



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 18 de enero de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

La suscrita:

Ana Mercedes Montaña Solorzano, con C.C. No. 28555740 de Ibagué, autor de la tesis y/o trabajo de grado titulado MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL CAFÉ CEREZA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de Magister en Ciencia y Tecnología del Café; autorizo 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:

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL CAFÉ CEREZA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

AUTOR O AUTORES: Ana Mercedes Montaña Solórzano y Claudia Milena Amorocho Cruz

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Montaña Solórzano	Ana Mercedes
Amorocho Cruz	Claudia Milena

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Amorocho Cruz	Claudia Milena

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: MAGISTER EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL CAFÉ

FACULTAD: DE INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL CAFÉ

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 19

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas_X___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
 Tablas o Cuadros_X_

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: NO APLICA



MATERIAL ANEXO: NO APLICA

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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. microbiota	microbiota	6. café	coffee
2. Bacterias	Bacterias	7. calidad	quality
3. levaduras	yeast	8. taza	cup
4. hongos	fungi	9. _____	_____
5. cereza	cherry	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En este artículo de revisión bibliográfica se buscó profundizar en la identificación de los microorganismos presentes en los frutos de café cereza, la amplia riqueza de las Bacterias Acido Lácticas (BAL), el grupo de hongos y levaduras que poseen mayor relevancia en el desarrollo de sus características organolépticas y su impacto en la calidad. Esta amplia microbiota está presente en la fermentación e influye en su calidad físico-química produciendo diferentes características sensoriales en la bebida. Se mencionaron los más determinantes en calidad y características organolépticas, considerando su actividad y las variables que afectan el proceso de fermentación.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

En la cereza del café se encuentran microorganismos como bacterias, levaduras y hongos que están presentes en la fermentación, de esta manera influyen en su calidad físico-química y producen diferentes características sensoriales en la bebida. En este artículo de revisión bibliográfica se busca identificar cuáles son los más determinantes en calidad y características organolépticas. De las bases de datos consultadas se mencionan Scopus, Google Scholar, Elsevier y Science Direct, Web of Science y SciELO. De estas fuentes se tomaron artículos relacionados con la microbiota del café, considerando su actividad y las variables que afectan el proceso de fermentación. Posteriormente se realizó la sistematización, categorización y análisis de la información mediante el administrador de referencias Mendeley, obteniendo como resultado 84 bibliografías entre artículos científicos y revistas. Como resultado de esta revisión se profundizó en la información acerca de los microorganismos presentes en los frutos de café cereza, la amplia riqueza de las Bacterias Acido Lácticas (BAL), el grupo de hongos y levaduras que poseen mayor relevancia en el desarrollo

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, sólo 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.

de sus características organolépticas y su impacto en la calidad.

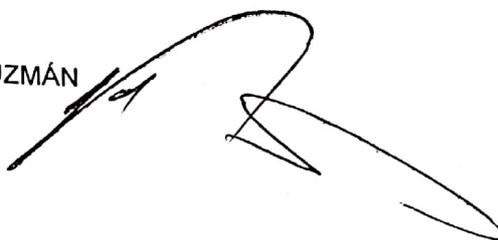
APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: NELSON GUTIERREZ GUZMÁN

Firma:

Nombre Jurado: EMILIO POLO LEDESMA

Firma:

MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL CAFÉ CEREZA, SU IMPACTO EN LA CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

MICROORGANISMS PRESENT IN CHERRY COFFEE, THEIR IMPACT ON QUALITY AND ORGANOLEPTIC CHARACTERISTICS

Ana Mercedes Montaña^{1*} y Claudia Milena Amorocho-Cruz²

¹ Ingeniero Agrónomo-Universidad del Tolima

MSc. Ciencia y Tecnología del Café-Universidad Surcolombiana

<https://orcid.org/0000-0003-4581-4764>

Email: anamontana10@hotmail.com

²PhD. Biotecnología, Docente de planta-Universidad Surcolombiana

<https://orcid.org/0000-0003-3986-5768>

Email: claudiamilena.amorocho@usco.edu.co

Fecha de recibo: Enero 2022

Fecha de revisión:

Fecha de aprobación:

RESUMEN

En la cereza del café se encuentran microorganismos como bacterias, levaduras y hongos que están presentes en la fermentación, de esta manera influyen en su calidad físico-química y producen diferentes características sensoriales en la bebida. En este artículo de revisión bibliográfica se busca identificar cuáles son los más determinantes en calidad y características organolépticas. De las bases de datos consultadas se mencionan Scopus, Google Scholar, Elsevier y Science Direct, Web of Science y SciELO. De estas fuentes se tomaron artículos relacionados con la microbiota del café, considerando su actividad y las variables que afectan el proceso de fermentación. Posteriormente se realizó la sistematización, categorización y análisis de la información mediante el administrador de referencias Mendeley, obteniendo como resultado 84 bibliografías entre artículos científicos y revistas. Como resultado de esta revisión se profundizó en la información acerca de los microorganismos presentes en los frutos de café cereza, la amplia riqueza de las Bacterias Acido Lácticas (BAL), el grupo de hongos y levaduras que poseen mayor relevancia en el desarrollo de sus características organolépticas y su impacto en la calidad.

Palabras clave: Bacterias; levaduras; hongos; café; cereza; microbiota; calidad; taza

ABSTRACT

In the coffee cherry there are microorganisms such as bacteria, yeasts and fungi that are present in the fermentation process, thus influencing its physical-chemical quality and producing different sensory characteristics in the beverage. This literature review article seeks to identify which are the most determinant in quality and organoleptic characteristics. The databases consulted included Scopus, Google Scholar, Elsevier and Science Direct, Web of Science and SciELO. Articles related to the coffee microbiota were taken from these sources, considering its activity and the variables that affect the fermentation process. Subsequently, the information was systematized, categorized and analyzed using the Mendeley reference manager, resulting in 84 bibliographies of scientific articles and journals. As a result of this review, information about the microorganisms present in cherry coffee fruits, the wide range of Lactic Acid Bacteria (LAB), the group of fungi and yeasts that have the greatest relevance in the development of their organoleptic characteristics and their impact on quality was studied in depth.

Key words: Bacteria; yeast; fungi; coffee; cherry; microbiota; quality; cup

1. INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo, y su popularidad ha provocado la necesidad de aumentar constantemente la variedad y mejorar las características del café como producto general. (Ruta & Farcasanu, 2021). Dado que el consumo de café aumentó constantemente en todo el mundo, la calidad del café se convirtió en un objetivo importante de la investigación de productos alimenticios (Vinicius de Melo Pereira et al., 2017)

El café colombiano es reconocido mundialmente por ser suave lavado y por sus características organolépticas que lo hacen tan apetecido. Esta fama refiere una gran responsabilidad por parte de todos los actores de la cadena de procesamiento, pues en cada fase se deben llevar a cabo las prácticas de calidad para que esa bebida sea lo que el consumidor final espera, una bebida llena de sabor y aroma que perduren en la memoria sensorial. Es preferido en las mesas de los consumidores extranjeros no solo por su calidad, también lo es por la magia que encierra cada taza de café de cada variedad producida, de cada método de producción, su ubicación geográfica, la participación familiar y por la contribución a las familias cafeteras de Colombia. El café es un importante agente de desarrollo social y una gran fuente de empleo rural, ya que proporciona un medio de vida a unos 125 millones de personas en todo el mundo (Taniwaki et al., 2014).

El café es la segunda bebida más consumida después del agua, se cultiva en más de 70 países (Figura 1), está estrechamente relacionado con la vida de miles de millones de personas en todo el mundo y se ha constituido en el segundo mayor producto comercializado en todo el mundo después del petróleo. (Hu et al., 2020). *Coffea arabica* es la especie más consumida en el mundo, porque se considera superior en relación con las propiedades sensoriales. El consumo de cafés especiales ha aumentado considerablemente y también se observa un aumento económico del producto final. (Martins et al., 2020). Aunque su concentración de cafeína es menor, se considera que el Arábica tiene mayor calidad, debido a sus cualidades organolépticas (Ruta & Farcasanu, 2021).

La microbiota del café se ha estudiado cada vez más en las últimas décadas con el fin de mejorar la sostenibilidad de la producción de café. (Duong et al., 2020) y conocer los microorganismos involucrados en el proceso de fermentación es crucial para desarrollar características organolépticas favorables y calidad en la bebida. Los diferentes perfiles sensoriales del café aumentan el valor final del producto (Ruta & Farcasanu, 2021).

Los géneros de bacterias más comunes presentes en el proceso de fermentación del café son *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, y *Weisella*; dentro de las levaduras se destacan *Pichia*, *Saccharomyces*, *Rhodoturula*, *Candida*, *Kluyveromyces*, y *Hansienaspora* (Silva, Batista, Abreu, Dias & Schawn, 2008; Vilela, Pereira, Silva, Batista & Schawn 2010). Y hongos filamentosos como *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium* (Vega Ortiz, 2012).

Con el objetivo de comprender la microbiología que interviene en el procesamiento del café, en este artículo de revisión se hará una descripción de la microbiota asociada a las cerezas de café, incluyendo principalmente hongos, bacterias y levaduras. Las palabras clave que se utilizaron fueron café, *coffea*, microbiota, bacterias, hongos, levaduras, cosecha, poscosecha, procesamiento, fermentación, sabor, taza y calidad. Las bases de datos examinadas fueron, Scopus, Google Scholar, Elsevier, Science Direct, Web of Science y SciELO.

Esta revisión permitirá comprender el papel de los microorganismos en la fermentación del café y podría orientar la investigación futura hacia la comercialización de cultivos iniciadores potenciales.

2. EL CAFÉ CEREZA.

El café cereza comprende múltiples capas, que corresponden a los porcentajes de la piel exterior (7%), la pulpa (25%), el mucílago (5%), el pergamino (12%) y la película plateada (1%) con base de peso seco de la cereza (Janissen & Huynh, 2018; Murthy & Madhava Naidu, 2012; Pereira et al., 2020).

Teniendo en cuenta la composición, los frutos de café son un buen sustrato para el crecimiento de bacterias, levaduras y hongos filamentosos (Bressani et al., 2018; Nigam & Singh, 2014; Suárez-Quiroz et al., 2004), la microbiota puede variar entre las regiones, la variedad, la altura del café, las características del suelo, clima, horas de exposición solar, temperatura del ambiente, labores del cultivo (Bressani et al., 2018; Wang et al., 2020).

De acuerdo con Huch y Franz (2015) los microorganismos encontrados en el café varían en función de la variedad, contenido de humedad del grano, tipo de procesamiento, condiciones del suelo y metabolismo de las especies nativas. En cuanto al ambiente externo, la microbiota también está determinada por el aire, animales e insectos, especies vegetales próximas, personas, equipos, implementos; predominando las levaduras, bacterias lácticas, otras bacterias y hongos (Puerta 2012).

Para Skin 2020 la cáscara, pulpa y mucilago, son ricos en carbohidratos y nitrógeno, agua (95%), azúcares (6-7 %) siendo en su mayoría azúcares reductores, composición que permite a bacterias lácticas y levaduras transformar los carbohidratos dentro de los que se encuentran monosacáridos como glucosa y fructosa generando metabolitos, etanol, dióxido de carbono (CO₂), ácido láctico, entre otros.

A continuación, se describirán los microorganismos que se encuentran presentes en la cereza de café, su papel en la fermentación, su contribución en la calidad y características organolépticas debido a la producción de metabolitos secundarios.

3. MICROORGANISMOS PRESENTES EN LOS FRUTOS EN ESTADO CEREZA

La primera mención de los microorganismos asociados a las plantas de café data del siglo XIX, desde entonces, se han utilizado dos enfoques principales para describir la diversidad de la microbiota del café en combinación con numerosas estrategias que permiten identificar los microorganismos en distintos niveles taxonómicos, desde el más alto (por ejemplo, reino y filo) hasta el más bajo (por ejemplo, género y especie) (Duong et al., 2020).

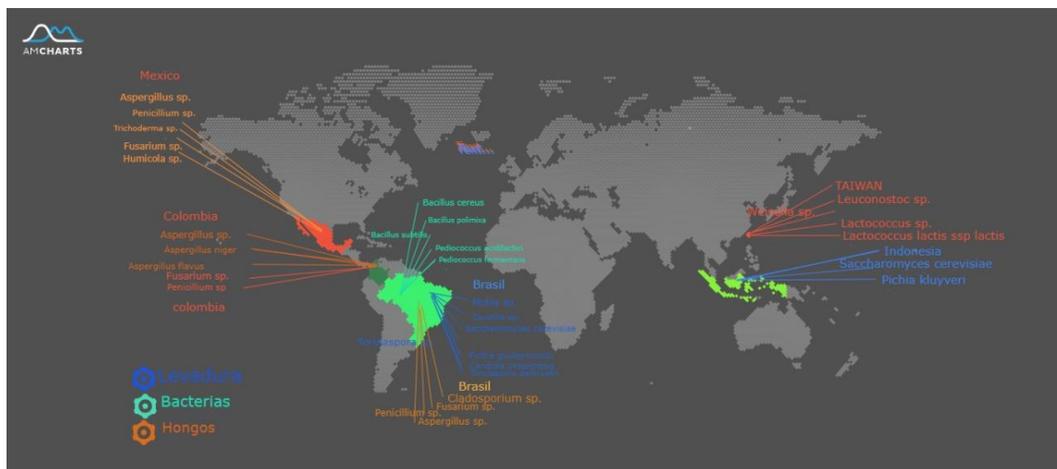
Los microbios son omnipresentes en todos los entornos, median en los principales procesos a nivel de ecosistema, y también representan una gran reserva inexplorada de biodiversidad. Dada la importancia funcional de las comunidades microbianas en los entornos naturales y su potencial de aplicación en diversos ámbitos de la biotecnología, es muy importante conocer su estructura comunitaria (Ghosh & Bhadury, 2018).

Los microorganismos fermentadores del café son mesófilos, gran parte de las levaduras crecen entre 5 y 39°C, con óptimos de 28 a 35°C, algunas se desarrollan entre 3 y 10°C y todas pierden viabilidad a temperaturas superiores a 50°C. En el caso de las BAL, les favorecen rangos entre 25 y 30°C, pero pueden reproducirse a 0°C, mientras que las bacterias entéricas crecen entre 22 y 37°C (Puerta Quintero, 2012). Además, las BAL logran soportar bajos pH (García, 2013).

A lo largo de los años, muchos estudios han informado de que el proceso de fermentación del grano de café debe estar bien controlado para garantizar el desarrollo de microorganismos que den una bebida de alta calidad con buen aroma a café. Un fallo en la fermentación puede dar lugar al crecimiento de microorganismos que desfavorecen al carácter y al sabor del café (Vinícius de Melo Pereira et al., 2017).

La ecología microbiana del grano de café involucra una variedad amplia de microorganismos que incluyen Bacterias del Ácido Láctico (BAL), Bacterias de Ácido Acético (BAA), *Bacillus*, *Enterobacteriaceae*, levaduras y hongos filamentosos (Figura 1) (Elhalis et al., 2020).

Figura 1. Diversidad microbiana del café a escala mundial.



Fuente: Elaboración propia.

Silva et al, (2000) en su estudio de diversidad microbiana en cerezas de café, encontraron Enterobacterias, Lactobacilos, Levaduras y Hongos. Aislaron 754 especies: Bacterias Gram- negativas (164) y Gram-positivas (191), Levaduras (107) y hongos filamentosos (292), donde las bacterias representaron casi el 80% de ocupación de la cereza en sus diferentes estados de maduración.

Algunas especies de bacilos pueden producir una serie de enzimas extracelulares que degradan compuestos complejos como celulosa y pectina (Coughlan y Mayer, 1991). Estos dos polímeros se encuentran en la piel, pulpa y mucílago de las cerezas de café, que por lo tanto pueden ser atacadas por enzimas microbianas. La capacidad celulolítica del bacilo contribuye a la despolimerización de compuestos complejos que contienen celulosa durante la fermentación de las cerezas de café. Aislamientos del grupo de *B. cereus* (*B. polymyxa* y *B. subtilis*) fueron las especies de *Bacillus* celulolíticos que se encontraron con mayor frecuencia en las muestras de Lavras, Minas de Gerais; Brasil (Ferreira et al, 2008).

Roussos et al. (1995) encontró que la mayoría de los microorganismos aislados en café cereza pertenecen a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* y *Humicola*, los cuales son responsables del crecimiento de hongos micotoxigénicos que no solo afectan la taza (Silva et al., 2000), también producen daños a la salud humana.

La compleja actividad microbiana produce etanol, ácido láctico y una serie de compuestos menores, como ésteres, alcoholes superiores, aldehídos y cetonas, que se especula que se difunden en los granos y repercuten en la composición final de la bebida de café. Estos microbiomas centrales tienen una fuerte influencia en los metabolitos producidos durante la fermentación y pueden influir en la composición química de los cafés colombianos (de Oliveira Junqueira et al., 2019).

La composición química (ácidos orgánicos, azúcares, aromas incluyendo compuestos heterocíclicos) determina la fuerza, el gusto y el aroma, pero la calidad del café también depende de factores físicos (tamaño, color y granos defectuosos). También hay muchos otros factores que influyen en la calidad del producto final, que incluyen el origen geográfico y el clima, las variaciones de temperatura, la altitud, las especies, los métodos de recolección, los procedimientos de procesamiento y el almacenamiento. En cuanto al producto final, la calidad del café se evalúa en términos de acidez, dulzor, amargor y aroma (Ruta & Farcasanu, 2021).

La selección del microorganismo para el paso de fermentación se basa en muchos criterios como la producción de compuestos volátiles, los cambios físicos y químicos y la falta de producción de metabolitos indeseables (Ruta & Farcasanu, 2021). A través de cuidadosos métodos de producción de café y procesos de fermentación controlados, los productores de café pueden aumentar sus ingresos asegurando altos estándares de calidad y un alto valor añadido para el sector de la experiencia del café. (Poltronieri & Rossi, 2016).

4. BAL (BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS)

Las BAL desempeñan un papel crucial en el rendimiento de la fermentación y la calidad de la bebida. De Melo Pereira et al., 2020 menciona que las primeras descripciones completas de la asociación de las BAL con el procesamiento del café fueron proporcionadas hace 73 años por Pederson y Breed. desde entonces, las BAL han sido reconocidas como un componente integral del procesamiento del café en la mayoría de los países productores.

Las especies de BAL relacionadas con el café se dividen en cuatro clados (familias *Leuconostocaceae*, *Lactobacillaceae*, *Streptococcaceae* y *Enterococcaceae*) que se presentan en los géneros taxonómicos *Leuconostoc*, *Fructobacillus*, *Weissella*, *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Lactococcus* y *Enterococcus* (G. V. de M. Pereira et al., 2016). Los géneros de bacterias más comunes presentes durante la fermentación del café son *Bacillus*, *Lactobacillus*, *Acinetobacter*, *Arthrobacter*, *Weissella* y levaduras como *Pichia*, *Saccharomyces*, *Rhodotorula*, *Candida*, *Kluyveromyces*, y *Hanseniaspora* (Martins et al., 2020)

Las BAL se clasifican en homofermentativas, que producen únicamente ácido láctico y heterofermentativas al producir ácido láctico, etanol y dióxido de carbono (CO₂). El grupo homofermentativo está compuesto por *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus* y *Streptococcus*. y el grupo heterofermentativo por *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus*. (Parra Huertas, 2010).

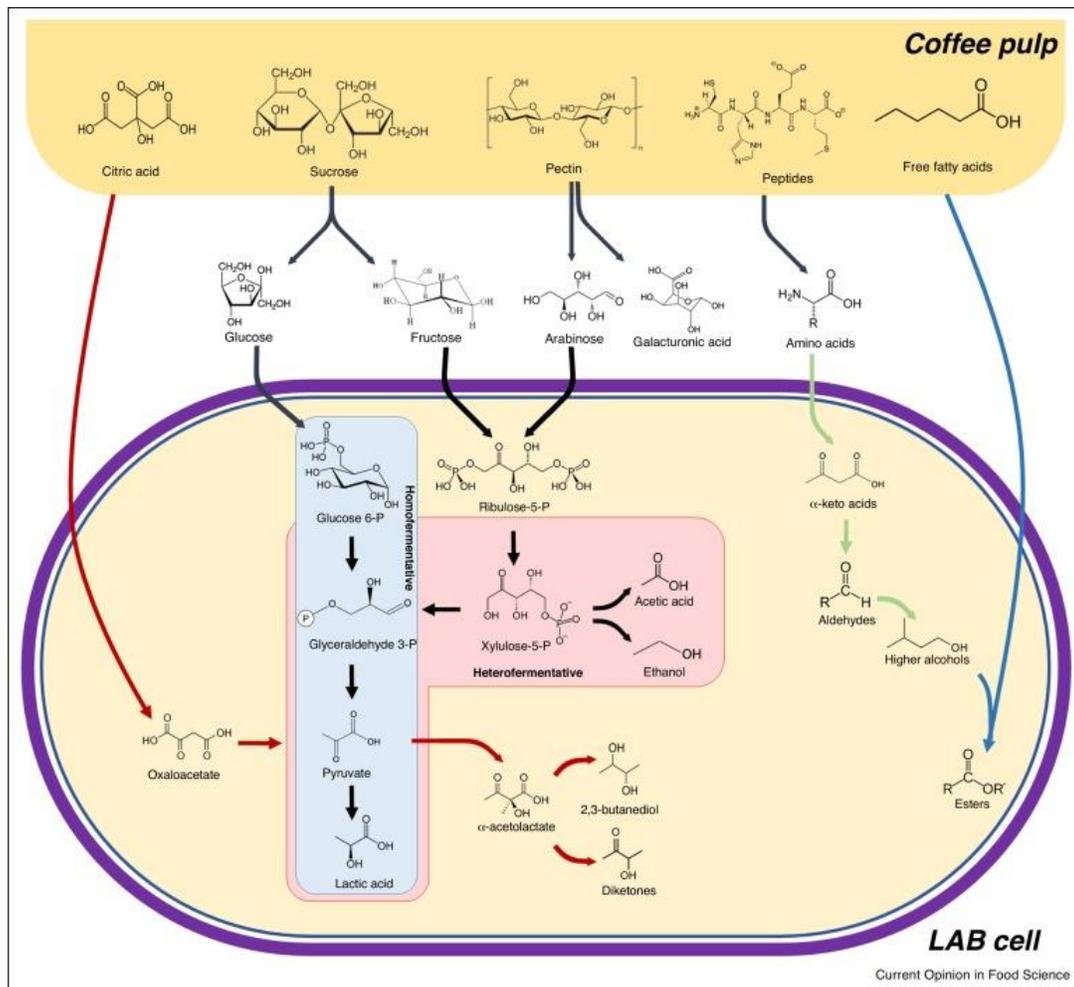
En la fermentación homoláctica se encuentran *Lb. acidophilus*, *Lb. helveticus*, *Lb. delbruekii subsp delbruekii*, *delbruekii subsp lactis*, *delbruekii subsp bulgaricus*, *lactis*, *termophilus*. En la fermentación heteroláctica se destacan las especies: *Lb. plantarum*, *Lb. ramosus*, *Lb. coryneformis*, *Lb. curvatus*, *Lb. casei*, *Lb. paracasei*, *Lb. brevis*, *Lb. buchneri*, *Lb. fermentum*, *Lb. kéfir*, *Lb. reuteri*, y *leuconostoc*. (Parra Huertas, 2010).

La producción de ácido láctico mediante procesos biotecnológicos con la ayuda de microorganismos que la producen (de Oliveira Junqueira et al., 2019; Lefeber et al., 2010) lo ha convertido en un producto apetecido para la industria donde se prevé un mercado mundial de 3.820 millones de dólares en solamente E.E.U.U (Neu et al., 2016), el cual es aprovechado ampliamente por sus múltiples aplicaciones en el campo de la transformación y conservación de alimentos.

Los ácidos orgánicos, hasta ahora, son considerados como los principales metabolitos de las BAL que afectan dramáticamente al crecimiento de los hongos a través de la inhibición del crecimiento del micelio. Entre los ácidos orgánicos producidos por las cepas de BAL, el ácido láctico se considera el principal metabolito de las BAL, que suele producirse en mayor cantidad en comparación con otros ácidos orgánicos. Sin embargo, se sabe que el ácido láctico presenta una menor actividad inhibitoria contra el crecimiento de los hongos en comparación con otros ácidos orgánicos como el ácido acético y el ácido propiónico (Sadiq et al., 2019).

Además del ácido láctico, el metabolismo de las BAL produce una variedad de compuestos a partir de la utilización de citrato y el catabolismo de aminoácidos (Figura 2). Estudios recientes han demostrado que estos metabolitos tienen una función complementaria en la formación de los precursores del sabor y el aroma de las bebidas de café (de Melo Pereira et al., 2020). Es de resaltar que los metabolitos no son obtenidos en un solo paso, la pulpa de café al estar constituida por ácido cítrico, sacarosa (disacárido conformado por glucosa y fructosa unidos por enlace glucosídico 1-2), pectina, péptidos y ácidos grasos libres genera diversos procesos y por tanto, metabolitos. La degradación de la glucosa ocurre por la vía Embden-Meyerhof (Ver cita Tabla 1), la cual es fermentada por variedad de microorganismos cada uno con contenido enzimático y propiedades fisiológicas específicas dando lugar a productos finales diferentes según el género y especie microbiana involucrada en el proceso.

Figura 2. Compuestos generados por BAL en café



Fuente: de Melo Pereira et al., 2020

El metabolismo de las BAL ayuda principalmente en el proceso de eliminación de la capa de mucílago mediante el uso eficiente de los azúcares de la pulpa y la formación de ácido láctico. El proceso de acidificación de la pulpa también cambia las propiedades de hinchamiento de la capa interna de mucílago, aflojando la red de polisacáridos con un claro cambio de textura. No es sorprendente que, empíricamente los productores de café utilicen la reducción del pH a niveles por debajo de 4,5 como método para determinar el final del proceso de fermentación del café (G. V. de Melo Pereira et al., 2020).

Los objetivos del estudio de Leong et al., 2014, fueron aislar BAL de cerezas de café frescas, identificar los aislados a nivel de especie, y determinar sus actividades antibacterianas y antifúngicas. Las especies heterofermentativas *Leuconostoc* y *Weissela* fueron las BAL más comunes encontradas en dos granjas ubicadas a una altitud aproximada de 800 m en Taiwán. *Lactococcus lactis subsp. lactis* fue la BAL más común encontrada en otra finca que se encontraba a una altitud aproximada de 1200 m también en Taiwán. Por lo tanto, se sugiere que la altitud y el clima pueden afectar la distribución de BAL.

El genoma de la BAL obtenido en la fermentación natural de la pulpa de cerezas de café maduras en Brasil, *P. acidilactici* LPBC161, presentó un gran número de genes específicos que codifican el sistema PEP-fosfotransferasa para sorbosa, manosa y fructosa, que están presentes en la pulpa del café. El estudio entregó valiosa información sobre los mecanismos de adaptación, metabolismo de las BAL, su influencia en el procesamiento y calidad del café (G. V. D. M. Pereira et al., 2019).

En el 2019 Zhang y otros, encontraron BAL en el proceso de fermentación de *Leuconostoc* y *Lactococcus*, notaron que las comunidades microbianas se vieron afectadas por el tipo de beneficio y tiempo de fermentación, al mismo tiempo se observaron cambios en el perfil de carbohidratos, ácidos orgánicos y aminoácidos libres. Las BAL, en particular las especies mesófilas, predominaron desde el comienzo de las fermentaciones, donde aparece esporádicamente. La baja prevalencia de microorganismos podría deberse a factores ambientales como la temperatura (De Bruyn et al., 2017; Zhang et al., 2019), o a factores intrínsecos, como la variedad de café utilizada (De Bruyn et al., 2017; Waters et al., 2017).

El complejo metabolismo de las BAL produce metabolitos activos para el sabor que repercuten en la calidad del café (Tabla 1). La intensa difusión del ácido láctico durante el proceso de fermentación promueve la modificación de la percepción sensorial de la acidez y el cuerpo de las bebidas de café. Además, una amplia gama de metabolitos derivados de las BAL asociados al catabolismo de los aminoácidos, concretamente el propionato de etilo, el acetato de etilo, el acetaldehído, el fenil etanol y el fenilacetaldéhído, son conocidos por aumentar la percepción afrutada y floral en la bebida final. El aroma es un atributo clave que define tanto la calidad como el nivel de aceptación de los consumidores de los productos de café (Lee et al., 2015).

Tabla 1. BAL, rutas metabólicas, metabolitos y análisis sensorial. Identificación por Agar MRS-S, MALDI TOF - Secuenciación región ribosomal ITS y 16S.

Fermentación	Especie	Metabolitos	Descripción sensorial	Ruta metabólica
Homofermentativa- Heterofermentativa	BAL	Acido láctico	Acido, agrio	Emden-Meyerhoff-Parnas, Fosfato pentosa o fosfocetolasa
	<i>Lb helveticus</i>	3-metil-butanal	chocolate, cocoa, nuez, herbal	catabolismo de aminoácidos cadena ramificada
Butanoato de etilo		-	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos	
Hexanoato de etilo		Afrutado, piña, banano	Catabolismo valina	
2-metil-propanol		vino	Catabolismo isoleucina	
	<i>Lb delbrueckii subsp delbrueckii</i>	2-metil-butanol	vino, afrutado, asado	Catabolismo triptofano y fenilalanina
	<i>Lb plantarum</i>	Benzaldehido	Cereza, afrutado	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos
Acetato de etilo		Afrutado, uva	Catabolismo isoleucina	
Butanoato de etilo		-	Conversión de 3-ceto-hexanoil-CoA	
Propionato de etilo		vino, uva, fermentado con matiz a ponche de huevo	Asimilación citrato o aspartato	
3-metil-1 butanol		Banano, piña, afrutado	Catabolismo fenilalanina	
2-metil-butanol		Afrutado, vino, asado	B- oxidación de ácidos grasos	
1-hexanol		Verde, afrutado, piel de manzana, aceite	Catabolismo fenilalanina	
Diacetil		Cremoso, mantequilla	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos	
2,3 butanediol		Afrutado, crema, mantequilla	Catabolismo isoleucina	
Fenil acetaldehido		Miel, floral, rosa	Asimilación citrato o aspartato	
2 fenilacetato		Notas a miel, floral y ligera levadura cítrica, con matiz a limón fresco pelado	Catabolismo fenilalanina	
<i>Lb rhamnosus</i>		Nonanal	fresco pelado	Asimilación citrato o aspartato
	Etil butanoato		Catabolismo treonina	
	Etil hexanoato	Afrutado, piña, banano	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos	
	Feniletanol	Floral, rosa, panificación	Catabolismo fenilalanina	
<i>Lb casei</i>	Acetoin	Lacteo, lechoso	Catabolismo fenilalanina	
	Acetaldehido	Afrutado	Asimilación citrato o aspartato	
	Etilbutanoato		Catabolismo treonina	
	3-metil-1 butanol	Afrutado, piña, banano	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos	
<i>Lb paracasei</i>	fenilacetaldehido	Miel, floral, rosa	Catabolismo fenilalanina	
	Acetato de etilo	Afrutado, uva	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos	
	hexanoato de etilo	Afrutado, piña, banano	Catabolismo isoleucina	
<i>Lb brevis</i>	2-metil-butanol	Afrutado, vino, asado	Catabolismo isoleucina	
	Acetaldehido	Afrutado	Metabolismo treonina	
	2-metil-butanol	Afrutado, vino, asado	Catabolismo isoleucina	
	fenilacetaldehido	Miel, floral, rosa	Catabolismo fenilalanina	
<i>Lb buchneri</i>				
<i>Lb fermentun</i>	2-metil-butanol	Afrutado, vino, asado	Catabolismo isoleucina	
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>				
<i>Leuconostoc lactis</i>	Etil butanoato	-	Reacción de esterificación entre alcoholes y ácidos grasos	

Fuente: (De Melo Pereira, et al., 2020) (D.P. De Carvalho Neto et al., 2018) (Zhang et al., 2019) (P.M.M. Martins, et al., 2020).

De Melo (2020), demostró que el uso de cultivos de LAB es favorable para la producción de café con perfiles sensoriales distintivos, obteniendo bebidas de café con alta acidez, percepciones afrutadas y florales que fueron producidas por el uso de *Lb. plantarum*, mientras que las características caramelizadas y quemadas fueron los atributos sensoriales para *Lb. rhamnosus*.

Los cultivos BAL tienen un gran potencial para lograr control, reproducibilidad y consistencia de calidad en el procesamiento del café. En particular, el metabolismo de los BAL de carbohidratos, citrato y aminoácidos, y los componentes clave producidos durante su crecimiento, son las principales actividades asociadas con el procesamiento del café. (G. V. de Melo Pereira et al., 2020).

5. HONGOS

En el interior de las cerezas de café, los microorganismos encuentran condiciones favorables para desarrollarse e inducir varios cambios, como el color de los granos, especialmente en su interior, y comprometer la calidad sensorial de la bebida. Además, algunas especies de hongos tienen la capacidad de producir metabolitos extracelulares tóxicos, como las micotoxinas (Alves da Silva et al., 2020).

Los estudios sobre la microbiología de las cerezas y los granos de café han demostrado que los principales géneros de hongos toxigénicos son contaminantes naturales del café, y están presentes desde el campo hasta el almacén (Batista et al., 2003). La población de hongos que se produce durante la poscosecha y el almacenamiento afecta negativamente a la calidad del café, especialmente en lo que respecta al deterioro, los sabores extraños y la producción de micotoxinas (Waters et al., 2017).

Silva et al., (2000) identificaron varios géneros y especies de hongos, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera: *Cladosporium sp.* (39,7%), *Fusarium* (34,2%), *Penicillium* (28,8%), y *Aspergillus* (2,7%), además hubo aislamientos esporádicos de *Beauveria bassiana*, *Rhizoctonia*, *Monilia* y *Astrobotrys*. La presencia de hongos filamentosos está asociada con la reducción en la calidad de la bebida que genera con una evaluación sensorial negativa, exceptuando a *Cladosporium* que aparece en granos de buena calidad.

Díaz (2018) menciona que los hongos en ocasiones generan enfermedades serias y en caso intratables en humanos y animales; además dan pérdidas económicas por infección de plantas y desvalorización comercial. Micotoxinas como las aflatoxinas son producidas por especies de *Aspergillus*, de las cuales las más importantes en alimentos son *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*. Las Aflatoxinas son las únicas micotoxinas, que no se descomponen por el calor y pueden persistir después del proceso de beneficiado (Díaz et al., 2018).

La Ocratoxina A (OTA) es una micotoxina producida por ciertas especies de *Aspergillus* y *Penicillium*, se ha demostrado que la OTA presenta propiedades nefrotóxicas, inmunosupresoras, teratogénicas y carcinogénicas. La OTA aparece con frecuencia como contaminante en los cereales en todo el mundo y es la principal contaminación micotóxica que se ha registrado en el café. Se cree que *Aspergillus ochraceus* es el moho productor de OTA más importante en relación con los granos de café (Suárez-Quiroz et al., 2004).

Basándose en el riesgo que la OTA presenta para la salud humana, la Unión Europea ha elaborado una normativa sobre los niveles máximos de OTA permitidos en una serie de productos, incluidos los del café. Los niveles máximos de OTA permitidos en el café son de 5 µg/kg para tanto para el café tostado en grano como para el café molido y de 10 µg/kg para el café instantáneo (Taniwaki et al., 2014).

Por tanto, es posible que las características sensoriales de la bebida también puedan verse afectadas por la presencia de hongos filamentosos en los granos de café, ya que se ha demostrado que son capaces de producir un gran número de compuestos volátiles como monoterpenos, sesquiterpenos, alcoholes aldehídos, compuestos aromáticos, ésteres, furanos, hidrocarburos, cetonas, así como compuestos de nitrógeno y azufre (Iamanaka et al., 2014).

Los compuestos volátiles fúngicos han sido identificados como sabores extraños y, dado que pueden detectarse antes del crecimiento microbiano visible, se utilizan como indicadores de deterioro de alimentos (Iamanaka et al., 2014).

Rojas y colaboradores (2015), recolectaron muestras de café de las diferentes etapas de producción en el Municipio de Toledo, ubicado en el departamento Norte de Santander, a 1642 msnm Colombia, los hongos aislados en las diferentes etapas del café (Tabla 2) fueron los pertenecientes a *Aspergillus*, *Penicillium* spp y *Fusarium* spp.

Tabla 2. Biota fúngica aislada durante las diferentes etapas del procesamiento de café.

Etapa del proceso	Hongos
Café Cereza	El hongo aislado en mayor frecuencia fue <i>Aspergillus spp</i> y los géneros <i>Fusarium spp</i> y <i>Penicillium spp</i> fueron aislados, pero en menor proporción.
Café Pergamino	El hongo aislado fue <i>Aspergillus spp</i> .
Café Almendra	Se aislaron e identificaron los siguientes géneros fúngicos: <i>Fusarium spp.</i> , <i>Penicillium spp.</i> <i>Aspergillus spp.</i>
Café Tostado	Se aislaron e identificaron los siguientes géneros y especies fúngicas: <i>A. niger</i> y <i>A. flavus</i> .

Fuente: Rojas C. et al; 2015

La calidad de los granos al final del procesamiento influye en el precio que se consigue al venderlo en el mercado y, por lo tanto, los defectos en los granos de café son indeseables porque disminuyen la calidad del café (Taniwaki et al., 2014).

Los problemas de seguridad alimentaria suelen estar asociados a la contaminación de las materias primas por bacterias u hongos patógenos o formadores de toxinas, como *A. ochraceus*. La fermentación mediante el uso de cultivos iniciadores adecuados de levaduras y BAL, acompañada de la aplicación adecuada de los conceptos de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP) durante el procesamiento, puede ser claramente una operación de procesamiento de tecnología de bajo costo que puede contribuir a la seguridad del café (Massawe & Lifa, 2010).

6. LEVADURAS

La abundancia en la naturaleza de las levaduras las convierte en microorganismos a tener en cuenta a la hora de desarrollar procesos industriales en materias primas de origen vegetal; principalmente en materiales con altos contenidos de agua, azúcares y otros elementos como en el caso del café, que son fundamentales para su desarrollo (Ríos & Puerta, 2011). Están presentes naturalmente en el fruto de café y son fundamentales para la fermentación, se han detectado varios géneros de levaduras como *Pichia*, *Candida*, *Saccharomyces* y *Torulasporea*, a lo largo del procesamiento de la cereza del café (de Carvalho Neto et al., 2017; Evangelista et al., 2015; Silva et al., 2000). Se demostró que las levaduras están involucradas desde el inicio del proceso, ya que reposan sobre la superficie de la cereza, participando en la fermentación natural del café (Ruta & Farcasanu, 2021).

La formación de colonias de estos microorganismos bajo unas condiciones ideales da paso a la fermentación alcohólica, mediante la producción de enzimas naturales que oxidan parcialmente los azúcares, lo que conlleva a la producción de energía, Adenosín Trifosfato (ATP), etanol, ácido láctico, ácido acético y dióxido de carbono (Ríos & Puerta, 2011), las principales enzimas involucradas en la fermentación del café es la poligalacturonasa (PG) que cataliza la hidrólisis del (ácido poligalacturónico); pectiliasa (PL) que actúa catalizando la pectina, liberando ácidos galacturónicos insaturados. La tercera enzima es la pectinmetilesterasa (PME) responsable de la desesterificación del grupo metoxilo de la pectina formando ácido péctico y metanol (Silva et al., 2013).

Wang et al., (2020) investigaron el efecto sensorial que tenía la inoculación de *Saccharomyces cerevisiae* y *Pichia kluyveri*, en *Coffea arabica* proveniente del Monte Sinabung, de Indonesia. De los granos inoculados con *S. cerevisiae* obtuvieron un mayor número de compuestos volátiles durante el tostado que contribuyeron a mejorar la intensidad en el atributo de aroma, y características frutales en sabor; con *Pichia kluyveri*, se obtuvieron ésteres frutales que dan sabores particulares. Los ésteres frutales generados por las levaduras durante las fermentaciones del grano de café se transfirieron directamente a los perfiles volátiles formados después del tostado y mejoraron el atributo frutado en los cafés tostados.

El género *Pichia guilliermondii* también ha sido ampliamente investigado. Evangelista et al., (2014). Relacionan la aplicación de la cepa *Pichia guilliermondii*, en fermentación seca, para cafés lavados y no lavados antes del proceso de secado, con la obtención de sabores acaramelados y sensaciones frutales principalmente en los cafés de proceso natural. Da Silva Vale et al., (2019), estudió el efecto conjunto de *P. fermentans* y *Pediococcus acidilactici* sobre la bebida, en la región de Sao Paulo a 1.400 msnm, en los resultados resalta el mayor consumo de azúcares presentes

en el beneficio, lo cual dio lugar a una mayor producción de metabolitos que se vio reflejado en una mayor concentración de compuestos aromáticos frutales.

En Lavras, Brasil, investigaron el comportamiento que tenían *S. cerevisiae*, *Candida parapsilosis* y *Torulospora delbrueckii* inoculadas en *C. arabica* variedad Catuai Amarelo; como resultado se obtuvo una mayor concentración de ácido cítrico y málico en los tratamientos que tuvieron inoculación, se identificaron compuestos volátiles relacionados al sabor de caramelo en muestras inoculadas con *S. cerevisiae*, y compuestos relacionados con sabores afrutados a manzana y cereza en muestras inoculadas con *C. parapsilosis*, estas dos levaduras arrojaron mejores resultados en taza que *T. delbrueckii* (Bressani et al., 2018).

Estos estudios contrastan con los realizados en vino en donde una gran cantidad de levaduras se encuentran presentes durante la fermentación; *S. cerevisiae* en combinación con *P. kluyveri* han demostrado que estimulan la producción de compuestos volátiles afrutados y florales en la fermentación del vino (Benito et al., 2015).

Machado et al. (2019), evaluaron el impacto en la calidad sensorial de dos variedades de café (Catuai y Mundo Novo) por medio de la inoculación de dos levaduras *Saccharomyces cerevisiae* CCMA0200 y *Torulospora delbrueckii* CCMA0684 en el beneficio húmedo de los granos. Los compuestos importantes 2-furanmetanol propanoato y 2-etil-3,5-dimetilpirazina se identificaron sólo en los tratamientos inoculados. Las percepciones sensoriales de estos compuestos son afrutado, refrescante, nuez, melaza de caña y avellanas. De igual manera, Machado et al. 2019 mencionan que el compuesto 2-etil-3,5-dimetilpirazina fue identificado por Sanz como uno de los compuestos aromáticos más importantes de la bebida de café.

Se ha encontrado que las levaduras inhiben el crecimiento de hongos micotoxigénicos (Vaughan et al., 2015) como los pertenecientes principalmente a los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*. (Vega Ortiz, 2012). Las especies de *Aspergillus* son las principales productoras de micotoxinas, como la aflatoxina y la OTA, en el café. (Leong et al., 2014).

La acción antagonista que algunas especies de levaduras que ejercen sobre el desarrollo de hongos filamentosos ha sido explorada por algunos autores, especialmente para la utilización en granos almacenados, (Ramos et al., 2010). En otra investigación se inocularon cepas de tres levaduras *Pichia anomala*, *Pichia kluyveri* y *H. uvarum*, con el fin de inhibir el crecimiento del hongo *Aspergillus*, el principal implicado en la generación de OTA. Dando como resultado una ausencia total de OTA (Masoud et al., 2005).

Se ha demostrado que algunos de los compuestos endógenos del café están asociados con irritación gástrica o aumento del colesterol en sangre, el uso de cultivos iniciadores durante la fase húmeda del procesamiento ha tenido una influencia positiva en el contenido de algunos compuestos importantes relacionados con la salud, al mismo tiempo que mejora la calidad sensorial de la bebida (Ruta & Farcasanu, 2021).

Díaz et al., 2018, encontraron una relación inversamente proporcional entre la presencia de OTA, con la Buenas Prácticas de Higiene (BPH), en fincas de la zona de Amazonas – Cajamarca, Cusco, Junin, Puno y San Martín en Perú. Y Franco et al., 2014, evaluaron el nivel de Ocratoxinas y Aflatoxinas presentes en café para exportación en Panamá, obteniendo que el 19% fueron positivas para Ocratoxinas y 14% para Aflatoxinas.

El metabolismo de las levaduras contribuye a la modulación de carbohidratos solubles, ácidos orgánicos, alcoholes, compuestos volátiles y otras sustancias en la pulpa y mucílago de las cerezas de café, alterando los constituyentes relacionados con el sabor en los granos de café verde mediante el intercambio de sustancias y posteriormente modificando en el tostado el sabor del café. Los metabolitos volátiles de la levadura, en particular los ésteres aromáticos, pueden permanecer parcialmente después del proceso de tostado y contribuir a los atributos frutales y florales del café tostado (Bressani et al., 2018; de Carvalho Neto et al., 2017).

Como lo afirma Mouret et al (2014), “la mayoría de compuestos de aroma a fruta incluyendo los ésteres, son metabolitos secundarios producidos por las levaduras durante la fermentación alcohólica”. Por ello, debe considerarse que los microorganismos fermentativos como las levaduras, son de absoluta importancia en el desarrollo de características sensoriales positivas en la producción de cafés de calidad.

La utilidad de las levaduras en el procesamiento del café está dado en la influencia de este microorganismo fermentativo tanto en la calidad como en el contenido químico de las bebidas a base de café (Ruta & Farcasanu, 2021).

Los cultivos iniciadores (seleccionados como cepas únicas o múltiples) se utilizan para asegurar un mejor control de la fermentación y la previsibilidad del producto final. Las levaduras utilizadas como cultivos iniciadores influyen en los tipos de compuestos producidos durante la fermentación y después del tostado, que se correlacionan con las características sensoriales percibidas durante la prueba de cata. En este sentido,

las levaduras iniciadoras modulan las características sensoriales de la bebida y su utilización representa una alternativa para la diferenciación sensorial del café (Ruta & Farcasanu, 2021).

Se demostró que las cepas de *S. cerevisiae* utilizadas en el proceso de fermentación del café tienen un efecto especial sobre las propiedades químicas y sensoriales de la bebida final al influir en la composición de carbohidratos hacia un buen rendimiento de glucosa y fructosa, mostrando también una buena adaptabilidad a la fermentación (G. V. de Melo Pereira et al., 2015).

El uso de levaduras tiene el potencial de aumentar el contenido de ésteres que contribuyen a las notas sensoriales florales y frutales de los cafés, son necesarias para mejorar la producción de compuestos volátiles, proporcionando ácidos cítrico y succínico que son determinantes para la buena calidad del café, además de modular la vía de reacciones pirolíticas durante el tostado, como se muestra en la tabla 3. (Ruta & Farcasanu, 2021).

La fermentación de la glucosa por levaduras comprende, la primera parte en la que no implica oxidación-reducción y lleva a la producción de un intermediario clave gliceraldehído 3-fosfato, la glucosa sufre fosforilación con consumo de ATP dando origen a glucosa 6-fosfato, se da isomerización y otra fosforilación generando fructosa 1-6 difosfato, la cual se parte por la acción de la aldolasa, dando lugar a dos triosas fosfato: el fosfato de hidroxil-acetona y el gliceraldehído-3 fosfato. Este último es convertido en ácido 1,3 difosfoglicérico por la incorporación de fósforo inorgánico, con la intervención de la coenzima NAD, la cual se reduce a NADH. Luego, el ácido fosfoenol pirúvico se oxida y da lugar al ácido pirúvico y ATP. Finalmente, el ácido pirúvico es oxidado a acetaldehído y CO₂; la coenzima NADH, transporta electrones al acetaldehído reduciéndolo a etanol y dos moléculas de CO₂. (Sanchez de Prager M, et al; 2001).

Tabla 3. Cepas de levadura utilizadas como inóculo iniciador en la fermentación del grano de las variedades de café y los principales compuestos del café asociados con la fermentación de la levadura.

Levadura	Tipo De Café	Principales Ácidos Detectados	Principales Compuestos Asociados Con El Sabor Identificado En Los Granos De Café	Aroma General
<i>M. caribbica</i> CCMA 0198 <i>S. cerevisiae</i> CCMA 0543 <i>C. parapsilosis</i> CCMA 0544	C. arabica var. Canário Amarelo Bourbon	Cítrico, málico, succínico, láctico, oxálico, isobutírico, isovalérico	Linalol, hexanal, 1 hexanol, 2-heptanol, alcohol bencílico, benzaldehído, benzoato de bencilo, hexadecanoato de etilo, metilpirazina, 2-etil-5 metilpirazina, 2 acetil-6 metil pirazina, fenilacetato de etilo, salicilato de metilo	Chocolate dulce, afrutado y parecido a la menta, nuez sabor cítrico a (naranja, limón, piña)
<i>S. cerevisiae</i> UFLA YCN727 <i>S. cerevisiae</i> UFLA YCN724	C. arabica var. Acaia	Málico, láctico, acético, butírico, propiónico, cítrico, oxálico, succínico, isobutírico, tartárico	1-pentanol, 2- feniletanol, acetaldehído, hexanal, acetato de etilo, alcohol furfurílico, furfural, 2,3-butanodiona, acetato de isobutilo, 3-metil-1-butanol	Sabor a caramelo al principio y un aroma amargo al final
<i>S. cerevisiae</i> UFLACN 727 <i>S. cerevisiae</i> UFLACN 724	C. arabica, var. Acaia	Málico, isobutírico hexanoico	Etanol, 2-fenil etanol, acetaldehído	Dulce
<i>S. cerevisiae</i> UFLACN 727 <i>S. cerevisiae</i> UFLACN 724	C. arabica, var. Acaia	Málico, isobutírico hexanoico, decanoico, nonanoico	Tanol, 2-feniletanol, acetaldehído, 1,2-propanodiol, acetato de etilo	Dulce
<i>S. cerevisiae</i> CCMA 0543 <i>C. parapsilosis</i> CCMA 0544 <i>T. delbrueckii</i> CCMA 0684	C. arabica var. Catuai Amarelo	Cítrico, málico, succínico, láctico, acético, propiónico, isobutírico, clorogénico	2,3-butanodiol, 2,5- dimetilpirazina, 2,3-dimetilpirazina, glicerol y etanol, hexanal, 2-octenal, 5,9-undecadien-2ona, 6,10dimetil-1	Frutal, floral, dulce, caramelo, nuez
<i>S. cerevisiae</i> CCMA 0200 <i>T. delbrueckii</i> CCMA 0648	C. arabica var. Catuai Mundo Novo	Málico, láctico, acético, butírico, propiónico, cítrico, oxálico, succínico, tartárico	Propanoato de 2-furanmetanol, 2-etil-3,5-dimetilpirazina	Caramelo, afrutado, refrescante, nuez, melaza de caña

Levaduras y bacterias incluyendo <i>S. cerevisiae</i> CCMA 0543	<i>C. arabica</i> var. Catuai Vermelho	Cítrico, succínico, isovalérico, isobutírico succínico cítrico, isobutírico, isovalérico	Heptadecanol, 4-hidroxi-2-metilacetofenona, 4-etil-1,2-dimetoxibenceno, alcohol feniletílico, 1-eptadecanol, 2,3-dihidro 7metil-4-octanol	
<i>S. cerevisiae</i> CCMA 0543	<i>C. arabica</i> var. Mundo novo, Ouro Amarelo	Cítrico, málico, succínico, acético, hexanoico	Eta-linalol, 1-hexanol, nonanal, 3-metilbenzaldehído, 2-pentil furano, 3-etil-2-hidroxi-2 ciclopenten-1-ona, furfural metil éter, 2,5 dimetil-4-hidroxi 3 (2h) furanona, 2,3 dimetilpirazina	Caramelo a base de hierbas o afrutado, mohoso, parecido a un hongo, a nuez, parecido a posos de café, caramelo, rasty, dulce
9 levaduras, incluida <i>Pichia fermentans</i> YCS.2 <i>Saccharomyces</i> sp. YC9.15	<i>C. arabica</i> var. Mundo novo.	Acético, láctico, caprílico	Acetato de isoamilo y acetato de etilo acetaldehído	Aroma a piña y plátano, afrutado y floral
<i>Pichia fermentans</i> YCS.2	<i>C. arabica</i> var. Catuai	Cítrico, málico, acético, succínico, fumárico	Etanol, acetaldehído, acetato de etilo, acetato de isoamilo	Sabor vainilla, aromas florales
<i>S. cerevisiae</i> <i>Pichia kluyveri</i>	<i>C. arabica</i>	Cítrico, málico, quínico, succínico, láctico, fórmico	3- metilbutanol, 2- fenil etanol, acetato de 2-feniletilo, 2,3-butanodiona,4-vinilguayacol	Aromas a nuez, ahumados, afrutados, caramelo
<i>S. cerevisiae</i> CCMA 0543 <i>C. parapsilosis</i> CCMA 0544 <i>T. delbrueckii</i> CCMA 0684	<i>C. arabica</i> var. Catuai Amarelo	Acético, cítrico, málico, succínico, láctico, isobutírico, propiónico pentanoico, butanoico	Ácidos clorogénicos y trigonelina, alcohol bencílico y 1-nonanol, hexanal, 2-npentifurano y 5,9-undecadien-2-ona, 6,10 dimetil- (z), 1h-pirrol, 1- (2-furanilmetil), 2,3 pentanodiona, alcohol 3-metil-furfurílico, 2 heptanona	Olor a chocolate dulce cremoso, notas caramelizadas, plátano, afrutado, nuez, almendra, dulce
<i>S. cerevisiae</i>	<i>C. arabica</i>	Butanoico, 3-metilbutanoico	Palmitato de etilo, 2-furilmetanol octadecanal, acetyl-3-metilpirazina, 2,3-dihidro-3,5-dihidroxi- 6-metil-4h-piran-4-ona, 5-metilfurfural	Dulce, picante, boniato, caramelo, azúcar quemada, frambuesas
<i>S. cerevisiae</i> CCMA 0543 <i>T. delbrueckii</i> CCMA 0684	<i>C. arabica</i> var. Bourbon amarelo Catuaí amarelo Rubi	Acético, cítrico, málico, láctico, succínico	Pirrol y furano, 1- (3-metilpirazina) etanona, metilfenol y 2,3-dimetil-2-ciclopenten-1-ona, dihidro-3-metilen-2,5-furadiona, 4metoxibencenamina, 2,6-dimetil-3-octilacetato y 1,2-epoxi-3-propil acetato, ácido fórmico, 1- (2hidroxi-5-metilfenil) etanona, 2-furanmetanol	Sabor floral, parecido a una rosa, ahumado avellana, dulce y tostado, sabores amargos, dulces, florales y herbáceos.

Fuente: Ruta & Farcasanu, 2021.

La alta diversidad microbiana durante el proceso de fermentación en café proporciona información útil sobre posibles cultivos iniciadores que pueden utilizarse en su proceso de transformación. Se espera que este artículo de revisión se convierta en un insumo de consulta para futuros estudios que puedan contribuir a la toma de decisiones por parte de los caficultores que los conduzcan a la optimización de sus procesos y así garantizar una alta calidad de la bebida de café.

7. CONCLUSIONES

La fermentación en el procesamiento del café depende de la microbiota natural que está presente en las cerezas, dicho proceso debe optimizarse para evitar problemas de inconsistencia, tanto en la calidad del grano como en sus características organolépticas; el impacto que tiene la fermentación en los perfiles de aroma del café va más allá de pensar que solo facilita la remoción del mucilago.

La calidad final de la bebida de café está determinada por la diversidad y la interacción de sus microorganismos, que, a su vez, está influenciada por las condiciones ambientales donde se encuentran los cultivos, por lo tanto, las condiciones agroclimáticas son fundamentales desde su establecimiento hasta el producto final.

El desarrollo y el uso de cultivos iniciadores compuestos por levaduras y cepas de BAL obtenidos de la microbiota nativa es una forma de modernizar y mejorar el proceso de fermentación.

La contaminación de los alimentos por microorganismos patógenos y formadores de toxinas se ha vuelto un problema de seguridad alimentaria, la utilización de cultivos iniciadores mixtos (levaduras+BAL), en conjunto con la aplicación de las Buenas Prácticas Agrícolas (GAP) y Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (HACCP) son prácticas de bajo costo que contribuyen a la calidad del café como alimento.

La industria del café se enfrenta cada vez más al reto de garantizar, tanto la calidad del grano desde la producción hasta la tostación, para lograrlo, una de las alternativas puede ser el uso de nuevas tecnologías, como la aplicación de cultivos iniciadores en la fermentación, que contribuyen al desarrollo del sabor en los granos de café.

Optimizar el proceso de fermentación y secado permiten evitar la proliferación de hongos filamentosos especialmente los productores de OTA, que traen problemas a la salud y una disminución de la calidad de la bebida. Las levaduras son una excelente alternativa de control al utilizarse como cultivos iniciadores.

La relación entre cultivos de levadura, ácidos orgánicos y perfiles volátiles son el resultado del impacto y la importancia que tiene la fermentación controlada en el procesamiento de café.

Un proceso de fermentación controlado, conociendo las condiciones agroclimáticas y la microbiota propia del cultivo, trae beneficios como disminución del tiempo de fermentación, disminución del crecimiento de hongos toxigénicos y aumentar la calidad sensorial mediante la producción de metabolitos aromáticos y de sabor.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alves da Silva, S., Fonseca Alvarenga Pereira, R. G., de Azevedo Lira, N., Micotti da Glória, E., Chalfoun, S. M., & Batista, L. R. (2020). Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. *Food Control*, 113(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107204>
- Batista, L. R., Chalfoun, S. M., Prado, G., Schwan, R. F., & Wheals, A. E. (2003). Toxigenic fungi associated with processed (green) coffee beans (*Coffea arabica* L.). *International Journal of Food Microbiology*, 85(3), 293–300. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00539-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00539-1)
- Benito, S., Hofmann, T., Laier, M., Lochbühler, B., Schüttler, A., Ebert, K., Fritsch, S., Röcker, J., & Rauhut, D. (2015). Effect on quality and composition of Riesling wines fermented by sequential inoculation with non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces cerevisiae*. *European Food Research and Technology*, 241(5), 707–717. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2497-8>.
- Brand, D., Pandey, A., Rodriguez-Leon, J. A., Roussos, S., Brand, I., & Soccol, C. R. (2001). Packed bed column fermenter and kinetic modeling for upgrading the nutritional quality of coffee husk in solid-state fermentation. *Biotechnology Progress*, 17(6), 1065–1070. <https://doi.org/10.1021/bp010112+>
- Bressani, A. P. P., Martinez, S. J., Evangelista, S. R., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2018). Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. *LWT - Food Science and Technology*, 92(October 2017), 212–219. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>.
- Castillo Martinez, F. A., Balciunas, E. M., Salgado, J. M., Domínguez González, J. M., Converti, A., & Oliveira, R. P. de S. (2013). Lactic acid properties, applications and production: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 30(1), 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.11.007>
- Castro, B. L. (1999). *Gotera Mycena citricolor Berk. Kurt. Enfermedades Del Cafeto En Colombia*, 5. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/993/18/16.Gotera.pdf>
- Cristina F Silva, Rosane F Schwan, Eústáquio Sousa Dias, Alan E Wheals. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil, *International Journal of Food Microbiology*, Volume 60, Issues 2–3, 2000, Pages 251-260, ISSN 0168-1605. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00315-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00315-9).
- Cristina Ferreira Silva, Luis Roberto Batista, Lucas Magalhães Abreu, Eústáquio Souza Dias, Rosane Freitas Schwan. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. *Food Microbiology*. Volume 25, Issue 8. 2008, Pages 951-957, ISSN 0740-0020. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.07.003>.
- da Silva Vale, A., de Melo Pereira, G. V., de Carvalho Neto, D. P., Rodrigues, C., Pagnoncelli, M. G. B., & Soccol, C. R. (2019). Effect of Co-Inoculation with *pichia fermentans* and *pediococcus acidilactici* on metabolite produced during fermentation and volatile composition of coffee beans. *Fermentation*, 5(3), 1-17. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030067>.
- De Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2017). Exploring the Impacts of Postharvest Processing on the Microbiota and. *Applied and Environmental Microbiology*, 83(1), 1–16. <https://doi.org/10.1128/AEM.02398-16>.
- 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 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 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 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 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>
- 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>
- Díaz, A., Silva, M., & Dávila, J. (2018). Relationship between good hygiene practices and ochratoxin A in organic coffee (*Coffea arabica* L.) from the main coffee regions in Peru. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 177–187. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.02>
- Duong, B., Marraccini, P., Maeght, J. L., Vaast, P., Lebrun, M., & Duponnois, R. (2020). Coffee Microbiota and Its Potential Use in Sustainable Crop Management. A Review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(December). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.607935>
- 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, 108796. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>
- Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>
- Evangelista, S. R., Miguel, M. G. da C. P., Silva, C. F., Pinheiro, A. C. M., & Schwan, R. F. (2015). Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 210, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.008>
- Evangelista, S. R., Silva, C. F., Miguel, M. G. P. da C., Cordeiro, C. de S., Pinheiro, A. C. M., Duarte, W. F., & Schwan, R. F. (2014). Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Research International*, 61, 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033>
- Folmer, R. (2014). How can science help to create new value in coffee?. *Food research international*. 63, 353-358.
- Franco, H., Vega, A., Reyes, S., De León, J., & Bonilla, A. (2014). Niveles de Ocratoxina A y Aflatoxinas totales en cafés de exportación de Panamá por un método de ELISA. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 64(1), 42–49.
- Garcia, A. (2013). La fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-o-cafeoilquinico. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3150/Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3150/Marco%20conceptual%20sobre%20la%20influencia%20de%20la%20temperatura%20y%20la%20humedad%20relativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ghosh, A., & Bhadury, P. (2018). Methods of Assessment of Microbial Diversity in Natural Environments. In *Microbial Diversity in the Genomic Era*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814849-5.00001-0>
- Gonzalez-Rios, O., Suarez-Quiroz, M. L., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Guiraud, J. P., & Schorr-Galindo, S. (2007). Impact of “ecological” post-harvest processing on coffee aroma: II. Roasted coffee. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(3–4), 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.12.004>
- Haile, M., & Kang, W. H. (2019). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal of Food Quality*, 2019. <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(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127329>
- Huch y Franz (2015). Coffee: Fermentation and Microbiota. Max Rubent Institute. *Advances in Fermented Foods and Beverages*. 21, 501-513, pág.

- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Copetti, M. V., Bragagnolo, N., & Taniwaki, M. H. (2014). The mycobiota of coffee beans and its influence on the coffee beverage. *Food Research International*, 62, 353–358. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.033>
- Iamanaka, B. T., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Vicente, E., Frisvad, J. C., Taniwaki, M. H., & Bragagnolo, N. (2014). Potential of volatile compounds produced by fungi to influence sensory quality of coffee beverage. *Food Research International*, 64, 166–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.017>
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 128(October 2017), 110–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.001>
- Klingel, Tizian; Kremer, Jonathan I.; Gottstein, Vera; Rajcic de Rezende, Tabata; Schwarz, Steffen; Lachenmeier, Dirk W. (2020). A Review of Coffee By-Products Including Leaf, Flower, Cherry, Husk, Silver Skin, and Spent Grounds as Novel Foods within the European Union. *Foods*, 9(5), 665–. doi:10.3390/foods9050665
- 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>
- Lefeber, T., Janssens, M., Camu, N., & De Vuyst, L. (2010). Kinetic analysis of strains of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa pulp simulation media toward development of a starter culture for cocoa bean fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(23), 7708–7716. <https://doi.org/10.1128/AEM.01206-10>
- Leong, K. H., Chen, Y. S., Pan, S. F., Chen, J. J., Wu, H. C., Chang, Y. C., & Yanagida, F. (2014). Diversity of lactic acid bacteria associated with fresh coffee cherries in taiwan. *Current Microbiology*, 68(4), 440–447. <https://doi.org/10.1007/s00284-013-0495-2>
- Machado et al. Coffee growing altitude influences the microbiota, chemical compounds and the quality of fermented coffees, *Food Research International*, Volume 129, 2020, 108872, ISSN 0963-9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108872>.
- 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, 108872. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108872>
- Martins, P.M.M., Ribeiro, L.S., Miguel, M.G.d.C.P., Evangelista, S.R. and Schwan, R.F. (2019), Production of coffee (*Coffea arabica*) inoculated with yeasts: impact on quality. *J. Sci. Food Agric.*, 99: 5638-5645. doi:10.1002/jsfa.9820.
- Masoud, W., Poll, L., & Jakobsen, M. (2005). Influence of volatile compounds produced by yeasts predominant during processing of *Coffea arabica* in East Africa on growth and ochratoxin A (OTA) production by *Aspergillus ochraceus*. *Yeast*. <https://doi.org/10.1002/yea.1304>.
- Massawe, G. A., & Lifa, S. J. (2010). Yeasts and lactic acid bacteria coffee fermentation starter cultures. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2(1), 41–82. <https://doi.org/10.1504/IJPTI.2010.038187>
- Melo, G., Neto, E., Soccol, V., Pedroni, A., Lorenci, Soccol, C. (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 pág.
- Melo, G., Tomaz, V., Pandey, A., Pedroni, A. Rodrigues, J. Gollo, A. Soccol, C. (2014). Isolation, selection and evaluation of yeasts for use in fermentation of coffee beans by the wet process. *International Journal of Microbiology*. 188, 60-66.
- Mouret, J., Camarasa, C., Angenieux, M., Aguera, E., Perez, M., Farines, V., Sablayrolles, J. (2014). Kinetic analysis and gas–liquid balances of the production of fermentative aromas during winemaking fermentations: Effect of assimilable nitrogen and temperatura. *Food Research International*. 62, 1-10.
- Murthy, P. S., & Madhava Naidu, M. (2012). Sustainable management of coffee industry by- products and value addition - A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 66, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.005>
- 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>
- Oktaviani, L., Astuti, D. I., Rosmiati, M., & Abduh, M. Y. (2020). Fermentation of coffee pulp using indigenous lactic acid bacteria with simultaneous aeration to produce cascara with a high antioxidant activity. *Heliyon*, 6(7), e04462. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04462>
- Pandey, A., Soccol, C. R., Nigam, P., Brand, D., Mohan, R., & Roussos, S. (2000). Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6(2), 153–162. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00084-X)
- Parra Huertas, R. (2010). Review. Bacterias Acido Lacticas: papel funcional en los alimentos. *Biocología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 8(1), 93–105.
- Peñuela-Martínez, A. E., Romero-Tabarez, M., & Zapata-Zapata, A. D. (2021). Functional diversity of microbial communities associated with fermentation processes in coffee (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science*, 16. <https://doi.org/10.25186/V16I.1825>
- Pereira, G. V. D. M., Mesa, D., Thomaz-soccol, V., Pagnoncelli, M. G. B., & Soccol, C. R. (2019). crossm Draft Genome Sequence of *Pediococcus acidilactici* Strain. March, 18–19. April 2019 Volume 8 Issue 16 e00332-19. <https://doi.org/10.1128/MRA.00332-19>
- 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, G. V. de M., Neto, D. P. de C., Júnior, A. I. M., Prado, F. G. do, Pagnoncelli, M. G. B., Karp, S. G., & Soccol, C. R. (2020). Chemical composition and health properties of coffee and coffee by-products. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 91, pp. 65–96). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.10.002>
- Poltronieri, P., & Rossi, F. (2016). Challenges in Specialty Coffee Processing and Quality Assurance. *Challenges*, 7(2), 19. <https://doi.org/10.3390/challe7020019>
- Prata, E. R. B. A., & Oliveira, L. S. (2007). Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins. *LWT - Food Science and Technology*, 40(9), 1555–1560. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.10.003>
- Puerta, G. (2012). Factores, procesos y controles de la fermentación del café. *Cenicafé. Avances técnicos*. 2-12 pág.
- Ramirez-Coronel, M. A., Marnet, N., Kolli, V. S. K., Roussos, S., Guyot, S., & Augur, C. (2004). Characterization and Estimation of Proanthocyanidins and Other Phenolics in Coffee Pulp (*Coffea arabica*) by Thiolytic-High-Performance Liquid Chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1344–1349. <https://doi.org/10.1021/jf035208t>
- Ramos, D. M. B., Silva, C. F., Batista, L. R., & Schwan, R. F. (2010). Inibição in vitro de fungos toxigênicos por *Pichia* sp. e *Debaryomyces* sp. isoladas de frutos de café (*Coffea arabica*). *Acta Scientiarum - Agronomy*, 32(3), 397–402. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i3.3361>
- Ríos, S., & Puerta, G. I. (2011). Composición Química Del Mucílago De Café, Según El Tiempo De Fermentación Y Refrigeración. *Cenicafé*, 2(62), 23–40. <http://www.cenicafe.org/es/documents/2.pdf>.
- Rojas, Liliana & Cajiao, Angela & Cardenas, Roberth. (2015). AISLAMIENTO DE HONGOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL BENEFICIO DE CAFÉ CULTIVADO Y COMERCIALIZADO EN TOLEDO, NORTE DE SANTANDER. 13. 96. 10.24054/16927125.v2.n2.2015.1875.
- Roussos, S., de los Angeles Aquíhuatl, M., del Refugio Trejo-Hernández, M., Gaime Perraud, I., Favela, E., Ramakrishna, M., Raimbault, M., & Viniegra-González, G. (1995). Biotechnological management of coffee pulp - isolation, screening, characterization, selection of caffeine-degrading fungi and natural microflora present in coffee pulp and husk. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 42(5), 756–762. <https://doi.org/10.1007/BF00171958>
- Ruta, L. L., & Farcasanu, I. C. (2021). Coffee and yeasts: From flavor to biotechnology. In *Fermentation* (Vol. 7, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/fermentation7010009>

- Sadiq, F. A., Yan, B., Tian, F., Zhao, J., Zhang, H., & Chen, W. (2019). Lactic Acid Bacteria as Antifungal and Anti-Mycotoxigenic Agents: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1403–1436. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12481>
- Sánchez de Prager, M., Marmolejo de la Torre, F y Bravo Otero, N. (2001). *Microbiología: aspectos fundamentales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Silva, C. F., Schwan, R. F., Sousa Dias, E., & Wheals, A. E. (2000). Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *International Journal of Food Microbiology*, 60(2–3), 251–260. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00315-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00315-9).
- Silva, C. F., Vilela, D. M., de Souza Cordeiro, C., Duarte, W. F., Dias, D. R., & Schwan, R. F. (2013). Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1175-2>.
- Silva, M. D. C., Várzea, V., Guerra-Guimarães, L., Azinheira, H. G., Fernandez, D., Petitot, A. S., Bertrand, B., Lashermes, P., & Nicole, M. (2006). Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 119–147. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100010>
- Suárez-Quiroz, M., González-Rios, O., Barel, M., Guyot, B., Schorr-Galindo, S., & Guiraud, J. P. (2004). Study of ochratoxin A-producing strains in coffee processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 39(5), 501–507. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00810.x>
- Taniwaki, M. H., Teixeira, A. A., Teixeira, A. R. R., Copetti, M. V., & Iamanaka, B. T. (2014). Ochratoxigenic fungi and ochratoxin A in defective coffee beans. *Food Research International*, 61, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.12.032>
- Vaughan, M. J., Mitchell, T., & McSpadden Gardener, B. B. (2015). What's inside that seed we brew? A new approach to mining the coffee microbiome. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(19), 6518–6527. <https://doi.org/10.1128/AEM.01933-15>
- Vega Ortiz, V. (2012). *Hongos Micotoxigénicos y Aflatoxinas en Granos de Maíz de Diferentes Orígenes Geográficos de la República Mexicana*. 79 pp.
- Veloso, T. G. R., da Silva, M. de C. S., Cardoso, W. S., Guarçoni, R. C., Kasuya, M. C. M., & Pereira, L. L. (2020). Effects of environmental factors on microbiota of fruits and soil of *Coffea arabica* in Brazil. *Scientific Reports*, 10(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71309-y>
- Vinícius de Melo Pereira, G., Soccol, V. T., Brar, S. K., Neto, E., & Soccol, C. R. (2017). 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>
- Wang, C., Sun, J., Lassabliere, B., Yu, B., & Liu, S. Q. (2020). Coffee flavour modification through controlled fermentation of green coffee beans by *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*. *Lwt*, 120(October 2019). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108930>.
- Wang, C., Sun, J., Lassabliere, B., Yu, B., & Liu, S. Q. (2020). Coffee flavour modification through controlled fermentation of green coffee beans by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kluyveri*: Part II. Mixed cultures with or without lactic acid bacteria. *Food Research International*, 136, 109452. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109452>
- 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, 109588. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109588>.
- Waters, D. M., Arendt, E. K., & Moroni, A. V. (2017). Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 259–274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.902804>
- Waters, D. M., Arendt, E. K., & Moroni, A. V. (2017). Overview on the mechanisms of coffee germination and fermentation and their significance for coffee and coffee beverage quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 259–274. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.902804>
- Widiputri, D. I., Wijaya, S., & Kusumocahyo, S. P. (2020). Development of Skin Lotion Containing Antioxidant Extract from Coffee Pulp and Study on Its Stability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 742(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/742/1/012020>

Yadira, P. S. B., Sergio, S. T., Fernando, S. E. L., Sebastian, P. J., & Eapen, D. (2014). Bioethanol production from coffee mucilage. *Energy Procedia*, 57, 950–956. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.077>

Zhang, S. J., De Bruyn, F., Pothakos, V., Torres, J., Falconi, C., Moccand, C., Weckx, S., & De Vuyst, L. (2019). Following coffee production from cherries to cup: Microbiological and metabolomic analysis of wet processing of *Coffea arabica*. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(6), 1–22. <https://doi.org/10.1128/AEM.02635-18>.