom						
	Fermentación anaeróbica (ACR)	21,3	6,25	0,01	-		Fermentación anaeróbica (ACR)	7,17		9,66	0,23	-
País: Burundi Variedad: Red Bourbon	Fermentación natural	16,6	7,50	0,004	-	País: Burundi Variedad: Red Bourbon	Fermentación natural	6,66		10,1	0,29	-
	Fermentación anaeróbica	13,1	6,68	0,15	-		Fermentación anaeróbica	6,47		9,38	0,25	-
País: Perú Variedad: Catuaí	Fermentación natural	19,1	8,34	0,14	0,05	País: Perú Variedad: Catuaí	Fermentación natural	8,74		11,1	0,24	0,11
	Maceración carbónica	22,0	9,45	0,15	-		Maceración carbónica	7,34		10,4	0,19	nd

- Análisis de cromatografía de gases espectrometría de masas (GC-MS) de volátiles después de micro extracción en fase sólida (SPME) (“Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS)” Oct 2023)

Los compuestos volátiles de las muestras de café se extrajeron mediante SMPE y se analizaron mediante GC-MS como se describió anteriormente. Cada muestra de café consistió en 100mg de café tostado recién molido. Los volátiles se adsorbieron en un filtro de fibra SPME revestido con una combinación y utilizando diferentes temperaturas durante su ejecución.

La actividad antioxidante de los cafés estuvo fuertemente relacionada con los contenidos de los compuestos de la anterior tabla, según muchas investigaciones los ácidos cloro génicos poseen una amplia gama de beneficios para la salud. Cabe resaltar que el contenido de 5-O-CQA fue mayor en los granos verdes procesados mediante fermentación anaerobia, probablemente porque estaba protegido frente al ligero tostado, éste al descomponerse con el tostado aumenta el contenido de CAF, y se ha visto que el contenido de ácido químico y ácidos cloro génicos está estrechamente relacionada con la calidad de los cafés de especialidad.

Para seguir con el hilo conductor de los procesos fermentativos postcosecha del café, mediante el trabajo investigativo (Da Mota, Batista, Días, & Schwan, 2021), denominado “Impacto de la fermentación por anaerobiosis microbiana auto inducida (SIAF) en la calidad del café”, se profundizará sobre este método fermentativo complementario a métodos de fermentación convencionales como la fermentación de café natural y despulpado. En el método SIAF es realizado por metabolismo microbiano, se hace uso de biorreactores abiertos y cerrados, los cuales son una herramienta que controla, mejora y optimiza el proceso fermentativo, reduciendo el tiempo de fermentación, evitando la contaminación microbiana y contribuyendo a la reproducibilidad. El objetivo de este estudio es evaluar la calidad sensorial de la producción de cafés especiales haciendo un análisis de los compuestos no volátiles resultantes con el método SIAF, teniendo en cuenta los factores influyentes para los resultados del metabolismo microbiano. Antes de comenzar con la metodología y los resultados de este estudio se aclararán algunos términos.

En los procesos fermentativos los microorganismos se encargan de que compuestos primarios como moléculas de glucosa se descompongan en compuestos secundarios, éstos procesos metabólicos se hacen en ausencia de oxígeno. (Ineffable coffe roasters , 2020) La fermentación anaeróbica auto inducida (SIAF) es realizada por el metabolismo microbiano que utiliza oxígeno remanente para sus reacciones metabólicas liberando CO₂, compuestos volátiles y no volátiles. El CO₂ influye en la producción de glicerol, etanol, ácido acético y ácido láctico. (Da Mota, Batista, Días, & Schwan, 2021)

Se define un biorreactor como un recipiente o sistema fabricado usualmente en acero inoxidable, que mantiene un ambiente biológicamente activo que facilita el crecimiento de la masa biológica a través de la transformación o degradación del material alimentado al reactor, involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aerobio o anaerobio Después de tapan el biorreactor, el intercambio de gases es limitado y gradualmente se forma un entorno anaeróbico durante el proceso de fermentación.

La tabla 8 muestra los métodos de procesamiento para la variedad de café Catuai Amarelo, el método de procesamiento convencional, el tipo de biorreactor utilizado y el tiempo de fermentación en el biorreactor. Las filas representan la variedad de café “Catuai Amarelo” procesada con dos métodos diferentes. La primera fila muestra que el café fue procesado con el método húmedo y fermentado en un biorreactor abierto durante 87 horas. La segunda fila muestra que el café fue procesado con el método natural y fermentado en un biorreactor cerrado durante 87 horas.

Tabla 10. Métodos de procesamiento pos cosecha café Catuaí Amarelo

Variedad de café	Método de procesamiento convencional	Biorreactor	Tiempo de fermentación en biorreactor
Catuaí Amarelo	Método húmedo	Abierto	87 horas
Catuaí Amarelo	Método natural	Cerrado	87 horas

Tabla 11. Resultados parámetros físico químicos de procesamientos pos cosecha café Catuaí Amarelo

Parámetros físico-químicos			
Aumento de temperatura durante métodos convencionales		Aumento de temperatura durante método SIAF	
Café natural	Café despulpado	Café natural	Café despulpado
10.84°C	1.84°C	13°C	6.89°C

La fermentación del café en biorreactores cerrados mostró temperaturas significativamente más altas que el método convencional, éste incremento se debe a la actividad metabólica de los microorganismos que se puede explicar por la reacción exotérmica que ocurre durante la conversión de azúcares y sustrato péctico del mucílago a alcoholes y ácidos orgánicos que se dio en ambas fermentaciones.

Tabla 12. Azúcares resultantes del procesamiento pos cosecha café Catuaí Amarelo

Azúcares y productos de fermentación				
	Método convencional		Método SIAF	
Azúcares	Café natural	Café despulpado	Café natural	Café despulpado
Sacarosa	3,431 mg/g	0,386 mg/g	4,466 mg/g	0,548 mg/g
Glucosa	10,623 mg/g	4,772 mg/g	9,806 mg/g	4,581 mg/g
Fructosa	15,19mg/g	3,88 mg/g	17,75 mg/g	4,84 mg/g

Los carbohidratos como la sacarosa, la glucosa y la fructosa son las fuentes preferidas de azúcares para los microorganismos participantes. El metabolismo de la levadura se puede observar durante la fermentación del café, en la que la concentración de azúcares presenta una disminución a lo largo

del tiempo en la fermentación. La glucosa por ejemplo disminuyó alrededor del 95% en la NC en el método SIAF con 87 h de fermentación, y la sacarosa se consumió en su totalidad.

En cuanto a productos de la fermentación el método SIAF modificó las concentraciones de volátiles en el café natural y café despulpado. Ácido lactona, fenol, pirano, pirazina, piridina, tiofenol y otros aumentaron durante el método SIAF en el café natural. Los compuestos volátiles influyen en los atributos sensoriales, el ácido láctico es producido por bacterias de ácido láctico que prefieren el uso de glucosa. Éste ácido junto con otros contribuyen a la acidez, los aromas mantecosos, afrutados y florales de las bebidas de café. Entre estos atributos, se observaron aromas frutales y florales durante la cata en taza, principalmente en el método natural con SIAF

La tabla 11 son los resultados de un análisis sensorial de café de acuerdo con la metodología SCA (Specialty Coffee Association). Compara el método convencional con el método SIAF para el café natural y el café despulpado.

Tabla 13. Resultados de análisis sensorial de acuerdo a la metodología SCA

Análisis sensorial de acuerdo con la metodología SCA				
	Método SIAF		Método convencional	
	Café natural	Café despulpado	Café natural	Café despulpado
Dulzor	7.81	7.51	6.39	6.45
Acidez	7.51	6.68	5.15	5.10
Cuerpo	6.60	7.54	4.69	5.69
Retrogusto	4.83	6.36	5.03	6.00
Puntaje	82.33	84.83	79.92	82.00

La mejora en la calidad de la bebida del café se evidencia al comparar el método convencional (método utilizado por los caficultores) con nuevas tecnologías de procesamiento, como el uso de

biorreactores cerrados o abiertos y cultivos iniciadores. Por ejemplo, en lotes abiertos, la fermentación aeróbica con cultivos iniciador mejora la calidad d del café en 4 puntos (80-84)

En lotes cerrados, los cafés alcanzaron 87 puntos, aumentando 5 puntos el puntaje final al café procesado sin cultivo iniciador (82 puntos) En la fermentación inducida por microbios SIAF se intensifica la producción de metabolitos (ácidos orgánicos, alcoholes y compuestos volátiles), lo que contribuye a la formación de sabores y reduce los microorganismos indeseables, incluidos hongos y las bacterias asociadas al deterior por intoxicación alimentaria

En primer lugar se realizó una revisión bibliográfica alrededor de las fermentaciones tradicionales que se han realizado a nivel internacional, Nacional y local y adicional a ello se presenta u n caso de cómo se realiza en la finca Cuatro Esquinas Corregimiento del Crucero en el Municipio de Sotará del Departamento del Cauca, el cual ha utilizado desde hace mucho tiempo atrás el proceso del despulpado al natural, el proceso que realizan en la finca una vez los trabajadores terminan de recolectar el café en el espacio de su salida son los que realizan los caficultores de nuestro Departamento, el despulpado, el cual se realiza eliminando el mucílago por fermentación natural que por tradición lo dejan entre 14 a 24 horas en los tanques, este proceso de degradación suele realizarse mediante dos procesos, con el agua o sin el agua, lo que permite hacer su diferencia, con el agua adicionada al realizar la degustación se nota acidez y aroma y muy poco se nota de que sea astringente. Se muestra una imagen de forma tradicional como lo realizan.

Proceso de lavado implica la eliminación de la pulpa de los granos de café después de la cosecha y luego la fermentación en agua. Después de la fermentación, los granos se lavan para eliminar cualquier residuo restante.



Figura 9: Proceso café lavados en la Finca cuatro Esquinas Municipio de Sotará-Cauca (fuente propia)

Sera realizada una documentación exploratoria de investigación en cuatro bases de datos Scopus, Sciencedirect, Taylor & Francis, Springerlink, para construir la secuencia temática de la monografía que tratará los procesos, variables, metodologías y tecnologías sobre la fermentación del café para obtención de cafés especiales. En otras regiones que cultivan café: Centroamérica, Brasil África, india.

8. Discusión

Del 2019 en Colombia hasta la actualidad se han venido haciendo muchos experimentos en Centros de Investigación como en Tecnicafé, en el Departamento del Cauca, en el Departamento del Huila, Antioquia y en otros Países, con lo cual se han ido mejorando la calidad de los cafés especiales, ya que se ha logrado del café tradicional a cafés diversificados, en cuanto aromas, fragancias, acidez, los cuales son muy requeridos por extranjeros de Estados Unidos, Europa, Asia entre otros, que requieren en Colombia de que haya un fomento en proyectos de investigación en éste aspecto dado que gran cantidad de personas dependen sus ingresos de la producción del grano verde; por otra parte se requiere del fomento de empresas exportadoras de café especiales que habrán puertas a otros mercados Internacionales, si se logra en consolidar un grupo sólido y estable de productores se logra proyectar un mercado más justo como el actual el Fondo Nacional de Cafeteros, el cual no ha logrado estabilizar el precio interno por lo que los cultivadores se han visto apocados a la pérdidas en su inversión por las profundas fluctuaciones en las alzas y bajas de los precios del grano que se han visto afectados por el cambio de divisa, afectación de exportaciones y por ende la economía doméstica ha sido afectada agresivamente en la que hay un inconformismo profundo de los cultivadores.

Al lograrse una estandarización en cuanto al proceso de fermentación del café se consiguen unos mercados predilectos en donde tanto importadores como exportadores de café mejoren sus ingresos.

Para mencionar los nuevos procesos de fermentación SIAF es una nueva tecnología aplicada al procesamiento fermentativo del café en biorreactores cerrados, creando una modificación en el ambiente de

fermentación al limitar la disponibilidad de oxígeno y permitiendo el desarrollo de microorganismos aerobios facultativos (“Influence of anaerobic fermentation and yeast inoculation on the viability, chemical composition, and quality of coffee” 2023). La anaerobiosis provocada por SIAF genera una disminución de la respiración celular en la semilla, obligada a realizar respiración anaeróbica, lo que se traduce en un mayor consumo de nutrientes para producir la energía necesaria para las funciones de mantenimiento y desarrollo, afectando la viabilidad de la semilla.

Se puede entender que el proceso de fermentación SIAF (Sistema de Inoculación Anaeróbica Focalizada) es una tecnología innovadora aplicada al procesamiento fermentativo del café en biorreactores cerrados. Lo que caracteriza a este proceso es su capacidad para crear un ambiente de fermentación en el cual se limita la disponibilidad de oxígeno, lo que a su vez permite el desarrollo de microorganismos aerobios facultativos. En términos más simples, SIAF provoca una reducción de oxígeno en el proceso de fermentación del café, haciendo que los microorganismos que participan en la fermentación tengan que adaptarse a un entorno con menos oxígeno. Esto tiene varias implicaciones como es la respiración celular, la disminución de oxígeno hace que las células de los microorganismos tengan que cambiar su forma de energía en lugar de utilizar la respiración aeróbica, que requiere oxígeno, se ven obligadas a realizar la respiración anaeróbica, que no depende del oxígeno, esto afecta la forma en que los microorganismos metabolizan los nutrientes.

Este método favorece la producción de cafés especiales generando diferenciación en las características sensoriales con puntajes elevados entre 80 y 86.

9. Conclusiones

Este trabajo de investigación es una revisión bibliográfica y se establecieron las siguientes conclusiones:

- En la actualidad los cafés especiales tienen gran acogida por parte de los consumidores especialmente a nivel Internacional porque son considerados los más suaves, pero esto requieren campañas agresivas de publicidad para inducir el consumo a nivel Nacional e Internacional, esto con el fin de que mejore la calidad de vida de todos los productores colombianos.
- El café constituye un importante renglón de la economía Nacional por lo que el gobierno debe fomentar la investigación y el apoyo para beneficiar a los productores de todo nuestro territorio.
- Los cafés especiales al fomentar su producción y consumo mejoran las condiciones de vida de gran parte de la población colombiana, dedicada a su consumo, y puede constituir una respuesta efectiva para la sustitución de cultivos ilícitos como es el caso del Departamento del Cauca, cuyos pisos térmicos son aptos para el cultivo del café en diversas variedades.
- Se puede concluir que dadas las características de los antioxidantes polis fenólicos naturales que posee el café, ésta bebida ayuda a la prevención de enfermedades, como las neurodegenerativas que tienen un gran componente fisiopatológico que radica en la acumulación de compuestos reactivos de oxígeno a nivel neuronal. Por lo tanto, dado que un proceso postcosecha de calidad influye en la cantidad de antioxidantes en la taza final, por la implementación de métodos complementarios de fermentación que aumenten la cantidad de éstos compuestos poli fenólica con acción antioxidante es muy viable decir que mejoraría los beneficios en cuanto a salud de los consumidores.
- El método SIAF ha demostrado ser efectivo en la mejora de la calidad del café, ya que permite un control más preciso del proceso de fermentación. La fermentación anaeróbica inicial ayuda a desarrollar sabores más complejos y sutiles, mientras que la fase aeróbica posterior permite eliminar sabores indeseables. Esto resulta en un café con perfiles de sabor más distintivos y una mayor consistencia en la taza.

- La fermentación del café es una etapa fundamental en la producción de café de alta calidad, durante este proceso, los azúcares y compuestos orgánicos en los granos de café se descomponen y se transforman, lo que influye en el perfil de sabor y aroma del café final. Algunos de los aspectos claves que incluyen a mejorar el sabor y puede aportar notas de sabor frutales, florales y complejas al café, lo que lo hace más atractivo para los amantes del café.
- Los procesos innovadores en la industria del café han desempeñado un papel fundamental en la evolución y en la mejora de la calidad del café, así como en la sostenibilidad de la producción, entre los aspectos relevantes, es que mejoran la calidad del café, la siembra de los micro lotes se debe fomentar, en cuanto a la producción, el procesamiento y preparación del café que ha llevado a una mejora significativa en la calidad del café.
- La fermentación de café tradicional en las fincas es un proceso crucial en la producción de café de alta calidad. En términos generales, se puede concluir que este proceso contribuye de manera significativa a la formación de los sabores y aromas característicos del café

10. Recomendaciones

- Organizar a los productores por medio de cooperativas y asociaciones con proyecciones de emprendimientos.
- Solicitar y gestionar capacitaciones, giras a otros Departamentos que beneficien a los asociados.
- Solicitar a los entes estatales promover destinos de recursos para la investigación, como lo es Tecnicafé en nuestro Departamento.
- Organizar centros de acopio, para la compra y almacenamiento de café.
- Gestionar el apoyo estatal para certificar fincas con cellos Internacionales, consecución de papelería para proporcionar las exportaciones del grano.
- Solicitar, subsidios que reflejen en los productores que se incentiven en abonos, mercados que mejoren su calidad de vida.
- Hace falta democratizar y buscar equidad en la mujer en la producción y compra de café.
- Empresas que exporten y con un mercado amplio, que cuenten con personal calificado que les mejoren la calidad de vida, en cuanto a capacitaciones a la familia, jóvenes con aprendizajes continuos en el beneficio y proceso del café, realizar procesos de afiliación en salud, pensión, y riesgo laboral por lo que los trabajos que realizan con maquinaria en el beneficio de pos cosecha tienen riesgos que puede afectar la salud de los trabajadores.

Bibliografía-

- Arias, F., Ruíz, A., & Londoño, J. (2018). Análisis del mercado de cafés especiales y el posicionamiento colombiano en las nuevas tendencias mundiales. *Revista de investigación, educación y sociedad*, 7.
- Batista, M., Batista, N., Ribeiro, D., & Schwan, R. (2022). Impacto de la fermentación por anaerobiosis microbiana auto inducida (SIAF) en la calidad del café. . *Elsevier* , 8.
- Café la Bastilla. (s.f). *Café la Bastilla*. Obtenido de Café la Bastilla: <https://cafelabastilla.com/blog/cuales-son-las-caracteristicas-de-una-buena-taza-de-cafe/>
- Federación Nacional de Cafeteros. (s.f). *Café de Colombia*. Obtenido de Café de Colombia: <https://federaciondefcafeteros.org/wp/politica-de-tratamiento-de-datos-personales/>
- Foreman, Z. (16 de marzo de 2023). *¿El café de especialidad está creciendo más rápido que el consumo mundial de café?* Obtenido de *¿El café de especialidad está creciendo más rápido que el consumo mundial de café?:* <https://perfectdailygrind.com/es/2023/03/16/cafe-especialidad-consumo-mundial-cafe/>
- Guerrero, A., Gonzáles Natalia, & Lindy., M. (2022). Oportunidad de los productores de café especiales en Colombia. *Universidad Libre*, 16.
- Jimenez, E. J. M., Martins, P. M. M., Vilela, A. L. de O., Batista, N. N., Rosa, S. D. V. F. da, Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2023). Influence of anaerobic fermentation and yeast inoculation on the viability, chemical composition, and quality of coffee. *Food Bioscience*, 51(102218), 102218. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102218>
- León, M., & Palacio, J. (2019). Gestión y Plan de trazabilidad para el control de variables de calidad durante el beneficio de cafés especiales. *Espacios*, 9.
- Pereira, G., Junior, A., Zulma, V., Medeiros, d., & Soccol, C. (2018). Explorando los impactos del procesamiento oscosecha en la formación del aroma de los granos de café; una revisión. *Elsevier*, 8.
- Prado, D. (2020). Café en Colombia: por qué es importado y de baja calidad el que se toma en el país cafetero por excelencia. *BBC Mundo*, 3.

- Primero Café . (s.f). *¿Qué es la maceración carbónica en el café?* . Obtenido de *¿Qué es la maceración carbónica en el café?* : <https://primerocafe.com.mx/caficultura/que-es-la-maceracion-carbonica-en-el-cafe/>
- Varady, M., Francov, A., Kloucek, P., & Cenicienta, P. (2022). Efecto del método de procesamiento de granos de café de especialidad (natural, lavado, miel, fermentación, maceración) sobre compuestos bioactivos y volátiles. *Elsevier* , 8.
- Velasquez, D. (31 de agosto de 2016). *Café de Especialidad vs Café Comercial: 3 Diferencias Clave en su Proceso*. Obtenido de *Café de Especialidad vs Café Comercial: 3 Diferencias Clave en su Proceso*: <https://perfectdailygrind.com/es/2016/08/31/cafe-de-especialidad-vs-cafe-comercial-3-diferencias-clave-en-su-proceso/>
- Todo sobre la fermentación de café: Guía inicial completa*. (n.d.) October 8, 2023,. Todoparacafe.com. Retrieved from <https://todoparacafe.com/fermentacion-de-cafe-guia-completa>
- Revista Ingeniería y Región, Volumen 27. Enero-Junio de 2022/Universidad Surcolombiana Evaluación del proceso de beneficio semiseco en las variedades de Café (Coffee arábica) Castillo, Colombia y Caturra y su efecto en la calidad
Café, P. (2023, July 8). Fruto del café: viaje de la semilla a su recolección. Primero Café. <https://primerocafe.com.mx/caficultura/fruto-cafe-semilla-etapas-recoleccion/>
- Várady, M., Tauchen, J., Fraňková, A., Klouček, P., & Popelka, P. (2022). Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 172(114245), 114245. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114245>
- Janne Carvalho Ferreira, L., de Souza Gomes, M., Maciel de Oliveira, L., & Diniz Santos, L. (2023). Coffee fermentation process: A review. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 169(112793), 112793. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112793>
- Magalhães Júnior, A. I., de Carvalho Neto, D. P., de Melo Pereira, G. V., da Silva Vale, A., Medina, J. D. C., de Carvalho, J. C., & Soccol, C. R. (2021). A critical techno-economic analysis of coffee processing utilizing a modern fermentation system: Implications for specialty coffee production. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.010>

- Nacional, F., & Café, D. (n.d.). *FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN EL BENEFICIO DEL CAFÉ*. Cenicafe.org. Retrieved October 11, 2023, from <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/345/1/avt0402.pdf>
- Bröhan, M., Huybrighs, T., Wouters, C., & Van der Bruggen, B. (2009). Influence of storage conditions on aroma compounds in coffee pads using static headspace GC–MS. *Food Chemistry*, 116(2), 480–483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.072>
- de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Magalhães Júnior, A. I., Vásquez, Z. S., Medeiros, A. B. P., Vandenberghe, L. P. S., & Soccol, C. R. (2019). Exploring the impacts of postharvest processing on the aroma formation of coffee beans – A review. *Food Chemistry*, 272, 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.061>
- Ramos Cotacallapa, E., Universidad Nacional del Altiplano de Puno - Perú, Lima-Medina, I., & Universidad Nacional del Altiplano de Puno - Perú. (2019). Comparativo de calidad organoléptica de café (*Coffea arabica* L.) en Puno - Perú y La Paz – Bolivia. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(4), 283–292. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.505>
- López Blanco, C. (2021). Caracterización física y factores de conversión de café especial en la finca Agrotakesi, municipio de Yanacachi - La Paz, Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(3), 88–98. <https://doi.org/10.53287/akpb7547uc31d>
- Técnica, G., Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya- Restrepo, E. C., Puerta-Quintero, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., Cadena -Gómez, G., Científico, I., Biometría, I., Calidad, I., & Ambiental, M. (n.d.). *PROPIEDADES FÍSICAS Y FACTORES DE CONVERSIÓN DEL CAFÉ EN EL PROCESO DE*. Cenicafe.org. Retrieved October 11, 2023, from <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Libia Fonseca-García M.Sc., Lilia S. Calderón-Jaimes Ph.D, María E. RIVERA Ph.D. (N.d.). *BENEFICIOANTIOXIDANT CAPACITY AND TOTAL PHENOL CONTENT IN COFFEE AND COFFEE BY-PRODUCTS PRODUCED AND MARKETED IN NORTE DE SANTANDER (COLOMBIA)* Org.Co. Retrieved October 11, 2023, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042014000300008
- Jeszka-Skowron, M., Zgoła-Grześkowiak, A., & Grześkowiak, T. (2015). Analytical methods applied for the characterization and the determination of bioactive compounds in coffee. *European Food Research and Technology*, 240(1), 19–31. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2356-z>
- Cromatografía de Gases/Espectrometría de Masas (GC/MS) – Instituto de Química Aplicada.* (n.d.). www.uv.mx. Retrieved October 11, 2023, from <https://www.uv.mx/sara/equipamiento/gcms/>

da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020). Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International (Ottawa, Ont.)*, 136(109482), 109482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>

Anexos

Se selecciona el estado de madurez deben de ser color rojo brillante



Figura 13 frutos maduros finca cuatro esquinas-Departamento del Cauca

Se realiza el recorrido a la finca para capacitar a los productores para cosechar el café en buen estado de madurez, sobre maduros y pintones se los separa



Figura 14 Imagen tomada en la finca Cuatro esquinas en el Departamento del Cauca

Se capacita a los productores referente al trillado y defectos del Café para la comercialización



Figura 15 Imagen tomada en la finca cuatro Esquinas del Departamento del Cauca

Tostado del café para degustar e identificar las características organolépticas de la variedad que se utilizó (variedad castillo y caturra)



Figura 16 tomada en la Finca Cuatro Esquinas del Departamento del Cauca

Preparación de café de forma tradicional con el uso del colador y con la italiana para identificar sabores en taza.



Figura 17 Imagen tomada en la finca preparando café