



**Potencial de las levaduras
autóctonas del café como
cultivos iniciadores para el
proceso de fermentación de
masa madre**

M.C. Sara Paola Romero Isaza

Dra. Mirna L. Suárez Quiroz

Dr. Oscar González Ríos

Dr. Zorba Josué Hernández Estrada

Dra. Claudia Yuritzi Figueroa Hernández

Tecnológico Nacional de México/Instituto

Tecnológico de Veracruz, Unidad de Investigación y

Desarrollo en Alimentos

Abstract

Coffee fermentation involves various microorganisms, mainly lactic acid bacteria (LAB) and yeasts, whose activity influences the sensory, aromatic, and nutritional properties of the beverage obtained as a final product. The metabolic characteristics of these autochthonous microorganisms can be exploited for their use as starter cultures for other fermentation processes, such as sourdough fermentation. In recent years, the use of sourdough for the elaboration of bakery products has gained relevance due to the multiple health benefits it can provide, in addition to improving the nutritional quality of one of the most widely consumed foods in the world. In this fermentative process, yeasts and LAB also participate. These microorganisms are often deliberately added as starter cultures to conduct sourdough fermentation at the industrial level. Therefore, this review aims to provide an overview of the potential of autochthonous yeasts for coffee fermentation as starter cultures for sourdough, as well as the important criteria to be considered when selecting them.

Keywords: Coffee, Yeast, Starter culture, Sourdough

Resumen

En la fermentación del café intervienen diversos microorganismos principalmente bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras, cuya actividad tiene un efecto en las propiedades sensoriales, aromáticas y nutricionales de la bebida obtenida como producto final. Las características metabólicas de estos microorganismos autóctonos pueden ser valorizadas de su uso como cultivos iniciadores para otros procesos fermentativos como la fermentación de masa madre. En los últimos años el uso

de la masa madre para la elaboración de productos de panadería ha tomado relevancia debido a los múltiples beneficios que puede aportar en la salud, además de que mejora la calidad nutricional de uno de los alimentos más ampliamente consumidos en el mundo. En este proceso fermentativo, también participan levaduras y BAL. A nivel industrial, estos microorganismos suelen ser añadidos deliberadamente como cultivos iniciadores para dirigir la fermentación de la masa madre. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión es brindar un panorama sobre la potencialidad que tienen las levaduras nativas de la fermentación del café como cultivos iniciadores de la masa madre, así como de los criterios importantes que se deben considerar para seleccionarlas.

Palabras clave: Café, Levaduras, Cultivo iniciador, Masa madre

Introducción

En las fermentaciones de alimentos se encuentran involucradas una gran diversidad de microorganismos, y por lo tanto son fuentes potenciales para aislar microorganismos de interés comercial, que pueden ser utilizados como cultivos iniciadores en diversos procesos fermentativos entre los que destacan la cerveza, vino, cacao, leches fermentadas y masa madre. En el caso particular de la fermentación del café están involucrados una gran diversidad de levaduras y bacterias ácido lácticas (Siridevi *et al.*, 2019). Estos microorganismos contribuyen a la producción de precursores de sabor y aroma característicos de la bebida del café. Los géneros de levaduras mayormente reportados en la fermentación (vía húmeda) pertenecen a los géneros *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia*, *Hanseniaspora* y *Kluyveromyces* (Evangelista *et al.*, 2015).

Las levaduras han sido utilizadas desde las antiguas civilizaciones como iniciadores para la producción de alimentos y bebidas fermentadas. La fermentación de masa madre ha sido parte de la historia de la humanidad y aún hoy en día representa un recurso alimentario importante en todo el mundo. Incluso el uso de este tipo de masa para la elaboración de diversos productos de panificación ha tomado gran relevancia en los últimos años ya que tiene un efecto positivo sobre los sensoriales, nutricionales y funcionales de los panes producidos.

Durante el proceso de fermentación en la masa madre intervienen diversas bacterias ácido lácticas y levaduras, las cuales tienen un impacto significativo en los indicadores de calidad del pan producido con esta masa. Este proceso fermentativo puede ser dirigido por la adición de cultivos iniciadores que tengan un buen efecto sobre los parámetros reológicos, sensoriales, aromáticos y funcionales del pan elaborado con esta. De forma tradicional se utiliza la levadura comercial de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*) Sin embargo, se ha evidenciado que el uso de levaduras autóctonas como iniciadores en este proceso fermentativo puede ser útil para controlar este proceso y, además aporta buenas características de leudado (fermentación de la masa) y mejora las características sensoriales y nutricionales de la masa y del pan elaborado con la misma (Vrancken *et al.*, 2010). Por esa razón, resulta interesante estudiar la potencialidad de las levaduras nativas del proceso de café como cultivos iniciadores para la fermentación de masa madre.

Generalidades de la masa madre

El proceso de fermentación de masa madre se ha utilizado de forma

tradicional para la elaboración de pan desde la antigüedad, por lo que es un recurso alimentario importante para la humanidad (Calvert *et al.*, 2021, Hernández-Parada *et al.*, 2023). La masa madre puede ser definida como la masa fermentada por un consorcio complejo conformado por bacterias ácido lácticas y levaduras que se utiliza como agente leudante para la panificación, produciendo panes con un perfil aromático más complejo, mejores características de sabor y textura, además de una vida de anaquel más larga. Actualmente el uso de este tipo de masa ha ganado relevancia debido a los efectos sobre las propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales en los productos de panificación producidos con este tipo de masa (Siepmann *et al.*, 2019).

La diversidad microbiana presente en la masa madre es dependiente de la microbiota autóctona presente en el momento de la fermentación (ambiente, utensilios y la microbiota del panadero). Sin embargo, también intervienen otros factores como el tipo de harina empleada, la alimentación del iniciador, el nivel de hidratación de la masa, el tiempo de fermentación, la temperatura de mantenimiento de la masa y el tiempo para elaboración del pan (Garofalo *et al.*, 2008; Lhomme *et al.*, 2016). Durante la fermentación de la masa madre, la microbiota presente se encarga de producir diversos metabolitos secundarios que son responsables de los efectos benéficos atribuidos al uso de la masa madre en la panificación, ver Figura 1. Por ejemplo, el uso de masa madre como agente leudante favorece la degradación del gluten, aumenta la absorción de nutrientes, principalmente minerales, lo cual aumenta la calidad nutricional de los alimentos elaborados con esta masa.

Efectos benéficos de la fermentación de masa madre sobre los productos de panadería

Propiedades nutricionales y funcionales

- Disminuye la respuesta glucémica.
- Disminuye las propiedades alergénicas de los cereales.
- Mayor concentración de EPS** con potencial prebiótico.
- Mayor biodisponibilidad de minerales.
- Incrementa el potencial antioxidante.
- Aumenta la concentración de péptidos bioactivos, aminoácidos y compuestos fenólicos libres.



Propiedades sensoriales y estructurales

- Incrementa el volumen específico.
- Diversifica el perfil sensorial.
- Mejora el sabor y textura en los productos integrales y libres de gluten.

Propiedades tecnológicas

- Aumenta la vida de anaquel.
- Provee capacidad antifúngica.
- Disminuye la oxidación lipídica.

** Exopolisacáridos

(Gobbetti et al., 2014)

Figura 1: Efectos benéficos atribuidos al uso de la masa madre en los productos de panadería

La masa madre puede clasificarse de acuerdo a su método de producción como: i) tipo I, que es la masa tradicional, la cual se fermenta durante varios días por acción de la microbiota presente en el agua, la harina y en el ambiente, y que además, requiere ser refrescada constantemente con harina y agua en intervalos regulares de tiempo; ii) tipo II esta masa es inoculada tipo II con cultivos iniciadores adaptados industrialmente, conformados por BAL y/o levaduras a intervalos de 15-24 horas; iii) tipo III masa producida por la deshidratación de la masa tipo II, esto facilita su almacenamiento y utilización y iv) tipo IV es una combinación de masa tipo I y II, debido a que a este tipo de masa se le adicionan cultivos iniciadores y se fermenta durante varios días (Siepmann *et al.*, 2019). Como se mencionó anteriormente, este proceso fermentativo puede ser

dirigido mediante la adición de cultivos iniciadores que favorezcan el desarrollo de un producto con mejores atributos nutricionales, sensoriales, reológicos y de calidad sanitaria, así como una mayor vida de anaquel (Hernández-Parada *et al.*, 2023; Kulathunga *et al.*, 2023).

Proceso de fermentación de la masa madre

La fermentación de la masa madre es un proceso que se lleva a cabo en condiciones aeróbicas limitadas, en donde participan de forma sucesiva, bacterias ácido lácticas y levaduras. Los cereales que tienen un valor de pH entre 5.0-6.2 y altas concentraciones de carbohidratos fermentables son sustratos adecuados para sustentar el crecimiento de las BAL, provocando el descenso de la masa hasta un valor de pH de 4.0. Posteriormente, las levaduras que muestran tolerancia al ambiente ácido son los microorganismos

predominantes en este proceso (Calvert *et al.*, 2021; Hernández-Parada *et al.*, 2023).

Las BAL fermentan la maltosa, el cual es el carbohidrato principal presente en la harina de trigo; estas bacterias pueden presentar un metabolismo homofermentativo, produciendo más del 85% de ácido láctico o bien pueden presentar un metabolismo heterofermentativo produciendo hasta un 50% de ácido láctico y otros metabolitos como ácido acético, etanol y CO_2 . El tipo de metabolismo de estas bacterias influye así en las propiedades de los productos panificados producidos. Se ha demostrado que el ácido acético endurece el gluten presente en la masa, mientras que el ácido láctico lo vuelve más elástico. Con respecto a las levaduras, a pesar de estar presentes en menor proporción su presencia en la masa madre es indispensable para una correcta fermentación debido a que las levaduras son responsables de la mayor producción de CO_2 en la masa (Romero-Isaza, 2023).

Las levaduras y las BAL presentes en la masa madre pueden presentar interacciones sinérgicas o antagónicas basadas en el metabolismo de los carbohidratos y aminoácidos, así como la producción de CO_2 . Estas relaciones dependen de diversos factores ambientales como el pH, la temperatura, la cantidad de sustrato disponible y la competencia por sustrato que se da entre estos microorganismos (Gobbetti *et al.*, 2014). Cada especie de microorganismo presenta condiciones óptimas de crecimiento diferentes, por lo cual la proporción entre microorganismos varía de un tipo de masa a otra con respecto al tipo de ingredientes, número de pasos de propagación de la masa madre, el tiempo, la temperatura de fermentación

y el grado de hidratación de la masa. Además, el tipo de interacción entre la población microbiana afecta también la síntesis de compuestos volátiles que contribuyen al sabor y aroma de los productos elaborados a partir de la masa madre, por lo cual es de gran importancia una adecuada formulación de cultivos que presenten una fuerte compatibilidad y asociación microbiana (Romero-Isaza, 2023). La primera levadura aislada del proceso de fermentación de masa madre fue *Saccharomyces exiguus*, la cual establece un ejemplo de relación trófica adecuada con la especie de *Fructobacillus sanfranciscensis* (anteriormente *Lactobacillus sanfrancisco*). Estos microorganismos fueron aislados de un proceso de producción de pan en San Francisco. Estos microorganismos no compiten por sustrato, *S. exiguus* es negativo a maltosa mientras que *L. sanfrancisco* es positivo. Además de que *L. sanfrancisco* hidroliza la maltosa en dos moléculas de glucosa, metabolizando sólo una de estas y permitiendo que *S. exiguus* se alimente de la molécula de glucosa restante. Además, se ha comprobado que *S. exiguus* libera compuestos nitrogenados que benefician el crecimiento de *L. sanfrancisco* (De Vuyst *et al.*, 2014). A continuación, se describirán las funciones principales realizadas por las BAL y las levaduras durante la fermentación de masa madre.

Función de las BAL en la fermentación de masa madre

Las BAL son los microorganismos predominantes en este proceso, alcanzando una concentración celular de 10^8 - 10^9 UFC/g. Estas bacterias son responsables de la acidificación de la masa madre. Las especies de BAL heterofermentativas también pueden contribuir de forma parcial en el proceso de leudado por lo que su

participación en este proceso es más importante que el realizado por las BAL homofermentativas. Los ácidos orgánicos producidos por las BAL disminuyen el pH de la masa a valores inferiores a 4.5. La relación entre la concentración de ácido láctico y el ácido acético producidos durante la fermentación de la masa madre es un parámetro importante conocido como cociente de fermentación (FQ). El FQ debe estar entre 2.0 y 2.7 para conseguir un buen pan a partir de la masa madre, ya que su valor influye en las propiedades sensoriales de los panes de masa madre (Hernández-Parada *et al.*, 2023).

Por otro lado, las BAL tienen la capacidad de hidrolizar parcialmente el almidón, realizan proteólisis y acidifican la masa por lo que el pan que se obtiene de esta masa tiene una miga blanda y de sabor agradable. Además, aumentan la biodisponibilidad de los minerales mediante la degradación de los fitatos e impiden el crecimiento de microorganismos de descomposición. La actividad proteolítica que poseen algunas cepas de BAL libera aminoácidos y péptidos que estimulan su crecimiento, así como la síntesis de vitaminas del complejo B y ácidos grasos volátiles, lo cual, a su vez, brinda mejores condiciones de crecimiento para la levaduras (Suo *et al.*, 2021), ver Figura 2. Las especies de BAL que más se han reportado en la masa madre pertenecen a los géneros de *Lactobacillus*, *Lactiplantibacillus*,

Fructobacillus, *Levilactobacillus* y *Limosibacillus*. Otros géneros menormente encontrados en esta fermentación son *Leuconostoc*, *Weissella*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, *Enterococcus* y *Streptococcus* (Hernández-Parada *et al.*, 2023).

Función de las levaduras en la fermentación de masa madre

Las levaduras están presentes en la fermentación de la masa madre en concentraciones celulares de entre 10^6 y 10^7 UFC/g, y son responsables de la acción leudante de la masa madre. La relación entre BAL y levaduras que se encuentra en la masa madre es generalmente de 100:1. Las levaduras producen además compuestos aromáticos que armonizan el sabor del pan producido con la masa madre. Por otro lado, las levaduras presentes en la masa madre deben mostrar tolerancia a ambientes con bajos valores de pH, altas concentraciones de carbohidratos y alta concentración de BAL. Las levaduras mejoran el sabor del pan mediante la producción de metabolitos que confieren sabores, como ésteres, aldehídos y acetoína. Otros compuestos producidos por las levaduras, como el glutatión, el glicerol y el ácido pirúvico, contribuyen a la textura del pan mejorando la red de gluten. Las especies de levaduras más reportadas en la masa madre pertenecen a los géneros *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia*, *Torulaspura* y *Rhodotorula* (Hernández-Parada *et al.*, 2023).

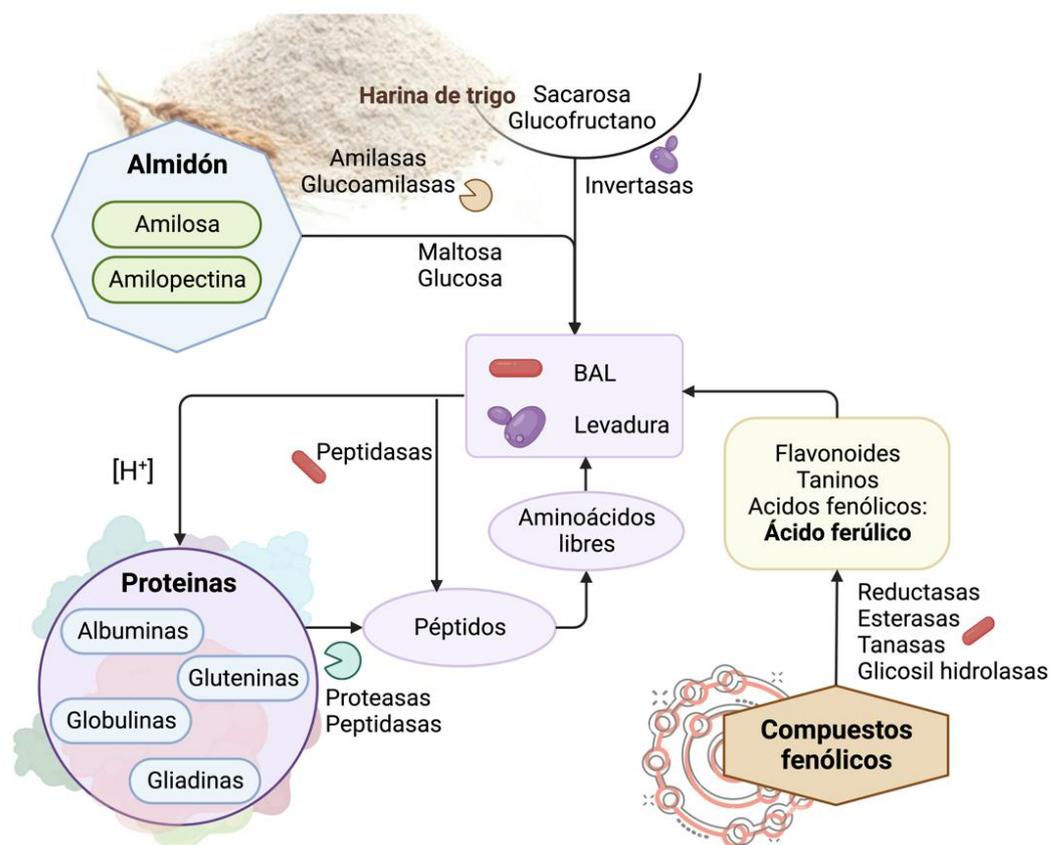


Figura 2: Principales transformaciones realizadas por los microorganismos durante la fermentación de masa madre. Figura creada con Biorender.com

Cultivos iniciadores para el proceso de fermentación de masa madre

Como ya se mencionó la fermentación de la masa madre se lleva a cabo de forma natural por los microorganismos presentes en el ambiente y en la materia prima empleada. Sin embargo, esta fermentación también puede ser dirigida por medio de la adición de cultivos iniciadores conformados principalmente por una o más especies conocidas de bacterias ácido lácticas y levaduras. Un cultivo iniciador puede ser definido como una preparación de microorganismos vivos con alta concentración celular que se utiliza de forma deliberada para acelerar la fermentación, provocando cambios específicos en el sustrato alimentario y sus propiedades sensoriales, obteniéndose un producto más homogéneo. La utilización de cultivos iniciadores en la fermentación

de masa madre es actualmente una práctica común debido a que aumenta el rendimiento y las características de los productos finales obtenidos. La mayor parte de los estudios publicados se han centrado en estudiar cepas de microorganismos aislados de otros ecosistemas alimentarios. Los criterios utilizados para realizar la selección de las cepas microbianas que formaran parte del cultivo iniciador son diversos, y se factores tecnológicos, bioquímicos y nutricionales, por lo cual es necesario tener pleno conocimiento del comportamiento y características del microorganismo que se va a utilizar. Es relevante considerar la velocidad de crecimiento y la tasa de acidificación (en el caso específico de las BAL) con el fin de facilitar la fermentación. Otros criterios importantes son la síntesis de compuestos volátiles, actividad

enzimáticas como la fitásica, celulolítica, proteolítica y amilolítica, producción de compuestos antifúngicos, degradación de acrilamida y tolerancia a condiciones ácidas. La selección adecuada de los microorganismos que se van a utilizar como cultivos iniciadores es de suma importancia para su aplicación en el proceso de fermentación de masa madre, ya que influye significativamente en las características de la masa final, el pH y la temperatura de fermentación, y esto a su vez en el pan elaborado con esta masa (Hernández-Parada *et al.*, 2023). Finalmente, es importante destacar que la información disponible sobre la selección de levaduras con el fin de ser aplicadas a la elaboración de masa madre es todavía limitada, ya que se ha estudiado más la aplicación de BAL en este proceso (Arora *et al.*, 2021).

Criterios de selección relevantes para la selección de levaduras para el proceso de masa madre

Las levaduras son microorganismos con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria debido a su capacidad fermentativa. En la masa madre, las levaduras tienen diversas contribuciones como el leudado, es decir, el incremento de su volumen debido a los gases (principalmente CO_2). También, producen diversos metabolitos secundarios que aportan al sabor de los productos elaborados; contribuyen a la calidad nutricional al contribuir con la producción de vitaminas, presentar potencial probiótico y mejorar la biodisponibilidad de los minerales debido a su actividad fitásica. También pueden mejorar la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos (ver Figura 2). Por todo lo anterior, diversas cepas de levaduras ofrecen beneficios más allá de la tradicional levadura de panadería, por lo que pueden considerarse candidatos potenciales para su uso en cultivos iniciadores para la fermentación de

masa madre (Romero-Isaza, 2023).

El perfil de carbohidratos de la harina se compone típicamente por sacarosa, glucosa, fructosa y maltosa, siendo este último disacárido el más abundante. Las levaduras metabolizan estos carbohidratos convirtiéndolos finalmente en CO_2 y etanol, productos que determinan las propiedades de la masa. Por otro lado, las actividades enzimáticas desarrolladas por las levaduras son relevantes para realizar el cribado de las levaduras que serán utilizadas como cultivos iniciadores de la masa madre. La actividad amilolítica (degradación de almidón) y celulolítica (degradación de la celulosa) permiten la liberación de carbohidratos de fácil acceso a partir de polisacáridos. Además, en la masa madre, la disminución del pH debido a la acción de las BAL aumenta la actividad de enzimas hidrolíticas extracelulares producidas por las levaduras, tales como las amilasas, en especial la α -amilasa, y las celulasas como la β -glucosidasas. Algunas levaduras que poseen actividad amilolítica son: *Saccharomycopsis capsularis*, *Saccharomycopsis fibuligera*, *Pichia burtonii* y *Wickerhamomyces anomalus*. En cambio, las especies de *Candida tropicalis*, *Debaryomyces hansenii*, *Pichia kudriavzevii* y *W. anomalus* presentan actividad celulolítica (Romero-Isaza, 2023).

Otra actividad enzimática importante es la proteolítica. Esta actividad disminuye la inmunogenicidad del gluten presente en las harinas, y además puede generar compuestos bioactivos y precursores de aroma y sabor (Gobbetti *et al.*, 2014). La acción de las proteasas también ha demostrado disminuir la tasa de endurecimiento de los panes, aumentando así su vida de anaquel. Algunas levaduras que

presentan esta actividad enzimática son: *Debaryomyces hansenii*, *Yarrowia bubula* y *Y. alimentaria* (Romero-Isaza, 2023).

La actividad fitásica, es otro criterio importante para la selección de levaduras. La fitasa hidroliza el fitato a inositol y ácido fosfórico libre y su actividad es muy importante desde el punto de vista nutricional debido a que el fitato forma complejos queloides con minerales como el calcio, hierro, magnesio y zinc, al actuar la fitasa se aumenta la biodisponibilidad de estos minerales. Algunas especies que presentan este tipo de actividad son: *S. pastorianus*, *Candida glabrata*, *W. anomalous*, *Kluyveromyces lactis* y *S. cerevisiae* (Romero-Isaza, 2023).

Además, es necesario que las levaduras que serán aplicadas como cultivos iniciadores sean inocuas. Una forma de evaluar la patogenicidad de las levaduras es la detección de su capacidad de producir hemolisinas (actividad hemolítica), en forma de exoenzimas o toxinas, las cuales pueden lisis los glóbulos rojos y de esta forma acceder al hierro que forma parte de la hemoglobina, y es un importante factor de crecimiento de los microorganismos durante una infección. En el caso de algunas levaduras, como por ejemplo de género *Candida*, han demostrado la capacidad de excretar proteínas hemolíticas como estrategia de supervivencia durante infecciones oportunistas, lo cual permite acceder al hierro y facilitar la diseminación de las hifas en el organismo. Algunos ejemplos de levaduras hemolíticas son: *Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. parapsilosis*, *C. tropicalis*, *Pichia krusei*

y *C. guilliermondi* (Romero-Isaza, 2023)

Fermentación del café como fuente de levaduras con potencial de uso para la fermentación de masa madre

La fermentación del café se refiere a la etapa de su procesamiento (húmedo o seco) en la cual la pulpa y el mucílago que recubren el grano son metabolizados por la acción de diversos microorganismos, cuya diversidad depende del ecosistema. Estos microorganismos producen metabolitos secundarios que favorecen las características finales del café y son característicos de la cereza de café recolectada, aunque también pueden provenir de diversas fuentes tales como el suelo, la lluvia, los lugares de fermentación, la superficie de los frutos, el agua de riego, el aire, entre otros. Se ha observado que el proceso de fermentación del café durante el procesamiento seco presenta una mayor complejidad y variabilidad en el perfil microbiano que en la fermentación húmeda relacionada con el procesamiento húmedo del café. Dentro de la microbiota encontrada en el proceso de fermentación del café se destacan bacterias (enterobacterias, BAL y ácido-acéticas), levaduras (*Pichia*, *Debaryomyces*, *Sacharomyces*, y *Candida*) y hongos filamentosos (*Aspergillus*, *Penicillium*, y *Fusarium*) (DeBruyn *et al.*, 2017; Romero-Isaza, 2023). Algunas de las especies de levaduras se encuentran comúnmente durante la fermentación del café en diversas regiones del mundo, otras por el contrario son específicas de áreas geográficas determinadas. En la Tabla 1 se muestran algunas especies predominantes de levaduras autóctonas encontradas en diversos países durante el procesamiento húmedo y seco del café.

Levadura (especie)	País	Procesamiento	Referencia
<i>Debaryomyces hansenii</i> <i>Pichia ohmeriensis</i> <i>Pichia anomala</i> (<i>Wickerhamomyces anomalus</i>) <i>Pichia fermentans</i>	Brasil	Húmedo	(De Melo Pereira et al., 2014) (Silva et al., 2000) (Silva et al., 2008)
<i>Saccharomyces marxianus</i> <i>Schizosaccharomyces</i>	India	Seco	(Agate y Bhat, 1966) (Velmourougane, 2013)
<i>Cryptococcus albidus</i> <i>Kloeckera apis apiculata</i> <i>Cryptococcus laurentii</i>	México	Húmedo	(Avallone et al., 2001)
<i>Hanseniaspora uvarum</i> <i>Candida pseudointermedia</i>	África Oriental	Húmedo	(Masoud et al., 2004)
<i>Pichia kudriavzevii</i>	Australia	Húmedo	(Elhalis et al., 2020)

Tabla 1: Tabla de especies de levaduras y sus características.

Cabe destacar que algunas de las especies que se han reportado como nativas en el proceso de fermentación del café, también se han encontrado durante la fermentación de masa madre, posiblemente serán cepas diferentes, ya que están adaptadas a su ecosistema, sin embargo, estas especies que se encuentran en ambas fermentaciones, pueden ser buenas candidatas para

ser aplicadas como iniciadores de la fermentación de masa madre. Una de las especies de levaduras que presenta una gran potencialidad es *Wickerhamomyces anomalus* (*Pichia anomala*). Esta especie, además de que se encuentra en la fermentación del café y masa madre, presenta actividades enzimáticas importantes para ser aplicado como cultivo iniciador, como la proteolítica,

fitásica, celulolítica y amilolítica (Brexó *et al.*, 2020; Daniel *et al.*, 2011; Elhalis *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021). También esta especie de *W. anomalus* ha mostrado tener potencial probiótico (Helmy *et al.*, 2019). Sin embargo, tendría que realizarse, la evaluación de su desempeño como cultivo iniciador, porque estas características dependen de la cepa utilizada.

Conclusión

Las levaduras son microorganismos que se encuentran en una gran cantidad de fermentaciones, algunas de éstas pueden tener diversas aplicaciones como cultivos iniciadores. En particular, algunas de las levaduras autóctonas de la microbiota de fermentación del café podrían ser seleccionadas para la formulación de cultivos iniciadores para el proceso de fermentación de masa madre. Para seleccionar adecuadamente la cepa de levadura a utilizar es necesario realizar un estudio en donde se realice una caracterización fisiológica, metabólica y funcional de éstas, considerando criterios como la capacidad leudante, la tolerancia a pH ácidos, la producción de compuestos volátiles, su actividad enzimática y criterios de seguridad (como la actividad hemolítica). De gran importancia es la determinación de las actividades enzimáticas como fitásica, proteolítica, amilolítica y celulolítica, para el desempeño de la levadura evaluada como cultivo iniciador. Cabe mencionar que se ha reportado que la especie *W. anomalus* forma parte de la microbiota del café y masa madre, presenta todas las actividades enzimáticas antes mencionadas, tiene buena tolerancia a los ambientes ácidos e incluso tiene propiedades potencialmente probióticas. Por estas razones, las cepas de la especie *W. anomalus* aisladas del café podrían ser buenas candidatas para utilizarse en

cultivos iniciadores para la fermentación de masa madre; sin embargo, no se podría descartar la potencialidad de otras cepas de otras especies.

Referencias

- [1] Agate, A. D., y Bhat, J. V. Role of pectinolytic yeasts in the degradation of mucilage layer of *Coffea robusta* cherries. *Appl Microbiol*, 14[2], pp. 256-260. 1966.
- [2] Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. G., y Gobbetti, M., Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends Food Sci Technol*, 108, pp. 71–83. 2021.
- [3] Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J.-M., Olguin, E., y Guiraud, J.-P. (2001). Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Curr Microbiol*, 42[4], pp. 252-256. 2001.
- [4] Brexó R. P., Brandão, L. R., Chaves, R. D., Castro, R. J. S., Câmara, A. A., Rosa, C. A., y Sant'Ana, A. S. Yeasts from indigenous culture for cachaça production and brewer's spent grain: Biodiversity and phenotypic characterization for biotechnological purposes. *Food Bioprod Process*, 124, pp. 107–120. 2020.
- [5] Calvert, M. D., Madden, A. A., Nichols, L. M., Haddad, N. M., Lahne, J., Dunn, R. R., y McKenney, E. A. A review of sourdough starters: Ecology, practices, and sensory quality with applications for baking and recommendations for future research. *Peer J*, 9, pp. e11389.2021.
- [6] Daniel, H. M., Moons, M. C., Huret, S., Vrancken, G., y De Vuyst,

- L. *Wickerhamomyces anomalus* in the sourdough microbial ecosystem. *Antonie van Leeuwenhoek*, 99, pp. 63-73. 2011.
- [7] De Bruyn, F., Zhang, S. J., Pothakos, V., Torres, J., Lambot, C., Moroni, A. V., Callanan, M., Sybesma, W., Weckx, S., y De Vuyst, L. Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during green coffee bean production. *Appl Environ Microbiol*, 83[1], pp. e02398-16.2017.
- [8] De Melo Pereira, G. V., Soccol, V. T., Pandey, A., Medeiros, A. B. P., Andrade Lara, J. M. R., Gollo, A. L., y Soccol, C. R.. Isolation, selection and evaluation of yeasts for use in fermentation of coffee beans by the wet process. *Int J Food Microbiol*, 188, pp. 60-66. 2014.
- [9] De Vuyst, L., Van Kerrebroeck, S., Harth, H., Huys, G., Daniel, H.-M., y Weckx, S. Microbial ecology of sourdough fermentations: Diverse or uniform? *Food Microbiol*, 37, pp.11–29. 2014.
- [10] Elhali, H., Cox, J., y Zhao, J. Ecological diversity, evolution and metabolism of microbial communities in the wet fermentation of Australian coffee beans. *Int J Food Microbiol*, 321, pp.108544. 2020.
- [11] Evangelista, S. R., Miguel, M. G. da C. P., Silva, C. F., Pinheiro, A. C. M., y Schwan, R. F. (2015). Microbiological diversity associated with the spontaneous wet method of coffee fermentation. *Int J Food Microbiol*, 210, pp. 102–112. 2015.
- [12] Garofalo, C., Silvestri, G., Aquilanti, L., y Clementi, F. (2008). PCR-DGGE analysis of lactic acid bacteria and yeast dynamics during the production processes of three varieties of Panettone. *J Appl Microbiol*, 105[1], pp. 243–254. 2008.
- [13] Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Di Cagno, R., y De Angelis, M. (2014). How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiol*, 37, pp. 30-40. 2014.
- [14] Helmy, Soliman, S. A., Abdel-Ghany, T. M., y Ganash, M. Evaluation of potentially probiotic attributes of certain dairy yeast isolated from buffalo sweetened Karish cheese. *Heliyon*, 5[5], pp. e01649. 2019.
- [15] Hernández-Parada, N., González-Ríos, O., Suárez-Quiroz, M. L., Hernández-Estrada, Z. J., Figueroa-Hernández, C. Y., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Rayas-Duarte, P., y Figueroa-Espinoza, M. C. (2023). Exploiting the Native Microorganisms from Different Food Matrices to Formulate Starter Cultures for Sourdough Bread Production. *Microorganisms*, 11[1], pp.109. 2023.
- [16] Kulathunga, J., Whitney, K., y Simsek, S. Impact of starter culture on biochemical properties of sourdough bread related to composition and macronutrient digestibility. *Food Biosci*, 53, pp. 102640. 2023.
- [17] Lhomme, E., Urien, C., Legrand, J., Dousset, X., Onno, B., y Sicard, D. Sourdough microbial community dynamics: An analysis during French organic bread-making processes. *Food Microbiol*, 53, pp. 41–50. 2016.

- [18] Li, Zhou, M., Cui, M., Wang, Y., y Li, H. Improvement of whole wheat dough fermentation for steamed bread making using selected phytate-degrading *Wickerhamomyces anomalus* P4. *J Cereal Sci*, 100, pp. 103-261. 2021.
- [19] Masoud, W., Cesar, L. B., Jespersen, L., y Jakobsen, M. Yeast involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa determined by genotyping and by direct denaturing gradient gel electrophoresis. *Yeast*, 21[7], pp. 549-556. 2004.
- [20] Siepmann, F. B., Sousa de Almeida, B., Waszczynskyj, N., y Spier, M. R. Influence of temperature and of starter culture on biochemical characteristics and the aromatic compounds evolution on type II sourdough and wheat bread. *LWT-Food Sci Technol*, 108, pp. 199-206. 2019.
- [21] Silva, C. F., Batista, L. R., Abreu, L. M., Dias, E. S., y Schwan, R. F. Succession of bacterial and fungal communities during natural coffee (*Coffea arabica*) fermentation. *Food Microbiol*, 25[8], pp. 951-957. 2008.
- [22] Silva, C. F., Schwan, R. F., Sousa Dias, E., y Wheals, A. E. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of *Coffea arabica* in Brazil. *Int J Food Microbiol*, 60[2], pp. 251-260. 2000.
- [23] Siridevi, G. B., Havare, D., Basavaraj, K., y Murthy, P. S. Coffee starter microbiome and in-silico approach to improve Arabica coffee. *LWT - Food Sci Technol*, 114, pp. 108382. 2019.
- [24] Suo, B., Chen, X., y Wang, Y. Recent research advances of lactic acid bacteria in sourdough: Origin, diversity, and function. *Curr Opin Food Sci*, 37, pp. 66-75. 2021
- [25] Romero-Isaza, S.P. Aislamiento y caracterización de levaduras autóctonas del café para la formulación de cultivos iniciadores de masa madre: Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Veracruz [Tesis Maestría], México, pp. 7-27. 2023
- [26] Velmourougane, K. Impact of natural fermentation on physicochemical, microbiological and cup quality characteristics of Arabica and Robusta coffee. *Proc Natl Acad Sci India Sect B Biol Sci*. 83[2], pp. 233-239. 2013.
- [27] Vrancken, G., De Vuyst, L., Van Der Meulen, R., Huys, G., Vandamme, P., y Daniel, H. M. Yeast species composition differs between artisan bakery and spontaneous laboratory sourdoughs. *FEMS Yeast Res*, 10[4], pp. 471-481. 2010.