



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 27 de enero del 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

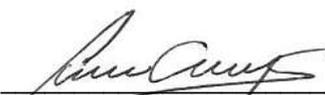
Laura Vanesa Anaya Son, con C.C. No. **1.081.413.966 de La Plata (H)**, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado **MÉTODOS DE FERMENTACIÓN, AVANCES Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL CAFÉ**, presentado y aprobado en el año **2023** como requisito para optar al título de **Magíster en Ciencia y Tecnología del Café**;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: 

Vigilada Mineducación

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN DE BIBLIOTECAS				   		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Métodos de fermentación, avances y sus efectos en la calidad del café.

AUTOR O AUTORES: Laura Vanesa Anaya Son

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Anaya Son	Laura Vanesa

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gutiérrez Guzmán	Nelson
Bustos Vanegas	Jaime Daniel

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ciencia y Tecnología del Café

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en Ciencia y Tecnología del Café

CIUDAD: Neiva, Huila

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2023

NÚMERO DE PÁGINAS: 20

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros___

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Lector de PDF

MATERIAL ANEXO: Ninguno

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria): Ninguno

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Parámetros fisicoquímicos	Physicochemical parameters
2. Atributos de calidad	Quality attributes
3. Control de calidad	Quality control
4. Proceso agroindustrial	Agroindustrial process
5. Técnicas de procesamiento	Processing techniques

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El café es un producto altamente comercializado a nivel mundial, cada día los consumidores son más exigentes en la calidad del mismo. Investigadores y caficultores han tratado de mejorar la forma de obtener un mejor grano mediante técnicas y procesos novedosos con el objetivo de tener una taza limpia, única y exquisita que cualquier comprador esté dispuesto a pagar un mayor precio. Siendo el proceso de postcosecha punto crítico para atender las exigencias del mercado, se priorizó la búsqueda de información bibliográfica específicamente en el proceso, técnicas y metodologías de fermentación de los últimos 20 años. Se encontró que existen innumerables procesos que han tomado fuerza y popularidad en la industria del café, donde algunos procesos son réplicas de procesos industriales como la enológica. Algunas de las metodologías de fermentación en café encontradas; inoculación de microorganismos iniciadores, biorreactores con control de parámetros fisicoquímicos, sensores digitales con el objetivo de obtener datos para estandarizar procesos, adición de dióxido de carbono (CO₂) conocido como maceración carbónica o nitrógeno (N), entre otros. Se realizó una búsqueda en bases de datos especializadas (Scopus, PubMed, Web of science, Scielo) donde se filtró información empleando una amplia gama de términos de búsqueda, como café, fermentación, metodologías, procesamiento, grano café, control de calidad, biorreactores y tanques de fermentación. El proceso de búsqueda descubrió algunos productos de investigación, entre ellos; artículos, libros, normas como también algunas patentes y contribuciones de internet donde se analizó información relacionada con control de calidad, metodologías de procesamiento, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Coffee is a highly commercialized product worldwide and every day consumers are more demanding in its quality. Researchers and coffee growers have tried to improve the way to obtain a better bean through new techniques and processes with the objective of having a clean, unique and exquisite cup that any buyer would be willing to pay a higher price for. Since the post-harvest process is a critical point to meet the demands of the market, priority was given to the search for bibliographic information in the area of coffee post-harvest, specifically in the process of processing according to its routes (dry, semi-dry and wet) in the last 20 years, including the inoculation of starter microorganisms, followed by the monitoring and control of physicochemical parameters by means of digital sensors, the addition of CO₂ known as carbonic maceration, among others. A search was conducted in specialized databases (Scopus, PubMed, Web of science, Scielo and Dialnet) where information was filtered using a wide range of search terms, such as coffee, fermentation, methodologies, processing, coffee bean, coffee cherry, quality control, bioreactors and fermentation tanks. The search process uncovered some research products, including articles, books, standards, as well as some patent specifications and Internet contributions where only information related to quality control, processing methodologies, physicochemical, microbiological and sensory parameters related to coffee processing were analyzed.

APROBACIÓN DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Claudia Milena Amorocho Cruz

Firma:

Métodos de fermentación, avances y sus efectos en la calidad del café

Fermentation methods, developments and their effects on coffee quality

Laura Vanesa Anaya Son^{1*}, Jaime Daniel Bustos Vanegas², Nelson Gutiérrez Guzmán³.

Fecha de recibo:

Fecha de revisión:

Fecha de aprobación:

Resumen

El café es un producto altamente comercializado a nivel mundial, cada día los consumidores son más exigentes en la calidad del mismo. Investigadores y caficultores han tratado de mejorar la forma de obtener un mejor grano mediante técnicas y procesos novedosos con el objetivo de tener una taza limpia, única y exquisita que cualquier comprador esté dispuesto a pagar un mayor precio. Siendo el proceso de postcosecha un punto crítico para atender las exigencias del mercado, se priorizó la búsqueda de información bibliográfica en el área de la postcosecha de café, específicamente en el proceso, técnicas y metodologías de fermentación de los últimos 20 años. Se encontró que existen innumerables procesos que han tomado fuerza y popularidad en la industria del café, donde algunos procesos son réplicas de procesos industriales como la enológica. Algunos de las metodologías de fermentación en café encontradas fue la inoculación de microorganismos iniciadores, uso de biorreactores con control de parámetros fisicoquímicos, uso de sensores digitales con el objetivo de obtener datos para estandarizar los procesos, la adición de dióxido de carbono (CO₂) conocido como maceración carbónica o nitrógeno (N), entre otros. Se realizó una búsqueda en bases de datos especializadas (Scopus, PubliMed, Web of science, Scielo y Dialnet) donde se filtró la información empleando una amplia gama de términos de búsqueda, como café, fermentación, metodologías, procesamiento, grano café, cereza de café, control de calidad, biorreactores y tanques de fermentación. El proceso de búsqueda descubrió algunos productos de investigación, entre ellos; artículos, libros, normas como también algunas especificaciones de patentes y contribuciones de internet donde se analizaron únicamente información relacionada con control de calidad, metodologías de procesamiento, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales relacionados con el beneficio del café.

Palabras clave: Parámetros fisicoquímicos, atributos de calidad, control de calidad, proceso agroindustrial, técnicas de procesamiento.

Abstract

Coffee is a highly commercialized product worldwide and every day consumers are more demanding in its quality. Researchers and coffee growers have tried to improve the way to obtain a better bean through new techniques and processes with the objective of having a clean, unique and exquisite cup that any buyer would be willing to pay a higher price for. Since the post-harvest process is a critical point to meet the demands of the market, priority was

¹ Ing. Agrícola. Universidad Surcolombiana (Colombia), Av. Pastrana Borrero Cra 1. Email: lava250325@hotmail.com

² PhD. Ingeniería agrícola, Universidad Federal de Viçosa (Brasil). Email: jaime.bustos@usco.edu.co

³ PhD. Ciencia e ingeniería de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia (España). Email: ngutierrezg@usco.edu.co

given to the search for bibliographic information in the area of coffee post-harvest, specifically in the process of processing according to its routes (dry, semi-dry and wet) in the last 20 years, including the inoculation of starter microorganisms, followed by the monitoring and control of physicochemical parameters by means of digital sensors, the addition of CO₂ known as carbonic maceration, among others. A search was conducted in specialized databases (Scopus, PubMed, Web of science, Scielo and Dialnet) where information was filtered using a wide range of search terms, such as coffee, fermentation, methodologies, processing, coffee bean, coffee cherry, quality control, bioreactors and fermentation tanks. The search process uncovered some research products, including articles, books, standards, as well as some patent specifications and Internet contributions where only information related to quality control, processing methodologies, physicochemical, microbiological and sensory parameters related to coffee processing were analyzed.

Keywords: Physicochemical parameters, quality attributes, quality control, agroindustrial process, processing techniques.

1. Introducción

El café es uno de los productos agrícolas más representativos e importantes a nivel mundial y su consumo aumenta constantemente a una tasa anual media del 3.5% (Magalhães Júnior et al., 2021). Después del petróleo, es el “Commodity” más comercializado (Hu et al., 2020). Representa una de las bebidas habituales de mayor consumo del mundo, cuya popularidad ha llevado a la necesidad de profundizar en estudios para mejorar los procesos que permitan mejorar la calidad de la taza (Ruta & Farcasanu, 2021). El mercado internacional se encuentra dominado por dos especies de café; *Coffea arabica*, originario de Etiopía y *Coffea canephora*, procedente de África Central; actualmente, nuevos hábitos de consumo han exigido la incorporación de técnicas para presentar a los consumidores tazas especiales, lo que ha requerido el desarrollo o la implementación de procesos postcosecha diferenciados (Haile & Kang, 2019; van der Merwe & Maree, 2016).

Según Iriondo-DeHond et al., (2019), en general existen 10 etapas para el procesamiento de café: plantación, cosecha, procesamiento de las cerezas, secado, trillado, comercialización, control de calidad, tueste, molienda y, finalmente, elaboración de la bebida. En el procesamiento de la cereza, el café se clasifica según metodología utilizada (de Carvalho Neto et al., 2020a). Tradicionalmente se han implementado tres tipos de beneficio; seco, semiseco y húmedo (G. V. de Melo Pereira et al., 2015; Ribeiro et al., 2017). El café vía seca o también conocido como “café natural” se realiza a partir de las cerezas recién cosechadas expuestas directamente al sol; el café vía semiseca o “honey” las cerezas recién despulpadas se someten al proceso de secado; y el procesamiento vía húmeda conocido como “café lavado” consta de varias etapas, a saber, despulpado, fermentación, lavado y secado (Sofía Torres-Valenzuela et al., 2020; Vinícius de Melo Pereira et al., 2017b).

Para obtener una buena bebida de café, es necesario tener en cuenta diferentes factores intrínsecos y extrínsecos; intrínsecos como la especie y variedad genética e extrínsecos como; agroclimatológicos, labores del cultivo, labores de postcosecha, entre otros, todos desempeñando un papel clave que permitan definir la calidad del café (Hu et al., 2020; Temis-Pérez et al., 2011).

La fermentación, es una de las etapas que impactan directamente la calidad del café (de Carvalho Neto et al., 2020a). Un sustrato importante para la fermentación de los microorganismos es el mesocarpio (mucílago) que se encuentra adherido a los frutos. Este mucílago, está compuesto principalmente por azúcares simples y un sustrato

péptico, los cuales se convierten exotérmicamente en alcoholes y ácidos orgánicos (Correa et al., 2014). De igual manera, se presenta la producción de metabolitos, que conducen a una disminución del pH (Avallone, Guyot, et al., 2001) y se observa un cambio de textura, luego del cual se puede utilizar el lavado para eliminar este mucílago. Masoud & Jespersen, (2006) y Peñuela-Martínez et al., (2010) sugieren la temperatura entre los 25-30 °C y los valores finales de pH cercanos a 4.0 como las principales variables de control, las cuales pueden ser utilizadas para definir el momento para finalizar el proceso de fermentación.

La línea de investigación en la que se está trabajando con mayor énfasis para impactar la operación de fermentación de café, está asociada a la implementación de cultivos iniciadores, lo cual revela la importancia del uso de levaduras (Ruta & Farcasanu, 2021) y bacterias ácido lácticas. La producción microbiana, ácidos orgánicos y alcoholes se difunden en los granos de café, brindándole un atributo sensorial muy marcado y diferenciado (de Oliveira Junqueira et al., 2019).

Por lo anterior, el objetivo del presente artículo es realizar una síntesis respecto a los diferentes avances en la etapa de fermentación de café, mostrando los estudios que otros investigadores han realizado enfocados en mejorar la calidad fisicoquímica y sensorial del café.

2. Métodos.

Se realizaron búsquedas electrónicas en la literatura científica, incluyendo las bases de datos PubMed, Google Scholar, web of science, Scopus. Inicialmente se realizó una búsqueda general con la ecuación “*TITLE-ABS-KEY (coffee AND fermentation)*” encontrándose 891 artículos relacionados en más de 20 áreas temáticas. Finalmente se decidió emplear una ecuación de búsqueda más objetiva que filtre únicamente las investigaciones que se desean, empleando una amplia gama de términos de búsqueda, como café, fermentación, metodologías, procesamiento, grano café, cereza de café, biorreactores y tanques de fermentación. El proceso de búsqueda descubrió algunos productos de investigación, entre ellos; artículos, libros, leyes, especificaciones de patentes y contribuciones de Internet. Sólo se revisaron los temas relacionados con el control de calidad, metodologías de procesamiento, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales relacionados con la fermentación de café. Se excluyeron palabras como cascara, pulpa, pergamino, subproductos, café instantáneo entre otros. La ecuación de búsqueda utilizada finalmente fue:

“TITLE-ABS-KEY (((coffee OR “coffee cherry” OR “coffee bean”) AND NOT (cascara OR pulp OR husk OR waste OR by-products OR “instant coffee”)) AND (fermentation) AND (method OR bioreactor OR “fermentation tank” OR “fermentation parameters”) AND (process*)).*

3. Análisis bibliométrico.

En la figura 1 se visualiza la evolución del número de artículos científicos publicados a nivel mundial relacionados con la fermentación en café, se observa que después del año 2010 se incrementa notoriamente las publicaciones realizadas en el área de fermentación de café.

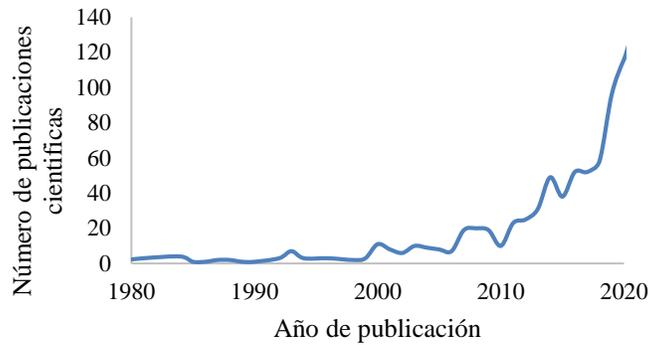


Figura 1. Evaluación de las publicaciones relacionadas con fermentación de café.

En la Figura 2 se observa la conexión de los artículos encontrados que están relacionados con la fermentación de café para la primera ecuación de búsqueda. Cuanto mayor es el número de interacción que presenta las palabras clave encontradas por el algoritmo, mayor es el número de investigaciones realizadas. Los colores representan el año de publicación, en los que se puede demostrar que los temas de investigación han evolucionado a través del tiempo. Desde los años 2012, se encontraron que los focos de investigación en el área de la fermentación de café han sido relacionados con los microorganismos hongos y bacterias, estudios microbiológicos de inocuidad, síntesis enzimática, entre otros. Seguidamente, en los años 2012-2016 las investigaciones se enfocaron en la composición química de los cafés fermentados, el estudio de los metabolitos producidos por los microorganismos, los avances en nuevas tecnologías y procedimientos, estudios de los carbohidratos, la inoculación de microorganismos. Finalmente, investigaciones recientes se han enfocado en el estudio de fermentaciones controladas con cultivos iniciadores, estudios de compuestos antioxidantes, ácidos grasos volátiles y estudios de microorganismos con acción probiótica presentes en la fermentación del café (Khochapong et al., 2021).

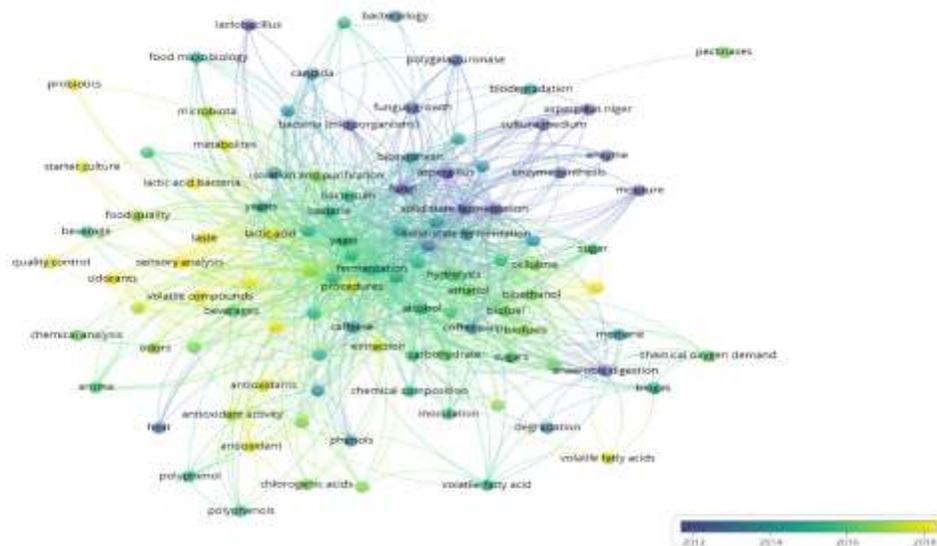


Figura 2. Las redes bibliométricas de VOSviewer de 891 artículos científicos relacionados con la fermentación de café encontrados en Scopus (Palabras escritas en inglés)

4. Microorganismos en la fermentación del café: cambios en las características del café.

El proceso de fermentación fue descubierto por Pasteur, quien lo describió como “la vida sin aire” (GADOURY et al., 2012). En el café, los procesos fermentativos espontáneos (natural) se producen principalmente en la parte externa del endospermo (semilla o grano) (Elhalis et al., 2020). Con respecto a la parte externa del grano, nos referimos al pericarpio que comprende el exocarpio o epicarpio, mesocarpio externo (mucílago adherido al exocarpio), mesocarpio interno (mucílago adherido al grano) y endocarpio (G. v de Melo Pereira et al., 2020; Ruta & Farcasanu, 2021). Los procesos fermentativos se atribuyen principalmente al mucílago presente en la cereza café (Lee et al., 2015; Moreno Cárdenas et al., 2020). El mucílago se compone de agua (90 %), proteínas (1%), minerales (0.45%), lípidos (0.1%), carbohidratos (8-10%) y azúcares reductores (2-8%) (Avallone et al., 2000; Avallone, Guiraud, et al., 2001; Iriondo-DeHond et al., 2020; Osorio Pérez et al., 2022), esta composición puede variar por factores agroclimatológicos, especie, variedad, prácticas agronómicas, grado de madurez del grano, entre otros (de Bruyn et al., 2017c; Prakash et al., 2022). El mucílago representa un medio ideal para el crecimiento de microorganismos como las bacterias, levaduras y algunos hongos. Esta microbiota puede estar presente de forma nativa o inducida debido a factores externos tales como; equipos de procesamiento, personas, animales, insectos, instalaciones, utensilios, entre otros (Puerta Quintero, 2012b).

Las bacterias presentes en la fermentación del café, son en su mayoría del género *Lactobacillus* (Arias Zabala et al., 2009; Avallone et al., 2002) donde se les atribuye la producción de ácido láctico produciendo la acidificación del medio (Avallone et al., 2002; de Bruyn et al., 2017a). Las bacterias presentes en la cereza del café son en su mayoría las del ácido láctico, algunos autores han encontrado cuatro clases (Leuconostocaceae, Lactobacillaceae, Streptococcaceae y Enterococcaceae) y pertenecen a los géneros taxonómicos *Leuconostoc*, *Fructobacillus*, *Weissella*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus* y *Enterococcus* (de Carvalho Neto et al., 2018; G. v de Melo Pereira et al., 2020) sin embargo, también se pueden encontrar bacterias del ácido acético (*Luconobactercerinus*, *Acetobacter persici*, las *Enterobacteriaceae* *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Erwinia*) (Elhalis et al., 2020). Por otro lado, también se encuentran levaduras en el proceso, donde predomina el género *Saccharomyces* (de Carvalho Neto et al., 2017), de las cuales se ha observado su impacto en la modulación de los sabores y aromas que pueden llegar a desarrollarse en la bebida, y que se originan durante el procesamiento del café (Bressani et al., 2020a; de Carvalho Neto et al., 2020b), Además de *S. cerevisiae*, se han detectado numerosas especies de levaduras de diferentes géneros en las etapas de procesamiento del café, entre las que se incluyen *Pichia kluyveri*, *Candida*, *Torulasporm delbrueckii* (de Bruyn et al., 2017a; Evangelista et al., 2014; Martínez et al., 2017a), *Hanseniaporauvarum*, *H. vineae* y *Meyerozyma caribbica* (de Carvalho Neto et al., 2017). En el caso de los hongos, están presentes en menor porcentaje, y se han reportado los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Candida*, *Saccharomycopsis* y *Trichoderma*, a los cuales se le atribuyen la producción de ácido cítrico (Vandenbergh et al., 2000). En conjunto, los microorganismos influyen durante la fermentación del café debido a la interacción que tienen con los sustratos de la cereza, se puede encontrar más de 800 compuestos químicos como los ácidos orgánicos (e.g. cítrico, málico, succínico, clorogénico y quínico), compuestos volátiles (e.g. alcoholes, aldehídos y ésteres), furanos, furanonas, piranos y pironas, cetonas, lactonas, fenoles, pirazinas, piridinas, pirroles y tiofeno (Elhalis et al., 2020) además pueden producir micotoxinas o tener la funcionalidad de ser biocontroladores de algunos procesos bioquímicos (Brando & Brando, 2014; Nigam & Singh, 2014; Willaert, 2020).

La interacción entre sustrato, grano y metabolitos producido por los microorganismos se da por endósmosis, que se refiere a la difusión de compuestos del mucílago al endospermo (Avallone, Guiraud, et al., 2001) o exósmosis entre el grano y el mucílago en algunas de las etapas de la fermentación, aunque ambos fenómenos se presentan hasta que se logra un equilibrio del potencial químico (Salem et al., 2022). De Bruyn et al., (2017b) encontraron metabolitos asociados a las bacterias ácido lácticas producidas en el mucílago del café, presentes también en el endospermo.

Durante la fermentación espontánea ocurren procesos de tipo oxidativo en azúcares (Akillioglu & Gökmen, 2014; Lee et al., 2017), producción de etanol (Orrego et al., 2018), producción de ácido láctico (Neu et al., 2016), y de los ácidos acético, cítrico, fórmico, propiónico y burítico (Puerta Quintero, 2012b). Así mismo, se ha reportado

reacciones de tipo hidrólisis enzimática durante la degradación del mucílago, causada por enzimas pectinasa y pectasa microbianas (Nigam & Singh, 2014). Además, se observa la producción de dióxido de carbono, pardeamiento y generación de compuestos volátiles que dependen de factores como la variedad, cantidad de mucílago, tiempo de recolección, pH, sólidos solubles, temperatura y composición química del grano, modulación de la ecología microbiana, presencia/ausencia del oxígeno, entre otros (G. v de Melo Pereira et al., 2020; Martins et al., 2020).

Por otro lado, la fermentación puede ser “*espontánea*” (natural) o “*artificial*” cuando se modifican las condiciones naturales, sustratos o se inoculan microorganismos. En la actualidad, los caficultores realizan este proceso de manera artesanal, donde se observa que modifican el proceso en búsqueda de nuevos perfiles empíricamente sin sustento científico en estos procesos con el objetivo de “probar” nuevos perfiles sensoriales. Algunas de las modificaciones vistas son: Volumen de la masa de fermentación, tiempo, adición de agua, sistema de fermentación cerrado o abierto, agitación de la masa, inoculación con levaduras (para conferir atributos diferenciados), adición de enzimas (para el desprendimiento y degradación del mucílago) (Elhalis et al., 2021), adición de otros productos diferentes al café (zumo de frutas, especies, yogurt, entre otros) y la inyección de gases (CO₂, N, entre otros) a presiones establecidas (Brioschi Junior et al., 2021). Puerta Quintero, (2012) encontró que en Colombia se realizan fermentaciones sumergidas que suelen ser más homogéneas (Nigam & Singh, 2014), con sistemas abiertos o cerrados, continuos o en *batch*, estáticos o con agitación, temperaturas controladas (Peñuela-Martínez et al., 2018; L. F. B. Pereira et al., 2020), acidez monitoreada u controlada, recirculación del mucílago y otros factores extrínsecos documentados (Carbajal-Guerreros et al., 2022)

5. Importancia del proceso de fermentación del café, cinética del proceso.

El mucílago del café, es un residuo líquido viscoso, cuyas propiedades químicas y físicas varían según la especie y la variedad (de Castro & Marraccini, 2006a). Está compuesto por: agua (84,2%), la cual, según algunos estudios, la relación mucílago/agua, aumenta a medida que aumenta la altitud (de Castro & Marraccini, 2006b) proteínas (8,9%), azúcares reductores (4,1%), pectinas (0,91%) y cenizas (0,7%) (H. D, Belitz & Grosch, 2009). Según Haile & Kang, (2019) es fundamental para entender la fermentación, conocer la composición química del mucílago, ya que al momento de interactuar con los microorganismos que lo descomponen, se van presentando algunas de las características que contribuyen en la calidad de la bebida, y su intensidad o concentración van a depender de los compuestos que posee el mucílago.

La fermentación, consiste en un proceso fisicoquímico y microbiológico, en el cual se descomponen las moléculas complejas en moléculas simples; durante su proceso, se generan algunos compuestos líquidos y otros gaseosos, denominados compuestos volátiles (Haile & Kang, 2019). Hasta hace unos años, el objetivo principal de la fermentación era la eliminación del mesocarpio (mucílago) que se encuentra adherido a los frutos; esto, debido a la acción de los microorganismos responsables del proceso fermentativo (como las levaduras y las bacterias ácido lácticas) que logran desempeñar una cadena de funciones como lo es la degradación del mucílago por medio de la actividad pectinolítica que inhiben el crecimiento de hongos productores de micotoxinas y la producción de componentes activos del sabor (Vinícius de Melo Pereira et al., 2017b).

Los recientes hallazgos derivados de investigaciones científicas indican que esta operación impacta directamente en la calidad del café (Vinícius et al., 2020), ya que ocurren procesos en los que interviene una gran diversidad microbiana como los son: hongos filamentosos, levaduras y bacterias Gram-negativas y Gram-positivas (Evangelista et al., 2014) aportando atributos organolépticos que hacen del producto final especial y único. Estos microorganismos asociados al mucílago del café, por medio de sus enzimas nativas oxidan parcialmente los azúcares, produciendo energía (ATP), etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono, entre otros compuestos alcohólicos; de igual

manera se produce una degradación de los lípidos provocando un cambio de color, olor, densidad, acidez, pH, sólidos solubles, temperatura y la composición química y microbiana del sustrato (Puerta Quintero, 2012a). Los ácidos orgánicos, azúcares, aromas, incluidos los compuestos heterocíclicos, que hacen parte de la composición química del grano de café, son los que determinan los atributos sensoriales; pero no solo estos factores determinan la calidad de la bebida de café, ésta, también depende de factores físicos, cómo el color, el tamaño, los granos defectuosos que se presenten (Cheng et al., 2020), también el grado de tueste, que junto a los factores anteriormente mencionados desempeñan un papel clave en las características organolépticas, las cuales definen la calidad de los granos de café (Hu et al., 2020).

Con el fin de obtener una buena bebida de café, es necesario llevar un control en los procesos de fermentación, ya que esta fase es un paso esencial para la actividad microbiana que produce enzimas que hidrolizan pectinas u otros compuestos que se convertirán en precursores del sabor y aromas (Ariza et al., 2012). Sin embargo, la fermentación, ha sido una de las etapas menos controladas (Correa et al., 2014), y al ser un proceso que puede perjudicar todo lo desarrollado anteriormente en campo detectándose defectos en taza del café. Durante la fermentación de café actúan una serie de enzimas producidas por microorganismos para degradar las pectinas presentes en el mucílago, las más significativas son: la pectina liasa, la pectina metil esterasa y la poligalacturonasa (Cantarel et al., 2009; Haile & Kang, 2019). Esta última, es la principal enzima que afecta directamente en la fermentación del café, ya que se encarga de catalizar la hidrólisis de los enlaces α -1,4 glicosídico en pectinas como el ácido poligalacturónico (Kashyap et al., 2001).

De acuerdo a lo anterior, Puerta & Echeverry, (2015) menciona que, por medio de la tecnología de fermentaciones controladas, es posible producir bebidas con aromas y sabores especiales, como pueden ser cítricos, dulces, frutales y tostados; los cuales dan un valor agregado al producto y contribuyen en la consistencia de su calidad. Para esto, es necesario controlar la temperatura, la calidad del agua, la inocuidad del café (teniendo en cuenta una adecuada recolección selectiva) y los tiempos del proceso de fermentación. Masoud & Jespersen, (2006) y Peñuela-Martínez et al., (2010). De igual manera, es de gran importancia llevar a cabo buenas práctica de lavado, secado, almacenamiento y tueste, con el fin de lograr conservar, las características especiales del café obtenidas mediante la fermentación controlada (Puerta & Echeverry, 2015b).

6. Factores controlables de la fermentación.

El control de pH y temperatura, se utiliza en diferentes países cafeteros con el fin de mejorar la calidad de la taza del café ya que desempeñan un papel importante en la modulación de los sabores y aromas influyendo en la composición del café; según estudios realizados por Peñuela-Martínez et al., (2018), la temperatura y el pH son variables críticas en el proceso de la fermentación, cuando se produce la fermentación espontánea la temperatura de la masa del café aumenta entre 4 y 8°C y el pH disminuye a valores entre 5.5 y 4.0 e incluso inferiores, la tendencia es que disminuye el pH durante el proceso de fermentación, esto se debe a un aumento de la acidez de la masa, que coincide con la producción de ácidos a partir de los azúcares y del rompimiento de las pectinas presentes en el mucílago de café. A su vez menciona que, para mejorar la calidad de la taza, el valor de pH debe ser superior a 4.0 al final de la fermentación (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016a).

El control de la temperatura afecta en el tiempo de la fermentación, a temperaturas altas los procesos metabólicos se aceleran. Dicho control es de dificultad, ya que las condiciones de temperatura tanto externa como interna, son

importantes dentro del proceso, puesto que mantienen la viabilidad de los microorganismos y enzimas que actúan dentro de la fermentación. La microflora presente en estos procesos fermentativos está principalmente representada por microorganismos mesófilos, los cuales crecen a temperaturas aproximadamente a 15°C (Córdoba Castro & Guerrero Fajardo, 2016b), por ende, este control se aplica dentro del tanque de fermentación permitiendo ajustar los parámetros en línea, obteniendo un buen resultado de fermentación y produciendo café de alta calidad. (Y. Wang et al., 2015), por otro lado, la geometría de los tanques tal vez afectaba la uniformidad de la fermentación. (Bryman, 2015).

La duración de la fermentación afecta significativamente a la composición de la comunidad microbiana. Según estudio realizado por Zhang et al., (2019) se usaron diferentes tiempos de fermentación, siendo el más extenso de 72 horas, una mayor duración de la fermentación aumenta la prevalencia numérica de las BAL, y según ellos desde la perspectiva metabólica y sensorial, entre todas las variantes de procesamiento aplicadas, la duración de la fermentación tuvo el mayor impacto en las composiciones del grano de café verde y en la calidad sensorial de los cafés elaborados, seguido del tipo de procesamiento y de la aplicación de una etapa de remojo.

Según Samaniego Rodríguez, (2019b) el tiempo de fermentación depende de factores como la temperatura del ambiente, la microbiota local y la cantidad de sólidos totales que posea el café, estadísticamente evidenciaron que el tiempo de fermentación produce cambios en los atributos del aroma.

7. Metodologías implementadas en la operación unitaria de la fermentación de café.

Luego de la recolección de la cereza, el caficultor deberá tomar la decisión de procesar el café. La decisión que debe de tomar el caficultor tradicionalmente se realiza por tres vías: vía seca o natural, vía húmeda y vía semi-seca;

7.1 Vía seca:

El método seco (natural) fue el primer proceso que se realizó desde que el café se empezó a procesar. Los granos de cereza se someten al proceso de secado sin necesidad de quitar sus capas, por tal razón no es necesario equipos como la despulpadora. Una de las características del proceso es que es de baja contaminación, ya que sustancias como el mucílago presente en la cereza no se separa del grano hasta secarse completamente a humedades en base húmeda del 10-12% (Batista et al., 2015).

7.2 Vía húmeda:

Durante el procesamiento vía húmeda (también llamado lavado), las cerezas de café se someten a una separación de las capas externas del endospermo, la pulpa es separada mediante equipos mecánicos llamados despulpadoras. En este proceso se puede realizar o no fermentación dejando en reposo el café húmedo adherido al mucílago, por otro lado, se puede desmucilaginar mecánicamente con el objetivo de adelantar el proceso de desprendimiento del mucílago al grano de café de forma rápida para su posterior secado. En este proceso es usual el consumo de agua en el proceso de despulpado, lavado de los granos luego del desprendimiento del mucílago biológicamente, pasado el tiempo de fermentación o por medio del desprendimiento mecánico con agua a presión (desmucilaginado). Por último, el café pasa a secado hasta llegar a humedades recomendadas (L. L. Pereira et al., 2020).

7.3 Vía sémi-seca:

Esta metodología es una similitud del procesamiento vía húmeda sin la etapa de degradación del mucílago en la etapa de fermentación. También llamado (despulpado natural), el café se somete a despulpado y directamente puede pasar a la etapa de secado, las modificaciones que puede realizar el caficultor durante su procesamiento es el cambio de capas de café durante el secado, puede adicionar una pequeña fermentación antes del secado. El proceso consiste en dejar secar el grano junto con el mucílago hasta llegar a la humedad recomendada (Batista et al., 2015; Martinez et al., 2017b).

8. Algunas metodologías de procesamiento del café:

Se han documentado innumerables metodologías de procesamiento de la cereza del café. A continuación, se investigaron las diferentes metodologías más representativas del procesamiento del café que han sido documentadas (Ver tabla 1):

Tabla 1. Metodologías documentadas para el procesamiento del café.

Terminología	Descripción	Referencias
Thermalshok	<p>Es un proceso que poco que se conoce del efecto de adición del calentamiento de la masa de café durante la fermentación, aunque hasta el momento no se han publicado artículos científicos de este tipo de metodología, se han introducido en el mercado comercial este tipo de procesos. Se conoce que en la finca “el paraíso” en Colombia ofrece este tipo de procesos (https://en.neroscurocoffee.com/products/finca-el-paraiso-thermal-shock-by-diego-bermudez-red-plum-protocol).</p> <p>El proceso consiste en someter la masa que se encuentra en fermentación a un choque térmico a temperaturas superiores de 40°C por corto tiempo de exposición donde posteriormente se baja la temperatura drásticamente, es probable que se produzca la eliminación de microorganismos metanogénicos que se pueden producir durante la degradación de la pulpa del café a fermentaciones prolongadas, lo cual puede producir sustancias tóxicas como metano disminuyendo la calidad del café.</p>	(Bulthuis, 2021; Rangel et al., 2022; Widjaja et al., 2017)
Koji	<p>Este proceso consiste en la inoculación de cepas de koji, hongo proveniente de algunos cereales como el arroz, salvado de trigo, soja, entre otros, siendo utilizado en la cocina tradicional de china y Japón. Inicialmente se presentó este proceso al mundo en el campeonato mundial de barismo en el 2020 por Kaapo Paavolainen.</p> <p>El hongo <i>Aspergillus oryzae</i> (koji), es un medio enzimático hidrolítico concentrado necesario en los pasos posteriores del proceso de fermentación de la salsa, producción de soja o del ácido cítrico. Este proceso se ha implementado en granos de café cereza y granos de café verde, por lo general las muestras visualmente presentan esporas del hongo. Hasta el momento, no existen investigaciones científicas de esta técnica en café pero comercialmente se encuentran lotes de cafés procesados de esta manera.</p>	(Katayama, 2021; Lancashire, 2021a, 2021b; Raimbault, 1998)
Barrel aged	<p>Las cerezas de café se someten al proceso de fermentación en barricas de madera donde anteriormente se han producido otros alcoholes comerciales de la industria alimentaria como el</p>	(Jayaram, 2022; Mercanta, 2022)

	whisky, ginebra, ron, vino y otras variedades de licor. Este proceso cambia las características sensoriales de los granos de café confiriendo los sabores y aromas característicos de los tanques donde se realizó el proceso (https://mutombocoffee.com/the-barrel-aged-coffee-process-brew-tips/).	
Giling Basah / Wet Hulled	Giling Basah (que significa "descascarado húmedo") es una técnica utilizada por los productores de café de Indonesia. El proceso es similar al de vía húmeda, donde la cereza se despulpa, luego pasa al proceso de fermentación hasta permitir la degradación del mucílago o cuando el caficultor lo considere. En lugar de secar los granos de café hasta que alcancen un contenido de humedad en base húmeda del 10-12 %, el proceso de Giling Basah se "seca" hasta llegar a un promedio de humedad de 25 al 50 %, luego se descascarilla el pergamino (remoción del pergamino) mediante trilladoras especializadas para café húmedo y posteriormente termina el proceso de secado.	(Batali et al., 2022)
Monsoon	<p>El café monzónico es un café especial que sólo se produce en la India. Como el proceso se lleva a cabo durante el periodo monzónico, el tiempo de monzón depende de las precipitaciones y de la humedad atmosférica. Los métodos tradicionales empleados en el proceso de monzón favorecen el crecimiento de microorganismos, que pueden afectar a la calidad del producto.</p> <p>El "proceso" del monzón ocurrió primero por accidente hace unos cientos de años en los clíperes que transportaban café verde de la India a Europa durante la temporada del monzón. El viaje expuso los granos de café verde a la humedad y los vientos extremos. Ahora, el proceso se recrea para reflejar ese viaje, con las cerezas depositadas en el puerto de Malabar, India, durante tres o cuatro meses durante la temporada del monzón, exponiendo las judías verdes a los mismos vientos extremos, humedad y lluvia.</p>	(Jethwani, 2019)
Maceración carbónica	Es un proceso que explora la adaptabilidad de las frutas a un entorno cerrado, privado de oxígeno y lleno de dióxido de carbono (CO ₂); que se ha replicado al proceso de fermentación de café. Este proceso fue descrito por Flanzly, y Benard en 1987 y la primera patente fue registrada por Hickinbotham en 1986 para su uso en el proceso de producción de vino con el fin de acortar el tiempo de procesamiento y generar un cuerpo y aroma únicos al producto final, según estudios desarrollados por Brioschi Junior et al., (2021b). La adición de CO ₂ provoca la transición de un metabolismo respiratorio aeróbico a un metabolismo anaeróbico dentro de cada fruta afectando a la evolución de la microbiota de la uva en el proceso de fermentación produciendo notas afrutadas y florales, a su vez se comprobó en su estudio que el aumento de la diversidad bacteriana está	(Brioschi Junior et al., 2021; Louzada - Pereira L., Moreira - Rizzo T, 2021; Samaniego Rodriguez, 2019)

directamente correlacionado con el aumento del retrogusto y la fragancia mostrando una relación entre la carga microbiana, el perfil sensorial y químico del café sometido a maceración carbónica.

En este sistema, el aire dentro del contenedor se expulsa para producir una atmósfera sustancialmente anaeróbica en la que las uvas se someten a la fermentación intracelular. Los contenedores contienen bolsas de plástico sellables que incorporan una válvula unidireccional para permitir la liberación, pero no la entrada de gases. El contenedor contiene CO₂ sólido para expulsar el aire por arrastre (Louzada - Pereira L., Moreira - Rizzo T, 2021).

Según Samaniego Rodriguez, (2019a), esta técnica se usó en el café por primera vez en el campeonato mundial del barismo en el 2019 por el barista Sasa Sactic quien gano el Word Barista Championship con un café lavado por maceración carbónica; esta técnica permite eliminar la pulpa a las cerezas del café y a su vez este estudio menciona que el barista Sastic llevo el café a un fermentación de 65 horas, a una temperatura ambiente de 20 °C, lo que permitió lograr aumentar los atributos e intensificar la dulzura y una taza limpia.

En este estudio se constató que la aplicación de CO₂ representó una fuente de variación en los atributos del cuerpo, balance de la taza y el puntaje final, ya que cuando se inyectó el gas comprobaron que mejoro un 3,5% el cuerpo del café cuando fue realizado el análisis sensorial.

Adición de microorganismos (Cultivos iniciadores):

Los denominados cultivos iniciadores corresponden a un variado tipo de microorganismos, los cuales sirven para ser agregados a los procesos de fermentación, ayudan a modular los sabores y aromas (Vinícius de Melo Pereira et al., 2017b).

(da Mota et al., 2020; Vinícius de Melo Pereira et al., 2017a)

En los últimos años, ha surgido la implementación de cultivos iniciadores (principalmente cepas de levadura) como una alternativa prometedora que contribuye a modular el proceso de fermentación del café, y de esta manera promover el desarrollo a la mejora de la calidad de la bebida de café (Vinícius de Melo Pereira et al., 2017b). La presencia de microorganismos y ácidos orgánicos modifican los perfiles volátiles y los aromas de café tostado, a su vez la presencia de levaduras brinda un papel esencial en el proceso fermentativo debido a su biocontrol del crecimiento de hongos filamentosos, produciendo además diferentes enzimas y compuestos aromáticos volátiles (da Mota et al., 2020), que afectan la carga inicial de microorganismos presentes en el proceso de fermentación.

Aunque ya se han venido promoviendo este tipo de alternativas, aún no se dispone de suficiente información de los efectos que conlleva el uso de los cultivos iniciadores, como controladores específicos en el rendimiento de la fermentación y la calidad del grano de café, por lo tanto, la aplicación de este tipo de tecnología directamente en campo, es bastante complejo (Vinícius de Melo Pereira et al., 2017b). Debido a esto, es de suma importancia ampliar los conocimientos acerca de los efectos de inocular microorganismos iniciadores en las fermentaciones de café, de esta manera facilitará la comprensión del tema y su respectiva aplicación en campo (Vinícius de Melo Pereira et al., 2017b).

Se han reportado resultados positivos después de la inoculación de cepas de levadura *Saccharomyces*, *Pichia* y *Candida* sobre granos de café permitiendo así la producción de enzimas pectinolíticas que ayudan en la degradación del mucílago y la pulpa del café; por ello la evaluación de compuestos volátiles y no volátiles en el café es de suma importancia, ya que son los principales contribuyentes en la experiencia sensorial de la bebida del café y esto se comprueba con la adición de iniciadores microbianos que muestran comportamientos diferentes según la variedad del café y el proceso de beneficio; todo esto se genera debido a las enzimas extracelulares y los ácidos orgánicos producidos por la fermentación de la levadura generando azúcares reductores, aminoácidos y ácidos clorogénicos (Bressani et al., 2020b).

Es posible afirmar que la inoculación de microorganismos produce una amplia gama de metabolitos como ésteres, cetonas, alcoholes, ácidos y aldehídos que se filtran en el grano impartiendo distintos sabores y usándose por separado permiten acelerar el proceso de fermentación (S R et al., 2022). Por otro lado, se ha demostrado que las bacterias ácido lácticas (BAL) mejoran los procesos de fermentación del grano de café (G. V. de M. Pereira et al., 2016).

Según la investigación realizada por Pereira et al., (2016), dentro de las distintas cepas de bacterias ácido lácticas estudiadas, como la levadura *Lactobacillus plantarum* LPBR01 mostró ser capaz de establecer procesos acelerados de acidificación de la pulpa del café y redujo considerablemente el tiempo de fermentación de 24 a 12 horas, además de manifestar una apropiada producción de ácidos orgánicos y compuestos aromáticos volátiles, permitiendo de esta manera tener como resultado final una bebida con notas sensoriales distintas, y así aumentar notablemente la calidad en comparación a los procesos convencionales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede demostrar que la inoculación de bacterias ácido lácticas (BAL) en los procesos de fermentación del café, resultan ser una buena alternativa para agilizar y mejorar dichos procesos. A su vez se menciona en el estudio de Wang et al., (2020) que las enzimas fúngicas permiten la modificación de los granos de café verdes con carboxipeptidasas de *Aspergillus oryzae* obteniendo un café con notas afrutadas. En un estudio complementario, Wang et al., (2020) encontró que la transformación de los componentes relacionados con el sabor del café verde por *Lc. lactis subsp. Cremoris* llevo una mejora significativa a los atributos del sabor del café y esto es debido a uso de suplementos de glucosa lo que confirma la biotransformación de los aromas del café sin producir un exceso de ácido acético. Además del tratamiento enzimático, la fermentación directa de granos de café verde esterilizados con microorganismos totalmente definidos también muestra un gran potencial en la modulación del sabor del café con la selección adecuada del cultivo iniciador y las condiciones de fermentación, impartiendo modulaciones específicas en sus componentes relacionados con el sabor y producir cafés tratados con una mejora significativa.

9. Tendencias futuras.

Se ha demostrado que al momento de fermentar el café en campo, los caficultores les resulta difícil definir el tiempo de finalización de la fermentación (Leslie & June, 2014). La obtención de datos por medio de estos sensores permite un seguimiento detallado de cada fase del proceso de fermentación del café ya que la falta de control favorece el desarrollo de defectos sensoriales en el producto final, permitiendo la producción de fermentaciones locales en los puntos calientes junto con fermentaciones incompletas en los lugares más fríos (Jiménez-Ariza, T et al., 2015). Por tal razón, se han realizado soluciones mediante la instalación de sensores en los tanques que permitan monitorear no solamente el tiempo, sino parámetros fisicoquímicos como el pH, oxígeno disuelto y la temperatura; según estudios se han demostrado que el control del pH dentro del tanque es un método objetivo y más preciso para optimizar los resultados (Leslie & June, 2014). A futuro, se desea que el proceso de fermentación sea de manera controlada, algunos prototipos se han presentado (<https://www.penagos.com/penagos-hermanos-revoluciona-el-mundo-de-los-cafes-de-especialidad-con-su-nuevo-equipo-biomaster/>) fermentador cilíndrico con sistema de aireación, mezclador automatizado, sistemas de sensores, recirculado de mucilago para controlar la temperatura donde promete garantizar la homogeneidad en las características sensoriales del grano.

10. Conclusiones.

La fermentación del café puede influir considerablemente en la calidad del grano, lo cual lo hace importante en la etapa de procesamiento. La fermentación no debe concebirse solamente como el proceso de remoción del mucilago, sino una oportunidad de mejorar la calidad y generar nuevos sabores y aromas, atributos importantes para definir el valor final de compra del producto. En los últimos años, se han creado y nombrado innumerables métodos para fermentar café, algunos han generado gran popularidad como lo es la maceración carbónica o la inoculación de microorganismos, debido a que se han presentado y ganado algunos premios en competiciones a nivel mundial ocasionando el deseo de algunos caficultores en cambiar los procesos tradicionales.

11. Recomendaciones.

Es importante mejorar la transferencia de conocimiento en los procesos fermentativos a los caficultores, debido a que se pueden cometer muchos errores al momento de tomar la decisión de procesar un lote de café de manera errónea, donde puede estar en juego las finanzas del caficultor y la salud del consumidor. Por otro lado, en la búsqueda realizada, notamos que existen innumerables nombres que se le han dado a los procesos diferenciados en finca probablemente con el objetivo que se escuchen más sofisticados, pero en realidad no tiene nada que ver con el proceso, por ejemplo, encontramos que algunas personas nombraron su proceso diferenciado como “*white wine fermentation*” encontrándose que el hombre no tenía relación con el proceso de elaboración del vino blanco.

Contribuciones de los autores: Anaya, Laura. Contribuyó a la conceptualización, metodología, análisis formal, redacción - borrador original del artículo. Gutiérrez, N., Bustos, Jaime. Contribuyeron con el análisis formal y la redacción - revisión y edición del artículo.

Referencias bibliográficas

Akillioglu, H. G., & Gökmen, V. (2014). Mitigation of acrylamide and hydroxymethyl furfural in instant coffee by yeast fermentation. *Food Research International*, 61, 252–256. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.07.057>

- Arias Zabala, M., Henao Navarrete, L., & Castrillón Gutiérrez, Y. (2009). Lactic acid production by fermentation of coffee mucilage with *Lactobacillus bulgaricus* NRRL-B548 | Producción de ácido láctico por fermentación de mucílago de café con *Lactobacillus bulgaricus* NRRL-B548. *DYNA (Colombia)*, 76(158), 147–153.
- Ariza, T. J., Meneses, B., & García, J. (2012). *ALIFE: Caracterización térmica de la fermentación del café*. 1–4.
- Avallone, S., Brillouet, J. M., Guyot, B., Olguin, E., & Guiraud, J. P. (2002). Involvement of pectolytic micro-organisms in coffee fermentation. *International Journal of Food Science and Technology*, 37(2), 191–198. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00556.x>
- Avallone, S., Guiraud, J.-P., Guyot, B., Olguin, E., & Brillouet, J.-M. (2000). Polysaccharide Constituents of Coffee-Bean Mucilage. *Journal of Food Science*, 65(8), 1308–1311. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10602.x>
- Avallone, S., Guiraud, J.-P., Guyot, B., Olguin, E., & Brillouet, J.-M. (2001). Fate of Mucilage Cell Wall Polysaccharides during Coffee Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5556–5559. <https://doi.org/10.1021/jf010510s>
- Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J. M., Olguin, E., & Guiraud, J. P. (2001). Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current Microbiology*, 42(4), 252–256. <https://doi.org/10.1007/s002840110213>
- Batali, M. E., Lim, L. X., Liang, J., Yeager, S. E., Thompson, A. N., Han, J., Ristenpart, W. D., & Guinard, J. X. (2022). Sensory Analysis of Full Immersion Coffee: Cold Brew Is More Floral, and Less Bitter, Sour, and Rubbery Than Hot Brew. *Foods*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/foods11162440>
- Batista, L. R., Chalfoun de Souza, S. M., Silva e Batista, C. F., & Schwan, R. F. (2015). Coffee: Types and Production. In *Encyclopedia of Food and Health* (pp. 244–251). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00184-7>
- Brando, C. H. J., & Brando, M. F. P. (2014). Methods of coffee fermentation and drying. In R. F. Schwan & G. H. Fleet (Eds.), *Cocoa and coffee fermentations* (pp. 367–396). CRC Press.
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Sarmiento, A. B. I., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020a). Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. *Food Research International*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108773>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Sarmiento, A. B. I., Borém, F. M., & Schwan, R. F. (2020b). Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. *Food Research International*, 128, 108773. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108773>
- Brioschi Junior, D., Carvalho Guarçoni, R., de Cássia Soares da Silva, M., Gomes Reis Veloso, T., Catarina Megumi Kasuya, M., Catarina da Silva Oliveira, E., Maria Rodrigues da Luz, J., Rizzo Moreira, T., Grancieri Debona, D., & Louzada Pereira, L. (2021). Microbial fermentation affects sensorial, chemical, and microbial profile of coffee under carbonic maceration. *Food Chemistry*, 342(July 2020), 128296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128296>
- Bryman, H. (2015, August 31). *Sustainable Harvest Presents Initial Findings of Fermentation Research Project at Origin*. Daily Coffee News. <https://dailycoffeenews.com/2015/08/31/sustainable-harvest-presents-initial-findings-of-fermentation-research-project-at-origin/>
- Bulthuis, I. (2021, May 6). *What the hell is Anaerobic Lactic Fermentation with a Thermal Shock Washing*. Back to Black Coffee. <https://backtoblackcoffee.nl/en/2021/05/06/what-the-hell-is-anaerobic-lactic-fermentation-with-a-thermal-shock-washing/>
- Cantarel, B. I., Coutinho, P. M., Rancurel, C., Bernard, T., Lombard, V., & Henrissat, B. (2009). The Carbohydrate-Active EnZymes database (CAZy): An expert resource for glycogenomics. *Nucleic Acids Research*, 37(SUPPL. 1), 233–238. <https://doi.org/10.1093/nar/gkn663>
- Carbajal-Guerreros, I., Pilco-Valles, H., García-Herrera, F. A., Coronel-Rufasto, I., Gonzales-Diaz, J. R., & Cabanillas-Pardo, L. (2022). Fermentador inteligente con tecnología de fermentación controlada para estandarizar procesos de fermentación de cafés de especialidad. *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 2(1). <https://doi.org/10.51252/raa.v2i1.303>
- Cheng, B., Smyth, H. E., Furtado, A., & Henry, R. J. (2020). Slower development of lower canopy beans produces better coffee. *Journal of Experimental Botany*, 71(14), 4201–4214. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa151>
- Correa, E. C., Jiménez-Ariza, T., Díaz-Barcos, V., Barreiro, P., Diezma, B., Oteros, R., Echeverri, C., Arranz, F. J., & Ruiz-Altisent, M. (2014). Advanced Characterisation of a Coffee Fermenting Tank by Multi-distributed Wireless Sensors: Spatial Interpolation and Phase Space Graphs. *Food and Bioprocess Technology*, 7(11), 3166–3174. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1328-4>
- 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*, 136(June). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>
- de Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., & de Vuyst, L. (2017a). Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1). <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>

- de Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. v., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., & de Vuyst, L. (2017b). Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1), e02398-16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- de Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. v., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., & de Vuyst, L. (2017c). Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and Metabolite Profiles during Green Coffee Bean Production. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1). <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>
- de Carvalho Neto, D. P., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho, J. C., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2018). High-Throughput rRNA Gene Sequencing Reveals High and Complex Bacterial Diversity Associated with Brazilian Coffee Beans Fermentation. *Food Technology and Biotechnology*, 56(1), 90–95. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.01.18.5441>
- de Carvalho Neto, D. P., de Melo Pereira, G. V., Tanobe, V. O. A., Soccol, V. T., da Silva, B. J. G., Rodrigues, C., & Soccol, C. R. (2017). Yeast diversity and physicochemical characteristics associated with coffee bean fermentation from the Brazilian Cerrado Mineiro region. *Fermentation*, 3(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation3010011>
- de Carvalho Neto, D. P., Vinícius De Melo Pereira, G., Finco, A. M. O., Rodrigues, C., Carvalho, J. C. de, & Soccol, C. R. (2020a). Microbiological, physicochemical and sensory studies of coffee beans fermentation conducted in a yeast bioreactor model. *Food Biotechnology*, 34(2), 172–192. <https://doi.org/10.1080/08905436.2020.1746666>
- de Carvalho Neto, D. P., Vinícius De Melo Pereira, G., Finco, A. M. O., Rodrigues, C., Carvalho, J. C. D., & Soccol, C. R. (2020b). Microbiological, physicochemical and sensory studies of coffee beans fermentation conducted in a yeast bioreactor model. *Food Biotechnology*, 34(2), 172–192. <https://doi.org/10.1080/08905436.2020.1746666>
- de Castro, R. D., & Marraccini, P. (2006a). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 175–199. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>
- de Castro, R. D., & Marraccini, P. (2006b). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 175–199. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>
- de Melo Pereira, G. V., Neto, E., Soccol, V. T., Medeiros, A. B. P., Woiciechowski, A. L., & Soccol, C. R. (2015). Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. *Food Research International*, 75, 348–356. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.027>
- de Melo Pereira, G. v., da Silva Vale, A., de Carvalho Neto, D. P., Muynarsk, E. S., Soccol, V. T., & Soccol, C. R. (2020). Lactic acid bacteria: what coffee industry should know? *Current Opinion in Food Science*, 31, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.07.004>
- de Oliveira Junqueira, A. C., de Melo Pereira, G. v., Coral Medina, J. D., Alvear, M. C. R., Rosero, R., de Carvalho Neto, D. P., Enríquez, H. G., & Soccol, C. R. (2019). First description of bacterial and fungal communities in Colombian coffee beans fermentation analysed using Illumina-based amplicon sequencing. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45002-8>
- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2020). The crucial role of yeasts in the wet fermentation of coffee beans and quality. *International Journal of Food Microbiology*, 333. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- Elhalis, H., Cox, J., Frank, D., & Zhao, J. (2021). The role of wet fermentation in enhancing coffee flavor, aroma and sensory quality. *European Food Research and Technology*, 247(2), 485–498. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03641-6>
- Evangelista, S. R., da Cruz Pedrozo Miguel, M. G., de Souza Cordeiro, C., Silva, C. F., Marques Pinheiro, A. C., & Schwan, R. F. (2014). Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. *Food Microbiology*, 44, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.013>
- GADOURY, D. M., CADLE-DAVIDSON, L., WILCOX, W. F., DRY, I. B., SEEM, R. C., & MILGROOM, M. G. (2012). Grapevine powdery mildew (*Erysiphe necator*): a fascinating system for the study of the biology, ecology and epidemiology of an obligate biotroph. *Molecular Plant Pathology*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00728.x>
- H. D, Belitz, W., & Grosch, P. S. (2009). 21 Coffee, Tea, Cocoa 21.1. *Food Chemistry*, 938–970.
- Haile, M., & Kang, W. H. (2019). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>
- Hu, G., Peng, X., Gao, Y., Huang, Y., Li, X., Su, H., & Qiu, M. (2020). Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients. *Food Chemistry*, 331(June). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127329>
- Iriondo-DeHond, A., Aparicio García, N., Fernandez-Gomez, B., Guisantes-Batan, E., Velázquez Escobar, F., Blanch, G. P., San Andres, M. I., Sanchez-Fortun, S., & del Castillo, M. D. (2019). Validation of coffee by-products as novel food ingredients. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.010>
- Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., & del Castillo, M. D. (2020). Applications of Compounds from Coffee Processing By-Products. *Biomolecules*, 10(9), 1219. <https://doi.org/10.3390/biom10091219>

- Jayaram, N. (2022, December 24). *Everything you ever wanted to know about fermented coffee*. Architectural Digest India. <https://www.architecturaldigest.in/content/everything-you-ever-wanted-know-about-fermented-coffee/>
- Jethwani, V. (2019, February 18). *The story behind our monsoon coffee*. Beancraft.
- Jiménez-Ariza, T et al., 2015. (2015). *Caracterización Avanzada de Tanques de Fermentación de Café mediante una Red Multidistribuida de Sensores RFID Resumen Advanced Characterization of Coffee Fermenting Tanks by Multi-distributed RFID Sensors Abstract*. 1–10.
- Kashyap, D. R., Vohra, P. K., Chopra, S., & Tewari, R. (2001). Applications of pectinases in the commercial sector: A review. *Bioresource Technology*, 77(3), 215–227. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00118-8)
- Katayama, A. (2021, November 3). *Koji-Fermented Coffee May Bring Sustainable Profits To Impoverished Bean Farmers*. Forbes. <https://www.forbes.com/sites/akikokatayama/2021/11/03/koji-fermented-coffee-may-bring-sustainable-profits-to-impoverished-bean-farms/?sh=2839b7291850>
- Khochapong, W., Ketnawa, S., Ogawa, Y., & Punbusayakul, N. (2021). Effect of in vitro digestion on bioactive compounds, antioxidant and antimicrobial activities of coffee (*Coffea arabica* L.) pulp aqueous extract. *Food Chemistry*, 348(September 2020), 129094. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129094>
- Lancashire, P. (2021a, December 23). *The impressive rise of koji-fermented coffee*. Mtpak. <https://mtpak.coffee/2021/12/rise-koji-fermented-coffee/>
- Lancashire, P. (2021b, December 23). *The impressive rise of koji-fermented coffee*. Mtpak. <https://mtpak.coffee/2021/12/rise-koji-fermented-coffee/>
- Lee, L. W., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2015). Coffee fermentation and flavor – An intricate and delicate relationship. *Food Chemistry*, 185, 182–191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>
- Lee, L. W., Tay, G. Y., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B., & Liu, S. Q. (2017). Modulation of the volatile and non-volatile profiles of coffee fermented with *Yarrowia lipolytica*: I. Green coffee. *LWT*, 77, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.047>
- Leslie, B., & June, L. (2014). *3D Printed pH Probe Measures Fermentation Acidity for the Best Flavor Coffee*. 20–23.
- Louzada - Pereira L., Moreira - Rizzo T, F. E. (2021). *Quality Determinants In Coffee Production* (L. Louzada Pereira & T. Rizzo Moreira, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-54437-9>
- 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 Bioprocess Technology*, 125, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.010>
- Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Miguel, M. G. da C. P., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2017a). Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. *Food Research International*, 102(October), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.096>
- Martinez, S. J., Bressani, A. P. P., Miguel, M. G. da C. P., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2017b). Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. *Food Research International*, 102(June), 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.096>
- Martins, P. M. M., Batista, N. N., Miguel, M. G. da C. P., Simão, J. B. P., Soares, J. R., & Schwan, R. F. (2020). Coffee growing altitude influences the microbiota, chemical compounds and the quality of fermented coffees. *Food Research International*, 129(September 2019), 108872. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108872>
- Masoud, W., & Jespersen, L. (2006). Pectin degrading enzymes in yeasts involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa. *International Journal of Food Microbiology*, 110(3), 291–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.030>
- Mercanta. (2022, July 27). *Have you tried Barrel Aged Coffee?* Mercanta. <https://coffeehunter.com/have-you-tried-barrel-aged-coffee/>
- Moreno Cárdenas, E. L., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2020). Modeling Dark Fermentation of Coffee Mucilage Wastes for Hydrogen Production: Artificial Neural Network Model vs. Fuzzy Logic Model. *Energies*, 13(7), 1663. <https://doi.org/10.3390/en13071663>
- Neu, A.-K., Pleissner, D., Mehlmann, K., Schneider, R., Puerta-Quintero, G. I., & Venus, J. (2016). Fermentative utilization of coffee mucilage using *Bacillus coagulans* and investigation of down-stream processing of fermentation broth for optically pure l(+)-lactic acid production. *Bioresource Technology*, 211, 398–405. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.122>
- Nigam, P. S., & Singh, A. (2014). Cocoa and Coffee Fermentations. In *Encyclopedia of Food Microbiology* (pp. 485–492). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00074-4>
- Orrego, D., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2018). Ethanol production from coffee mucilage fermentation by *S. cerevisiae* immobilized in calcium-alginate beads. *Bioresource Technology Reports*, 3, 200–204. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.08.006>

- Osorio Pérez, V., Álvarez-Barreto, C. I., Matallana, L. G., Acuña, J. R., Echeverri, L. F., & Imbachí, L. C. (2022). Effect of Prolonged Fermentations of Coffee Mucilage with Different Stages of Maturity on the Quality and Chemical Composition of the Bean. *Fermentation*, 8(10), 519. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100519>
- Peñuela-Martínez, A. E., Oliveros-Tascón, C. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2010). Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural. *Cenicafé*, 61(2), 159–173.
- Peñuela-Martínez, A. E., Zapata-Zapata, A. E., & Durango-Restrepo, D. L. (2018). Performance of different fermentation methods and the effect on coffee quality (coffea arabica l.) | Desempenho de diferentes métodos de fermentação e o efeito na qualidade do café (coffea arabica l.). *Coffee Science*, 13(4), 465–476. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i4.1486>
- Pereira, G. V. de M., de Carvalho Neto, D. P., Medeiros, A. B. P., Soccol, V. T., Neto, E., Woiciechowski, A. L., & Soccol, C. R. (2016). Potential of lactic acid bacteria to improve the fermentation and quality of coffee during on-farm processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(7), 1689–1695. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13142>
- Pereira, L. F. B., Franco Junior, K. S., & Barbosa, C. K. R. (2020). The influence of natural fermentation on coffee drink quality. *Coffee Science*, 15(1). <https://doi.org/10.25186/v15i.1673>
- Pereira, L. L., Guarçoni, R. C., Pinheiro, P. F., Osório, V. M., Pinheiro, C. A., Moreira, T. R., & ten Caten, C. S. (2020). New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives. *Food Chemistry*, 310, 125943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>
- Prakash, I., R, S. S., P, S. H., Kumar, P., Om, H., Basavaraj, K., & Murthy, P. S. (2022). Metabolomics and volatile fingerprint of yeast fermented robusta coffee: A value added coffee. *LWT*, 154, 112717. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112717>
- Puerta, G., & Echeverry, M. (2015a). Fermentación controlada del café. *Ciencia, Tecnología e Innovación Para La Caficultura Colombiana.*, 12. file:///C:/Users/HP/Desktop/avt0454_fermetnacioncontroladacafetecnologia.pdf
- Puerta, G., & Echeverry, M. (2015b). Fermentación controlada del café. *Ciencia, Tecnología e Innovación Para La Caficultura Colombiana.*, 12. file:///C:/Users/HP/Desktop/avt0454_fermetnacioncontroladacafetecnologia.pdf
- Puerta Quintero, G. I. (2012a). Factores, Procesos Y Controles En La Fermentación Del Café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 1(422), 1–12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0461.pdf>
- Puerta Quintero, G. I. (2012b). *Factores, procesos y controles en la fermentación del café*. www.cenicafe.org
- Raimbault, M. (1998). General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. *Journal of Biotechnology*, 1(3), 1–8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0717-34581998000300007>
- Rangel, C., Sastoque, J., Calderón, J., Gracia, J., Cabeza, I., Villamizar, S., & Acevedo, P. (2022). Pilot-Scale Assessment of Biohydrogen and Volatile Fatty Acids Production via Dark Fermentation of Residual Biomass. *Chemical Engineering Transactions*, 92, 61–66. <https://doi.org/10.3303/CET2292011>
- Ribeiro, L. S., Miguel, M. G. da C. P., Evangelista, S. R., Martins, P. M. M., van Mullem, J., Belizario, M. H., & Schwan, R. F. (2017). Behavior of yeast inoculated during semi-dry coffee fermentation and the effect on chemical and sensorial properties of the final beverage. *Food Research International*, 92, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.011>
- Ruta, L. L., & Farcasanu, I. C. (2021). Coffee and yeasts: From flavor to biotechnology. *Fermentation*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/fermentation7010009>
- S R, S., H P, S., Prakash, I., Khan, M., H N, P. K., Om, H., Basavaraj, K., & Murthy, P. S. (2022). Microbial ecology and functional coffee fermentation dynamics with *Pichia kudriavzevii*. *Food Microbiology*, 105(February), 104012. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104012>
- Salem, F. H., Vasai, F., Duez, C., Sieczkowski, N., Boulanger, R., & Collignan, A. (2022). Mass Transfer Kinetics of Nonvolatile Compounds into Coffee Beans during Wet Processing: Study at the Laboratory Scale and in Real Conditions Using Two Yeast Strains. *ACS Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00022>
- Samaniego Rodriguez, M. A. (2019). Evaluación de maceración carbónica y adición de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) durante el lavado de café Geisha (*Coffea arabica*). *Escuela Agrícola Panamericana*, 41. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6507/1/AGI-2019-T054.pdf>
- Sofía Torres-Valenzuela, L., Andrea Serna-Jiménez, J., & Martínez, K. (2020). Coffee By-Products: Nowadays and Perspectives. In *Coffee - Production and Research: Vol. i* (Issue tourism, p. 13). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89508>
- Temis-Pérez, A., López Malo Vigil, A., & Sosa Morales, M. (2011). Producción de café (*Coffea arabica* L.): cultivo, beneficio, plagas y enfermedades. In *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* (Vol. 5, Issue 2, pp. 54–74).
- van der Merwe, K., & Maree, T. (2016). The behavioural intentions of specialty coffee consumers in South Africa. *International Journal of Consumer Studies*, 40(4), 501–508. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12275>
- Vandenbergh, L. P. S., Soccol, C. R., Pandey, A., & Lebeault, J.-M. (2000). Solid-state fermentation for the synthesis of citric acid by *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*, 74(2), 175–178. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00107-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00107-8)
- Vinícius de Melo Pereira, G., Soccol, V. T., Brar, S. K., Neto, E., & Soccol, C. R. (2017a). Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2775–2788. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067759>

- Vinícius de Melo Pereira, G., Soccol, V. T., Brar, S. K., Neto, E., & Soccol, C. R. (2017b). Microbial ecology and starter culture technology in coffee processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2775–2788. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1067759>
- Vinícius, G., Pereira, D. M., Vale, S., David, J., Medina, C., César, J., Carvalho, D., & Ricardo, C. (2020). Food and Bioproducts Processing A critical techno-economic analysis of coffee processing utilizing a modern fermentation system : Implications for specialty coffee Antonio Irineudo Magalhães Júnior a , Dão Pedro de Carvalho Neto a ,. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.010>
- Wang, C., Sun, J., Lassabliere, B., Yu, B., & Liu, S. Q. (2020). Coffee flavour modification through controlled fermentations of green coffee beans by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kluyveri*: Part I. Effects from individual yeasts. *Food Research International*, 136(July). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109588>
- Widjaja, T., Iswanto, T., Altway, A., Shovitri, M., & Juliastuti, S. R. (2017). Methane production from coffee pulp by microorganism of rumen fluid and cow dung in co-digestion. *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1465–1470. <https://doi.org/10.3303/CET1756245>
- Willaert, R. G. (2020). Yeast Biotechnology 3.0. *Fermentation*, 6(3), 75. <https://doi.org/10.3390/fermentation6030075>