

Potencial tecnológico de cepas nativas de levaduras aisladas en procesos de fermentación
natural de café para la producción de Cafés Especiales

Presentado por

Daniel Santiago Guzmán Cano

Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Café

Asesora

Karina Edith Motato Rocha

Profesional en Ciencia y Tecnología de Alimentos – Doctora y Magister en Biotecnología

Universidad de Antioquia

Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias y Facultad de Ciencias Agrarias

Seccional Suroeste, Andes, Antioquia

2021

Tabla de contenido

Listado de tablas y figuras	3
Introducción	4-7
Planteamiento del problema y justificación	7-9
Objetivo general y específicos.....	9-10
Marco teórico y contextual de la producción de cafés especiales	10-19
Metodología Propuesta.....	19-25
Bibliografía	25-29

Lista de tablas y figuras

Figura 1. Representación de las capas de la cereza de café con corte longitudinal.

Figura 2. Composición química del mucilago en base seca.

Tabla 1. Comparativo de investigaciones alrededor de fermentaciones de café con adición de levaduras.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fermentación de café (*Coffea arábica* L. variedad Colombia) a temperatura ambiente (Andes, Antioquia) por 24 horas.

Tabla 3. Perfil de tostado en escala Agtro/SCAA M básica L*,a*,b*

Introducción.

El café es un producto insignia en nuestro país, es uno de los principales productos agrícolas y en torno a él, se ha desarrollado toda una industria y la economía de países como Colombia y Brasil dependen, en gran parte del comercio del grano (Ramírez, 2010). Es una bebida de color marrón, ligeramente amarga, hecha de granos de café molidos y tostados, que se consume ampliamente y se considera popular debido a sus propiedades estimulantes y composición (Ballesteros et al., 2014, Contreras-Calderón et al., 2016).

Según las cifras reportadas por la Federación Nacional de Cafeteros, para finales del 2020, la producción de café en Colombia cerró en 13,9 millones de sacos de 60 kilos, un 6 por ciento menos que el cierre de 2019 de 14,7 millones de sacos. Volúmenes de producción que no se registraban desde hace más de 25 años (16,1 millones de sacos en 1992), en temas de exportación se reportó para el cierre del 2020 que cayeron en un 8 por ciento llegando a 12,5 millones de sacos de 60 kilos de café verde en comparación con 13,7 millones de sacos puestos en el exterior en 2019. (FNC, 2021). Estos datos evidencian una tendencia en temas de producción y exportaciones positivas, teniendo en cuenta la situación pandémica del año 2020, gracias a la implementación de los protocolos de bioseguridad desarrollados por FNC y a la rápida reacción de los cafeteros se pudo recoger todo el café cosechado en 2020 sin mayor dificultad (FNC, 2021), sin embargo, se presentan todavía problemas estructurales en la producción debido a la falta de consistencia en la calidad del café.

En el año 2015, según CENICAFÉ, “A pesar de que la industria del café en Colombia tiene más de 76 años de generación de tecnologías y conocimientos, todavía hay fallas en el control de los procesos del café en la finca, en particular en la fermentación, lavado y secado, lo cual ocasiona defectos y falta de consistencia en la calidad del producto, pérdidas económicas para los caficultores y desaprovechamiento de mercados” (p. 2). En ese sentido, se debe preparar a los pequeños caficultores para que se implementan prácticas más estandarizadas para agregar valor al café, ya que los mercados internacionales siguen demandando cafés de alta calidad (FNC, 2020). Darle valor agregado al café, es entonces una alternativa para poder tener un mayor control sobre los precios y no estar expuestos a los riesgos de ofrecer *commodities* (Yepes, 2018).

Hay muchos factores que influyen en la calidad final en taza, y la acción de los microorganismos es uno de ellos (Esquivel y Jiménez, 2012). Los metabolitos microbianos producidos en este período pueden difundirse en los granos e influir en la calidad final de la bebida, sin embargo, todavía es necesario comprender la influencia de grupos específicos de cepas en la calidad del café procesada por métodos secos, semisecos y húmedos con metodologías y prácticas postcosecha que puedan ser aplicadas en campo por pequeños y medianos caficultores (Evangelista et al., 2013).

La fermentación de café controlada es un medio para agregar valor al café, del cual dependen diversos factores, como la variedad utilizada, la temperatura, la calidad del agua, la calidad y sanidad del café y el tiempo del proceso de fermentación, (...), ligado a buenas prácticas de lavado, secado, almacenamiento y tuestión (Puerta y Echeverry, 2015).

La selección de la variedad y determinar un proceso de fermentación controlada, son factores de incidencia para mejorar el sabor y aroma del café y por tanto la calidad. A estos cafés se les denomina con el nombre de “Cafés especiales”, esto se consigue acompañando la fermentación con un buen manejo agronómico y buenas prácticas de manufactura en todo el proceso de beneficiado y tostado del café (Pivaral y Cruz, 2018). Un café especial en términos sencillos, es aquel que se diferencia por sus atributos sensoriales en la bebida, que tiene una puntuación mayor a 80 en la escala de la SCAA, además en su estado de almendra debe estar libre de defectos primarios, no presentar granos *quakers*, además no deberá presentar ni defectos, ni faltas al analizarlo en taza. (Specialty Coffee Association of America) (García, 2016).

Por otra parte, la fermentación del café ocurre naturalmente, independientemente del proceso, para eliminar el mucílago de las semillas y reducir el contenido de agua, y los granos se secan simultáneamente hasta que el contenido de humedad se reduce a porcentajes entre 11 y 12% (Silva et al., 2013). La mayoría de los microorganismos responsables de la fermentación son autóctonos (bacterias, levaduras y hongos filamentosos). La población de cada grupo microbiano puede variar según el método de procesamiento y el grado de pérdida de agua (Silva, Schwan, Dias y Wheals, 2000). Las levaduras se encuentran entre los microorganismos aislados con mayor frecuencia, pero se dispone de información limitada sobre su efecto en el desarrollo de las características sensoriales del café (Evangelista *et al.* 2014). Sin embargo S.J. Martínez et al. (2017) asegura que el uso de levaduras como cultivos iniciadores durante la fermentación del

café puede mejorar la calidad del producto final. Evangelista, Silva, et al. (2014) han reportado resultados prometedores después de la inoculación directa de cepas de levadura *Saccharomyces*, *Pichia* y *Candida* sobre granos de café. De acuerdo a estos resultados, el papel de las levaduras es esencial para la fermentación del café, previniendo el crecimiento de hongos filamentosos oxigénicos y aumentando la producción de enzimas pectinolíticas, que ayudan a la degradación del mucílago y pulpa del café (Ramos et al., 2010, Silva et al., 2013). El efecto de prevenir el crecimiento de hongos filamentosos oxigénicos, es un aspecto positivo debido a que son los precursores de la formación de la Ocratoxina A. La diversidad de levaduras en la fermentación de café a menudo abarca los géneros *Candida*, *Hanseniaspora*, *Pichia* y *Saccharomyces*. Los cambios en el mucílago durante la fermentación también se reflejan en el endospermo, donde se producen altas concentraciones de metabolitos finales de origen microbianos (ácido acético, etanol, glicerol, ácido láctico y manitol). Otro aspecto importante es que la anoxia del método sumergido desencadena la germinación de los endospermos (Bruyn *et al.* 2017). Las sustancias formadas de la degradación de estos compuestos modifican el color, pH, olor y las características del grano de café (Pivaral y Cruz, 2018). Según la investigación S.J. Martínez et al, 2017 donde se usaron diferentes cultivos iniciadores afirman que el uso de cultivos iniciadores es una práctica cada vez más común y ha mostrado resultados positivos para varios tipos de alimentos y bebidas fermentados, (..), a pesar del uso de cultivos iniciadores, la metodología de inoculación y selección puede cambiar y / o mejorar la calidad del producto final, haciendo algunos cafés especiales. Todavía hay mucho margen de mejora, por ejemplo, la mejor manera de inocular estas cepas; La razón de esto es que estos procesos de fermentación del café rara vez usan la cepa más adecuada o de mejor rendimiento. (p.1)

En este sentido, el desarrollo de esta investigación abordará en especial, diferentes metodologías de inoculación, ya que el uso de cultivos iniciadores como las cepas especializadas de levaduras ya conocidas para café e incluso las no conocidas está teniendo un impacto en la industria cafetalera (Pivaral y Cruz, 2018). El objetivo de este estudio es proponer una metodología de trabajo en laboratorio y en campo para evaluar el potencial tecnológico de cepas de levaduras nativas en un proceso de fermentación controlada de café, comparando diferentes metodologías utilizadas en investigaciones con adición de levaduras, se plantea una metodología con un sistema de fermentación específico: abierto y sólido, que al modificar la flora natural de microorganismos

que posee el mucílago y obtenidos del ambiente, se obtendrán los mejores resultados con relación a las características sensoriales para la obtención de un café especial.

Planteamiento del problema y justificación

La industria del café en Colombia tiene grandes avances técnicos en diversos temas como el mejoramiento de variedades para la resistencia a la roya y aumento de la productividad, mejoras en términos agronómicos y fermentaciones controladas, gracias al Centro Nacional de Investigación de Café (CENICAFE), sin embargo se siguen presentando problemas asociados a la fermentación, el lavado y el secado como lo son los defectos de mohoso, contaminados, vinagres y decolorados que producen sabores extraños a fermento, reposado, fenólico, químicos, *stinker* entre otros que representan los principales defectos reportados en diferentes muestras de café tomadas en diferentes regiones del país en los últimos 20 años (Puerta, 2015 y Puerta y Echeverry, 2015). El atributo de fermento representa uno de los principales defectos de las tazas de las fincas colombianas, en los reportes mensuales de calidad de Almacafé de café en bodega, procedente de las diferentes agencias del país, se encontraron los siguientes registros: en septiembre de 2013 un 5,8% de defectos en taza conformados por 34% de fermento, 23% de reposo, 16% de moho y 27% de químico; en julio de 2014, un 3,5% de defectos en taza que contenían 37% de fermento, 11% de reposo, 10% de mohoso y 42% de químico; en diciembre de 2014 se detectó un 2,3% de defectos, de los cuales 41,3% fueron fermentos y vinagres, 13,1% reposo, 7,3% mohoso y 38,3% de fenólico (Puerta y Echeverry, 2015), además proponen a los caficultores como contribución a la solución de estos problemas, la realización de la fermentación controlada del café. En otro reporte de Puerta en el avance técnico 461 en noviembre de 2015 afirma que la mayoría de los defectos del café resultan por un inadecuado beneficio. Es así como en unas pocas horas puede deteriorarse la calidad de los granos, lo cual constituye una pérdida de oportunidad y de un mejor precio o de bonificación por el producto, aspecto que afecta la labor de nuestros campesinos.

Colombia es reconocido a nivel mundial por producir un café bajo la denominación de suave lavado colombiano, participando en cifras aproximadas con US\$ 2.500 millones, en un mercado mundial cercano a los US\$ 30.000 millones de dólares transados en el año 2015 (Trademap, 2015). Para el año 2013, Colombia exportó US\$1,2 millones en *cafés especiales*, dentro de un segmento de mercado que representa aproximadamente el 12% del consumo

mundial y en volumen similar al de toda la cosecha de café en Colombia (García, 2016). Son cifras importantes si se quiere pensar en mejorar la economía de nuestras fincas, vincularse a ellas significará también un trabajo arduo, y adicional al que ya venía realizando el productor ya que la producción de cafés especiales requiere de mayor cuidado y cercanía al procesamiento, porque se requieren en ocasiones tiempos de fermentación y secado más largos, controlando cuidadosamente la sombra, la temperatura y otros factores para lograrlo, que requiere de tiempo y dinero extra. También se requiere invertir más tiempo en verificar la madurez y los niveles de azúcar durante la recolección. (Perfect Daily Grind Español, *Café De Micro Lote: Cómo Limitar El Riesgo Y Mejorar La Calidad*, 2018)

Con relación al mercado internacional del café no transformado está sometido a fluctuaciones ligadas a las condiciones del precio internacional, y por ser catalogado como un *commodity*, es susceptible a la especulación. Esto hace que se planteen nuevas alternativas para agregar valor a la producción (García, 2016). En este sentido, la producción y comercialización de *cafés especiales* se ha catalogado como una estrategia que contribuye a mejorar el precio del grano y la rentabilidad de la producción cafetera (Fedecafé, 2013), es importante agregar que para que los campesinos del país no sigan perdiendo dinero es vital que nuestra forma de producir café este direccionada hacia la especialidad, teniendo en cuenta que son producciones por micro lotes, los productores deben considerar y reservar una sección de sus fincas para que cuenten con una alternativa en momentos de crisis y se vea reflejado en términos económicos, de esta manera los caficultores colombianos no pierdan motivación para continuar con su labor.

Para la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, los *cafés especiales* son aquellos valorados por los consumidores por sus atributos consistentes verificables y sostenibles y por los cuales están dispuestos a pagar precios superiores y que redunden en un mayor bienestar de los productores (Martínez, 2016). Además, estima que el mercado de especiales representa aproximadamente el 13% del consumo mundial (7% certificado y 6% gourmet y de alta calidad) y que este mercado ha mostrado un crecimiento importante (Ruiz et al., 2009). Con relación a lo anterior se considera una oportunidad importante para la caficultura colombiana, ya que representa una tendencia en el mercado internacional y permiten que el caficultor perciba mayores beneficios comparados con los del café estándar, entre ellos; el precio, la adopción de nuevas prácticas y el aprendizaje de nuevos conocimientos (Yepes, 2018).

De acuerdo al análisis realizado por García en su tesis de grado: Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-o-cafeoilquínico (2016), afirma que:

“En términos de condiciones de producción, la caficultura colombiana, se localiza en altitudes que varían entre los 1.000 y los 2.000 m, en las cuales la temperatura mínima fluctúa entre 12,2 y 18,1°C y la temperatura máxima entre 22,4 y 28,2°C respectivamente (Jaramillo, 2005). Teniendo como referencia estos valores, el Centro de Investigaciones e Innovación en el Café (CENIFCAFE), evaluó el efecto de la temperatura externa de la fermentación en la calidad del café, en los compuestos químicos del mucílago y en los volátiles del café tostado. Se realizaron fermentaciones sólidas y sumergidas de café a temperaturas constantes de 15 ± 1 y 20 ± 1 °C, y a temperaturas entre la noche y el día de 18 a 26°C (promedio 23°C) en sistemas abiertos y cerrados. Los resultados mostraron mejoras en taza atribuibles al control de la temperatura (Puerta y Echeverry, 2015), lo que indicaría la relación directa de la temperatura tanto en beneficios tradicionales en alta montaña como en sistemas de fermentación controlados. (P. 18)”

Si bien realizar cambios en la producción de café, como controlar la fermentación, puede ser un plus para el desarrollo de cafés especiales, es importante controlar variables como la temperatura externa e interna, que dependen del clima y de las condiciones de los fermentadores, factores que podrían representar un punto crítico en la producción del café, afectando el proceso, es por eso que la producción de cafés especiales también representa riesgos ya que es susceptible a pérdidas de producción sino se tienen todos los cuidados adecuados y la trazabilidad durante todo el proceso. El proceso de secado es otro parámetro a considerar en el beneficiado de cafés especiales, la temperatura, porcentaje de sombra y la velocidad de secado son tres parámetros que definen la calidad del grano en este proceso. (Pivaral y Cruz, 2018).

Objetivo General

Proponer una metodología de trabajo en laboratorio y en campo para evaluar el potencial tecnológico de cepas de levaduras nativas en procesos de fermentación controlada de café.

Objetivos Específicos

1. Construir una base de información científica sobre el uso de levaduras en procesos de fermentación controlada de café para la obtención de cafés especiales.
2. Identificar metodologías de trabajo en laboratorio y en campo para el uso de levaduras en procesos de fermentación controlada de café para la obtención de cafés especiales.
3. Proponer una metodología de trabajo en laboratorio y en campo para el uso de levaduras en procesos de fermentación controlada de café para la obtención de cafés especiales.

Marco referencial y contextual de la producción de cafés especiales.

Generalidades del cultivo y variedades del café.

La planta de café es un arbusto tropical, está clasificada entre la familia de las rubiáceas, de los que se desprende la especie “Arábica o Arábica” y “Robusta”. El café Arábica es de mayor valor en los mercados nacionales e internacionales que el café Robusta, porque el café Robusta presenta menos atributos en las propiedades del café en taza. Se denomina atributos en taza a las características tales como: fragancia, aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, dulzor (García, 2016), agrega que la especie *Coffea arábica* es una especie autógena, es decir, se auto poliniza. Como características de las variedades del café Arábica se encuentran las de ser de porte pequeño, mediano y alto con una forma cónica compactada y semi-compacta, con una producción promedio anual, con un manejo adecuado, entre 4.5 a 6.5 kilogramos por planta año.

Por otro lado, la variedad Colombia y Castillo®, desarrolladas por Cenicafé, fueron mejoradas: con el objetivo de cruzar dos plantas que se complementan en sus características agronómicas vigor y resistencia a la enfermedad denominada roya. Las variedades comerciales, Colombia y Castillo®, provienen del cruzamiento entre dos plantas (Caturra e Híbrido de Timor) y su selección por caracteres agronómicos en generaciones sucesivas. Dada su resistencia a la roya, el híbrido constituye la principal fuente de resistencia de la mayoría de variedades actuales de América, África y Asia (Cortina, Moncada, & Herrera, 2012).

Composición fisicoquímica del mucilago de café.

En la misma investigación García, 2016 resalta que:

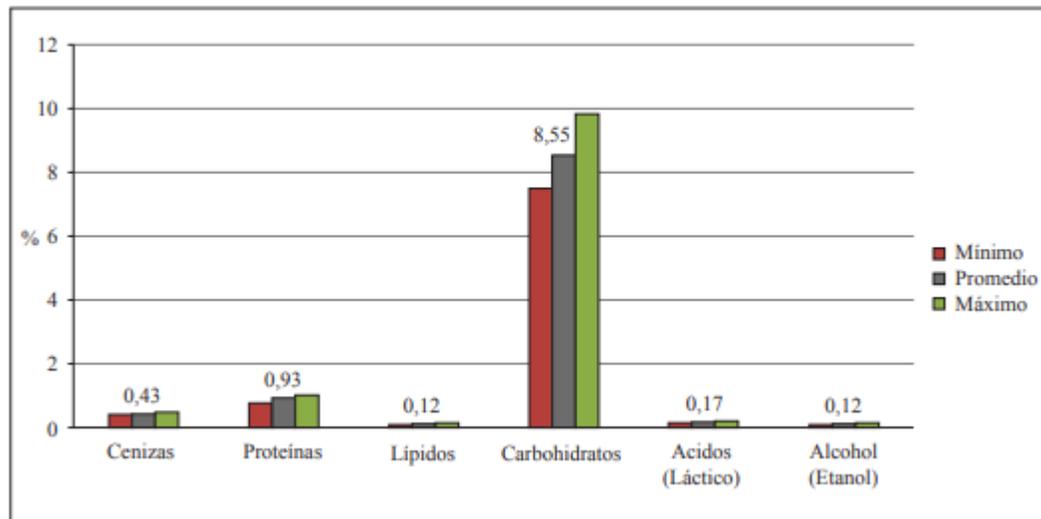
El mucílago de café está compuesto esencialmente por agua, azúcares y sustancias pécticas (Cabrera, S. DE; Calzada, J.F.; GIL, L.A.; Arriola, 1987; Elias, 1978; Martínez N., 1959; Menchu E., J.F.; Rolz, 1973; Rolz, C.; Menchu E., J.F.; Espinosa, R.; García P., 1971). Las cantidades de mucílago en los frutos y granos de café varían con la variedad, madurez del fruto y condiciones de cultivo; es así como los frutos maduros y frescos contienen en promedio 10,4% (entre 1,1% y 27,3%) en peso de mucílago y un 18% en los granos despulpados de los frutos con mayor contenido (Puerta & Ríos, 2011). El mucílago contiene principalmente levaduras de los géneros *Saccharomyces*, *Torulopsis*, *Candida* y *Rhodotorula*, así como bacterias lácticas *Lactobacillus* y *Streptococcus*, y otras bacterias y hongos (Arias, M.; Ruiz C., 2001; Avallone, S.; Guyot, B.; Brillouet, J.M.; Olguin P., E.; Guiraud, 2001; J. Pee, W. Van; Castelein, 1971; J. M. Pee, W. Van; Castelein, 1972; Puerta, Marín, & Osorio, 1996). Los niveles de retención de agua varían entre 85 y 90% (Díaz & Fernández, 2011). La figura 1 representa las capas de la cereza de café hasta la ubicación del mucilago y en la figura 2 se muestra la composición del mucilago en base seca

Figura 1. Representación de las capas de la cereza del café con corte longitudinal



Fuente: Ríos y Puerta, 2011

Figura 2. Composición química del mucilago en base seca



Fuente: Ríos y Puerta, 2011

Con relación a lo anterior, el mucilago contiene los compuestos necesarios como sustrato para las fermentaciones controladas de café con la adición de levaduras como cultivos iniciadores.

Tipos de fermentación de café y fermentaciones controladas de café con adición de levaduras.

Puerta y Echeverry (2015) en el avance técnico 454 de Cenicafé mencionan los diferentes métodos de los sistemas de fermentación los cuales influyen en la caracterización organoléptica de la taza final (o perfil de taza); el proceso puede ser abierto o cerrado, sólido o sumergido, estático o agitado y continuo o discontinuo. El proceso de fermentación tradicional, incluso el más usado por los campesinos colombianos y caficultores de otros países de América Latina es un sistema abierto, sólido, estático y discontinuo.

Fermentaciones sólidas.

El café despulpado se deposita en el fermentador, no se adiciona agua. El desagüe del fermentador se mantiene cerrado. (Puerta y Echeverry, 2015)

Fermentaciones sumergidas.

Puerta y Echeverry, 2015 detallan el proceso de la fermentación sumergida y algunas recomendaciones para realizarlo,

El café en baba se deposita en el fermentador y luego se agrega agua, en cierta cantidad, con relación a la masa de café a fermentar, de esta forma cambian la composición química y microbiológica del sustrato. Los sistemas de fermentación sumergidos son más homogéneos que los de sustrato sólido. Para el café se recomiendan fermentaciones sumergidas al 30%. Se taponan el desagüe del fermentador y se adicionan 30 L de agua limpia por cada 100 kg de café baba. (p. 3)

Fermentaciones abiertas y cerradas.

En el mismo avance 454 de cenicafé Puerta y Echeverry, 2015, agregan,

En las fermentaciones del café abiertas ocurren natural y simultáneamente las fermentaciones lácticas por *Lactobacillus* spp. y *Streptococcus* spp., y la fermentación alcohólica por las levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae*. Por el contrario, en los sistemas cerrados, los fermentadores se tapan, lo cual favorece también el desarrollo de fermentaciones mixtas, por las Enterobacteriaceae. (p.3)

Fermentaciones de acuerdo al tipo de alimentación del sustrato. (Continuo o discontinuo)

Continuando con el avance 454 de cenicafé Puerta y Echeverry, 2015, afirman,

Las fermentaciones del café se hacen de forma discontinua, debido a los tiempos de recolección del café; así, cada lote de café despulpado se fermenta y seguidamente se lava y se seca. En las fermentaciones continuas industriales se suministra nuevo sustrato después de determinado tiempo de proceso y también microorganismos fermentadores, y simultáneamente se van retirando los productos.

Procesos de Aireación y Agitación.

Usualmente, en fermentaciones discontinuas no se agrega ni se quita oxígeno y en los sistemas abiertos el CO₂ sale naturalmente del sistema. En los procesos continuos se requiere suministro de oxígeno para mantener el crecimiento de las levaduras y bacterias fermentadoras. (Puerta y Echeverry, 2015). Continuando con el avance técnico 454 de Cenicafé, 2015, en las fermentaciones de granos de café se recomienda una homogeneización al inicio de la fermentación, y al final, antes del lavado, para la medición de las características del sustrato fermentado y de los granos, por otro lado, no se recomienda una agitación continua del sistema durante el proceso de fermentación del café. Para producir etanol o ácido láctico en las fermentaciones industriales de los residuos se requiere agitación constante del sistema, con el fin de mejorar la homogeneización y los rendimientos.

Transformación del mucilago con la adición de levaduras, bioquímica y metabolismo

Este tipo de fermentaciones propicia reacciones bioquímicas interesantes, con el uso de cultivos iniciadores de levaduras, podría potenciarse el aprovechamiento del mucilago teniendo en cuenta que existe a su vez los microorganismos que degradan estas pectinas por efecto de las pectinasas (protopectinasas, poligalacturonasas, pectinesterasas y pectinaliasas). Se han encontrado pectinasas producidas por bacterias *Pseudomonas* y *Xanthomonas campestris*; y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* que producen poligalacturonasas. Como producto de la degradación de estas sustancias pécticas, se generan ácido galacturónico, ramanosa, galactosa, arabinosa, xilosa, fucosa, apiosa, entre otros compuestos (Puerta, 2012a), que son sustancias de reserva para el desarrollo del embrión durante la germinación (Bolivar, 2009; Mazzafera & Purcino, 2004), estas sustancias producidas influyen en el comportamiento del grano posterior al proceso de fermentación, y finalmente en el sabor una vez tostado el café.

El uso de iniciadores microbianos puede mostrar un comportamiento diferente según la variedad de café y el método de procesamiento, resultando en bebidas con características sensoriales diferentes y positivas (Bressani, Martinez, Evangelista, Dias, & Schwan, 2018; Evangelista, Miguel, & et al. , 2014; 20 Evangelista, Silva, & et al., 2014; Haile & Kang, 2019; Panji, Priyono, & Zainuddin, 2018; Pereira et al., 2014), debido a las enzimas extracelulares y ácidos orgánicos producidos por la fermentación de levadura. El metabolismo de las levaduras puede llevar a la hidrólisis de macromoléculas, generando

importantes precursores del aroma, como azúcares reductores, aminoácidos y ácidos clorogénicos (Lee, Cheong, Curran, Yu y Liu, 2015).

La levadura tiene un papel esencial en el proceso fermentativo debido a su biocontrol del crecimiento de hongos filamentosos, produciendo además diferentes enzimas y compuestos aromáticos volátiles (Souza et al., 2017). Se demostró que la inoculación de un cultivo iniciador mejora el sabor y el aroma del café, reduce el tiempo de procesamiento y secado y aumenta el valor económico del producto (Evangelista et al., 2014; Silva et al., 2013). La cepa de *Saccharomyces cerevisiae* (CCMA 0543) y *Torulaspota delbrueckii* (CCMA 0684), aislados de la fermentación natural del café, fueron seleccionadas previamente como cultivo iniciador para la fermentación del café debido a su alta actividad pectinolítica, excelente capacidad fermentativa y producción de metabolismo deseable en el producto final como ácidos, alcoholes, piridinas, aldehído y furanos (Silva et al., 2013; Evangelista et al., 2014a; Evangelista et al., 2014b). La inoculación de estas levaduras ha mejorado la calidad de la bebida, y a través de ella se han encontrado algunos atributos como caramelo, chocolate, materiales herbáceos, frutos amarillos y almendras.

El sabor y el aroma del complejo de café resultan de la presencia combinada de múltiples componentes químicos volátiles y no volátiles, incluidos ácidos, aldehídos, cetonas (Chin, Eyres y Marriott, 2015), azúcares, proteínas, aminoácidos, ácidos grasos, compuestos fenólicos y la acción de las enzimas (Lee, Cheong, Curran, Yu y Liu, 2015). Debido a su composición química, los frutos del café son un buen sustrato para el crecimiento de bacterias, levaduras y hongos filamentosos (Silva, 2015; Silva, Schwan, Días y Wheals, 2000). Además, las enzimas producidas por microorganismos epífitos pueden degradar estas sustancias pécticas durante la fermentación (Esquivel & Jiménez, 2012). La microbiota varía según las características regionales, la composición del fruto del café y el método de fermentación (De Bruyn et al., 2017). Evangelista y col. (2014a, 2014b) observaron que cada levadura utilizada como iniciador puede mostrar un comportamiento diferente según la variedad de café y el método de procesamiento. Evangelista, Miguel, Silva, Pinheiro y Schwan (2015) observaron que el *Coffea arabica* (cv Catuaí), procesado por vía húmeda, pero de dos regiones distintas de Minas Gerais, Brasil, mostró diferencias en la microbiota

durante la fermentación y, en consecuencia, diferencias en los compuestos volátiles de la bebida. Los cultivos iniciadores microbianos pueden mejorar la calidad de la bebida y reducir el tiempo de procesamiento (Silva et al., 2013). Se informa que las levaduras inhiben el crecimiento de hongos micotoxigénicos, como lo demostraron Vaughan, Mitchell y Gardener (2015) y Souza et al. (2016). Los microorganismos seleccionados para la fermentación del café deben basarse en la producción de pectinasa, ácidos y otros compuestos metabólicos que afectan positivamente la calidad de la bebida final (Silva et al., 2013), lo que hace que algunos cafés sean especiales.

Esta investigación busca exaltar el proceso metodológico que resalte mejor la calidad de la taza de café, que es descrita como sensación agradable al consumidor, combinación equilibrada de cuerpo, sabor y acidez en ausencia de defectos, catalogando el sabor como el parámetro de mayor importancia (Sunarharum et al. 2014). El perfil de taza en la caracterización de diferentes tipos de café ha tomado auge. Uno de los métodos empleados en la evaluación sensorial es la prueba de “catación” desarrollada por la Speciality Coffee Association of America (SCAA 2015) (Pivaral y Cruz, 2018). Esto se logra haciendo una comparación de los resultados obtenidos en investigaciones al respecto, allí donde se hayan encontrado mayor número de atributos sensoriales, y un diseño experimental claro sobre la eficiencia de la inoculación de levaduras que de una ruta clara para futuros experimentos.

Tabla 1. Comparativo de investigaciones alrededor de fermentaciones de café con adición de levaduras como cultivos iniciadores.

Título del estudio	Especie y variedad de café utilizada	Tipo de Fermentación	Cepas de levaduras empleadas	Método de inoculación	Resultados químicos, físicos y sensoriales obtenidos
Características de la fermentación de café inoculado con cultivos iniciadores de levaduras usando diferentes métodos de inoculación (2018)	C. arábica - Catuaí Amarillo	Fermentación en seco (natural).	1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543. 2. <i>Candida parapsilosis</i> CCMA 0544. 3. <i>Torulospora</i>	Aspersión directa de las cerezas en una terraza y en cubos durante 16 horas antes del secado al sol.	Altas concentraciones de ácido cítrico y ácido málico. Muestras inoculadas con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543, en cubeta obtuvo la puntuación más alta en la cata de café.

			<i>delbrueckii</i> CCMA 0684.		Sabor caramelo muestra inoculada con <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543 D. Sabor afrutado (manzana, cereza) en la muestra inoculada con <i>Candida parapsilosis</i> CCMA 0544 D.
Mejora de la calidad bebida de café mediante el uso de cepas de levaduras seleccionadas y aisladas durante la fermentación en proceso seco (2014).	C. arábica - Acaiá	Fermentación en seco (natural) - Lavados y no lavados	1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> UFLA YCN727 2. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> UFLA YCN724 3. <i>Candida parapsilosis</i> UFLA YCN448. 4. <i>Pichia guilliermondii</i> UFLA YCN731.	Se inocularon por separado las cerezas del café lavadas y no lavadas. Las cerezas se inocularon por aspersión en bandejas y se colocaron en una terraza hasta que los granos alcanzarán el 11 % humedad.	No hubo producción de ácido propiónico y butírico en concentraciones que pudieran comprometer la calidad final de la bebida. Se identificaron 48 compuestos volátiles algunos similares para el café verde como para el tostado. Los compuestos más abundantes fueron los alcoholes y furanos en granos tostados y aldehídos en granos verdes. El café inoculado con levaduras mostro sensaciones de sabores superiores al café control, lo que indicó una mayor calidad sensorial. El tratamiento con <i>C. parapsilosis</i> mostró una tasa de dominancia superior para la sensación caramelo. Se podría producir un café con aroma especial a caramelo, hierbas y frutas utilizando como cultivos iniciadores <i>C. parapsilosis</i> y <i>S. cerevisiae</i> en café procesado por el método seco.
Influencia de las condiciones de fermentación en la calidad sensorial del café inoculado con levaduras (2020).	C. arábica - Bourbon amarillo, Catuaí amarillo y Ruby	Fermentación en seco y despulpado (natural y honey)	1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543. 2. <i>Torulospora delbrueckii</i> CCMA 0684.	Solución de levaduras sobre los granos de café hasta una concentración de aproximadamente 10 ⁷ células / g de café.	La glucosa y la fructosa fueron los azúcares más detectados en los granos de café. Se encontró ácido succínico al final del proceso fermentativo. La concentración de ácido láctico fue inversamente proporcional a la concentración de etanol. El pirrol y el furano, que son

					grupos volátiles permitieron diferenciar los métodos de procesamiento del café. La inoculación de levadura modificó el perfil sensorial y aumentó la puntuación de la bebida de café hasta en 5 puntos. La inoculación de <i>S. cerevisiae</i> fue más adecuada para el café natural despulpado y la inoculación <i>T. delbrueckii</i> mostró el mejor rendimiento en el café natural.
Ácidos orgánicos producidos durante la fermentación y la percepción sensorial en cafés especiales utilizando cultivo iniciador de levadura (2020).	C. arábica - Bourbon amarillo y Canario amarillo	Fermentación en seco y despulpado (natural y honey)	1. <i>Meyerozyma caribbica</i> CCMA 0198. 2. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543. 3. <i>Candida parapsilosis</i> CCMA 0544. 4. <i>Torulasporea delbrueckii</i> CCMA 0684.	Solución de levaduras sobre los granos de café hasta una concentración de aproximadamente 10 ⁷ células / g de café.	Se detectaron ácidos cítrico, málico, succínico, láctico, oxálico, isobutírico y propiónico y 105 compuestos volátiles. Al inicio de la fermentación los tratamientos con procesamiento natural presentaron mayor número de compuestos volátiles. Después de la fermentación, los principales grupos de compuestos fueron ácidos, alcoholes y aldehídos. La percepción del atributo sensorial afrutado, nuez, cacao varió con la variedad de café, el tipo de procesamiento y el tipo de inóculo. El uso de levaduras es una alternativa para la diferenciación sensorial de las variedades de café canario amarillo y bourbon amarillo.
Inoculación de cultivos iniciadores en un proceso de fermentación de café (<i>Coffea arábica</i>) semiseco (2014)	C. arabica - Acaíá	Fermentación en semiseco (honey)	1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> UFLA YCN727 2. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> UFLA YCN724 3. <i>Candida parapsilosis</i>	El café despulpado se extendió en una bandeja y cada tratamiento se inoculó por separado con una de las levaduras bajo estudio.	Los ácidos butírico y propiónico, no se detectaron en ningún tratamiento. Se identificaron un total de 47 compuestos volátiles diferentes. El café inoculado con levaduras tenía un sabor a

			UFLA YCN448. 4. <i>Pichia guilliermondii</i> UFLA YCN731.		caramelo que no se detectó en el control.
Diferentes métodos de inoculación para el café procesado semiseco utilizando levaduras como cultivos iniciadores (2017)	C. arábica - Catuaí Amarillo	Fermentación en semiseco (honey)	1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i> CCMA 0543. 2. <i>Candida parapsilosis</i> CCMA 0544. 3. <i>Torulospora delbrueckii</i> CCMA 0684.	1. Inoculación directa en granos extendidos de café 2. Inoculación en balde de granos de café.	Los niveles de concentración de ácido clorogénico fueron más altos para el método del cubo después del tostado. Los granos de café tostados también tuvieron una mayor concentración de cafeína, con la excepción del ensayo de <i>T. delbrueckii</i> (CCMA0684). Los ácidos, pirazinas y piridinas fueron los principales compuestos volátiles en los granos de café tostados y verdes. Los resultados de la catación de café demostraron que ambos métodos de inoculación obtuvieron buenos resultados en términos de calidad del café. El método del balde favoreció la permanencia de los microorganismos durante el procesamiento del café, especialmente el tratamiento inoculado con <i>S. cerevisiae</i>

Metodología propuesta

Preparación del inóculo

Descongelar la levadura a utilizar, coger 5 ml para pasar a caldo a 25°C durante 16 a 18 horas. Luego tomar el 2% de 5ml del primer cultivo overnight, aproximadamente 800 ul que se depositarán en 5ml de caldo estéril al segundo cultivo overnight, después medir densidad óptica de la levadura. Una vez obtenido el 2do cultivo overnight, estará lista para inocular:

se deberá inocular máximo 10 % de estos cultivos al café. Se recomienda pasteurizar para evitar crecimiento de otros cultivos naturales del café (63°C/ 30 min).

Descripción de las levaduras más utilizadas en procesos de fermentación como iniciadores

Se seleccionaron dos cepas de levaduras nativas aisladas de un proceso de fermentación natural de café en el municipio de Jardín, Antioquia por el grupo de investigación GIAS de la Universidad de Antioquia.

Proceso de fermentación y diseño experimental.

Recolección de muestras para la fermentación.

Las cerezas se cosecharán en el punto óptimo de maduración, se sugiere que la cosecha de café sea con más del 80% de frutos maduros, seguidamente se efectuará una clasificación hidráulica de la cereza con agua limpia no recirculada (1,6 L.kg-1 de café cereza), y se descartarán flotes y frutos dañados (Puerta y Echeverry, 2015). Se utilizarán 76,4 Kg de café cereza, con el fin de obtener aproximadamente 42 Kg de café baba, de la especie *coffea arábica*, variedad Colombia, proveniente de la finca La Traviesa, ubicada en la vereda California del municipio de Andes, Antioquia, entre los 1500 – 1600 msnm. Los granos de la cereza clasificada se despulparán sin agua en despulpadora estrella # 3 de la marca JM ESTRADA S.A. (Beneficio semi húmedo) (Pivaral y Cruz, 2018). Los granos en baba se pasarán por doble tipo de zaranda, con el fin de obtener café libre de pulpas y guayabas (Puerta y Echeverry, 2015). Se homogenizará la masa de café baba antes de adicionarla a los tanques fermentadores. Cada unidad experimental será rotulada según el tratamiento al cual corresponde (Tabla 2), en el caso de los tratamientos que implica el uso de levaduras se utilizará una relación 1:1000 (p/p) de levadura: café despulpado.

Se utilizarán contenedores plásticos (fermentadores de la industria cervecera artesanal instalados con tapón, airlock y válvula italiana 3/8) con capacidad de 20 litros en los cuales se colocarán 7 kilogramos de café baba, en cada unidad experimental en sistema abierto, es decir expuesto a la intemperie sin tapa, para una total de 6 unidades experimentales. Se adicionará la levadura a los fermentadores a los respectivos tratamientos, con una activación

previa de la levadura 20 min antes de su adición. El proceso de fermentación tendrá una duración de 24 horas para todos los tratamientos abiertos. Se realizarán mediciones de temperatura ambiente, humedad relativa al inicio del proceso fermentativo, se medirá cada 1 hora la temperatura de la fermentación interna por medio de un termómetro punzón instalado en la mitad del fermentador, se medirá el pH inicial y final en el proceso de fermentación, con ayuda de un potenciómetro introduciéndolo directamente en la masa de café fermentado, al igual que los ° Brix de la masa de café fermentado al inicio y al final, con la ayuda de un refractómetro. Transcurridas 24 horas de fermentación, finalizando el proceso se tomará una muestra de café de 100 gramos aproximadamente. Se usarán bolsas estériles grain pro con sellado hermético para cada unidad experimental, la muestra será congelada introducida en una hielera y posteriormente llevadas a un congelador (-4 °C) con la finalidad de reducir la tasa de crecimiento microbiano. Se medirá posteriormente en laboratorio de microbiología recuento de bacterias mesófilas y levaduras.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de fermentación de café (*Coffea arabica* L. variedad Colombia) a temperatura ambiente (Andes, Antioquia) por 24 horas.

Método de fermentación	Tratamiento	Nomenclatura	Descripción del tratamiento (Tambiente= 21 ~ 28 °C y t= 24 horas de fermentación)
Abierto	1	ASL	Fermentación sólida y abierta sin adición de levaduras.
	2	ASN	Fermentación sólida y abierta con adición de cepa Nativa de café
	3	ALO	Fermentación sólida y abierta con adición de cepa Nativa de café 2

2. Cada unidad experimental se utiliza 7 kg de café baba y cada tratamiento será por duplicado (3 tratamientos x 2 unidades experimentales cada uno), es decir se utilizarán un lote total de 42 kg de café baba.

Lavado del café.

Se seguirá el procedimiento propuesto por Pivaral y Cruz, 2018, adaptado al tiempo de fermentación definido para la investigación.

“Al finalizar el proceso de fermentación (24 horas), se procederá a realizar el lavado del café, con el propósito de remover el mucílago del grano post-fermentado. Para remoción del

mucílago se introdujo cada muestra dentro de un contenedor realizando lavados continuos agitando la masa de café removiendo el mucílago. Los lavados se realizaron hasta el punto donde el agua no cambiaba su tonalidad cristalina.” (P. 4)

Se deberá tener en cuenta, además, la capacidad instalada de la finca La travesía donde se realizará el proceso de lavado.

Secado del café.

El proceso de secado del grano se debe realizar en camas africanas, bajo las condiciones ambientales de secado de la finca La Travesía, en capas entre 1,5 a 3 cm de espesor durante el secado (Pivaral y Cruz, 2018). Se propone rotular cada cama de secado de acuerdo a la nomenclatura de la tabla 2, esparcidos en diferentes camas de acuerdo a la distribución planteada. El objetivo de este secado es evitar el contacto directo del sol con el grano y prolongar el tiempo de secado para evitar daños en el mismo. El proceso de secado consiste en llevar los granos de café de un estado poco estable (pergamino húmedo) con 50% de humedad hasta su estado más estable (pergamino seco) 11.5 – 12.5% de humedad. El porcentaje de humedad se determinará en campo con ayuda de un medidor de humedad Dolé 400B, el proceso de secado se provee tenga una duración de siete días, tiempo dependiente de la temperatura (12-20 °C, Min-Max) y humedad relativa (45-55 %, Min-Max) (Pivaral y Cruz, 2018). Se sugiere el uso de temperaturas entre 30 – 35 °C al comienzo del secado cuando el grano tiene una humedad de 55 % y llevarla al 30 % en un tiempo menor a 8 horas, seguido de una reducción en la temperatura (26 – 18) °C resulta en una remoción menos intensa de la humedad favoreciendo la calidad en taza. Las 6 muestras secas con su respectiva rotulación, se sugiere trasladar en bolsas grain pro al Laboratorio del Café del SENA La Salada, Caldas, quienes tienen evaluadores avalados en la región antioqueña.

Análisis estadístico.

Se utiliza un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2x3 utilizando dos niveles de fermentación (abierto) y tres tipos de inóculo (SL, LN, LO) con dos repeticiones por tratamiento (Cuadro 1) para un total de 6 unidades experimentales. Los datos se analizarán con el programa Statgraphics Centurión XVI. Para los montajes se tiene en cuenta el diseño

experimental de superficie de respuesta, el cual identifica los factores importantes que afectan el proceso: sistema de fermentación: abierto o cerrado, la adición de las levaduras y el tiempo de fermentación en horas.

Análisis sensorial (Catación).

En el Laboratorio del Café del SENA La Salada, Caldas, las 6 muestras secas con su respectiva rotulación, se ingresarán, acorde con sus protocolos.

Posteriormente las muestras serán sometidas a una descripción sensorial (por evaluadores expertos). Del grano en pergamino, se consideraron los siguientes factores: color, homogeneidad y materia extraña (SCAA 2015), (Pivaral y Cruz, 2018).

Trillado.

Cada muestra será trillada individualmente, realizando limpieza de las trillas, entre cada muestra para evitar contaminación entre las mismas. Después de 24 horas se determinará el contenido de humedad de los granos en verde con ayuda de un medidor de humedad (Disponible en el laboratorio del café del Sena, La Salada). (Pivaral y Cruz, 2018), siguiendo protocolos del laboratorio del café.

Tostado del café.

Se someterá el grano verde al proceso de tostado, calculando la densidad aparente del grano y corrigiendo el valor con relación a la humedad del grano, se definirá la temperatura de ingreso, Pivaral y Cruz, 2018 sugieren entre 160 a 180 °C en tostadores individuales marca PROBAT, por un lapso de 9 a 10 minutos aproximadamente, sin embargo, cada grano posee tiempos distintos debido a factores que afectan como la humedad, tamaño, uniformidad, densidad, entre otras. Para la molienda de los granos tostados se utilizará el molino disponible en el laboratorio del café del Sena, siguiendo protocolo del SCAA. Se seguirá indicaciones por Pivaral y Cruz, 2018 para el perfil del tostado, claro a claro-medio, según la escala (Gourmet) M-Básica de AGTRON (Cuadro 2), aproximadamente 58 ± 1 en grano entero y 63 ± 1 en el café molido (55-60 en la escala estándar o placa AGTRON/SCAA para tostado No. 55). Según protocolo del SCAA (2015) en el tostado no deben aparecer granos quemados

(chamuscados), estos errores son penalizados. Se retirará el café del tostador, la muestra se enfriará con aire forzado inmediatamente. (Pivaral y Cruz, 2018). Es de anotar que se seguirán protocolos del Laboratorio del Café.

Tabla 3. Perfil de tostado en escala Agtro/SCAA M básica L*,a*,b*

Grano	Perfil de Tostado		Valores L*a*b*		
	Escala AGTRON/SCAA	Escala (Gourmet) M-básica	L*	a*	b*
Entero	55	58 ± 1	37	5	13
Molido	55-60	63 ± 1	31	4	9

Fuente: SCAA 2015.

Preparación de la catación.

Se seguirán los protocolos de catación establecidos por el Laboratorio del café, del Sena de la Salada, Caldas – Antioquia. Pivaral y Cruz, 2018 proponen, el siguiente ensayo como referente para este trabajo, los recipientes para realizar las infusiones recomendados por la SCAA en un vaso Manhattan de 200 ml. Asegurar que los vasos estén limpios, sin olor evidente y a temperatura ambiente. Moler las muestras en molienda media, 15 minutos antes de la cata. Seguidamente se adicionar agua a 95 °C en una proporción 11.5 ± 0.25 g de café por 200 ± 2.5 ml de agua según SCAA (2015). Dejar en infusión por un período de cuatro minutos y se proceder a romper taza con cuchara de catación por agitación en tres tiempos, después de la agitación se permitir que la espuma corra por la parte de atrás de la cuchara suavemente mientras se analizan olores; posteriormente, cuando la muestra se enfrié hasta 71°C, en aproximadamente 8-10 minutos de infusión, se realizará la evaluación de la bebida aspirando el líquido dentro de la boca de tal manera que cubra especialmente la lengua y paladar duro. Se realizará una sesión de catación tipo panel, en el que cuatro catadores certificados como Q Grader evaluarán los distintos tratamientos y asignarán el puntaje correspondiente indicando el perfil de la taza. Las puntuaciones expresadas por cada catador serán comparadas por medio un análisis estadístico. Los atributos de calidad a evaluar serán fragancia/ aroma, sabor, post-gusto, acidez, cuerpo, uniformidad, dulzor, limpieza de la taza,

balance e impresión global; los resultados se presentarán en la escala de 6 a 10 correspondiente a la valoración de cafés especiales.

Análisis estadístico.

Se realizará de acuerdo a las indicaciones de los evaluadores Q Grader que apoyen la investigación. Pivaral y Cruz, 2018 utilizaron un análisis sensorial cuantitativo y descriptivo de la bebida, donde sus catadores entrenados, utilizaron un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA). Sin embargo, se acogerá la plataforma Cropster para hacer consenso de la cata y evaluar resultados.

Bibliografía.

1. Ramírez D. 2010. Café, cafeína vs. Salud. Revisión de los efectos del consume de café en la salud. Sección artículos de revisión de tema revista centro de estudios en salud. Vol 1. NO. 12. 156-167 P
2. Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). Chemical, functional and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 3493–3503.
3. Contreras-Calderón, J., Mejía-Díaz, D., Martínez-Castaño, M., Bedoya-Ramírez, D., López Rojas, N., Gómez-Narváez, F., Vega-Castro, O. (2016). Evaluation of antioxidant capacity in coffees marketed in Colombia: Relationship with the extent of non-enzymatic browning. *Food Chemistry*, 209, 162–170.
4. Federación Nacional de Cafeteros (FNC). 2021. Producción de café de Colombia cerró el 2020 en 13,9 millones de sacos, consultado 24 de enero de 2021, disponible en <https://federaciondefcafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-en-2020-fue-de-139-millones-de-sacos/>
5. Puerta G.I., Echeverry J.G. 2015. Fermentación controlada del café: Tecnologías para agregar valor a la calidad. Avances técnicos cenicafé. No. 454. 12 p. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/558/1/avt0454.pdf>.

6. Reis, N., Franca, A.S., & Oliveira, L. S. (2013). Discrimination between roasted coffee, roasted corn and coffee husks by Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy. *LWT- Food Science and Technology*, 50(2), 715–722.
7. Yepes, M. C. 2018. El papel de las Políticas Públicas y las Estrategias Sectoriales en la Transición del Café como *commodity* hacia Cafés Especiales. El caso del Suroeste Antioqueño. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Medellín.
8. García, A. M. 2016. Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-o-cafeoilquínico. Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingenierías, Medellín.
9. Pivaral, R. O. y Cruz, J.E. (2018). Evaluación del efecto de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la caracterización sensorial del café en dos sistemas de fermentación. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
10. Silva, C. F., Vilela, D. M., Cordeiro, C. S., 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*, 29, 235–247.
11. Silva, C. F., Schwan, R. F., Dias, E. S., & 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, 251–260.
12. Evangelista S, Miguel M, Cordeiro C, Silva C, Pinheiro A, Schwan R. 2014. Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process. *Food Microbiol.* 44:87–95. eng. doi:10.1016/j.fm.2014.05.013.
13. Martínez, S.J., Pereira A.P., Da Cruz, M.G., Ribeiro, D.R., Schwan, R.F. 2017. Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures. *Food Research International* 102, 333-340.
14. Martínez, V. M. 2016. Efecto de la composición del café cosechado (*Coffea arábica* L.) sobre la calidad sensorial de la bebida en fincas con potencial de producción de cafés especiales en el suroeste del departamento de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos, Medellín, Colombia.

15. Reis Evangelista S, Silva C. F., Miguel M, Cordeiro C, Pinheiro A, Duarte W, Freitas Schwan R. 2014. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process. *Food Research International*. 61:183–195. doi:10.1016/j.foodres.2013.11.033
16. F. De Bruyn, S.J. Zhang, V. Pothakos, J. Torres, C. Lambot, A.V. Moroni, et al. Exploring the impacts of postharvest processing on the microbiota and metabolite profiles during Green coffee bean production *Applied and Environmental Microbiology*, 83 (1) (2017), pp. 1-16.
17. Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Montagnon, C., Marraccini, P., y Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18(1): 229-242.
18. Esquivel, P., & Jiménez, V. M. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488–495. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.028>.
19. Adão w. p. Evangelista, Luiz A. Lima, Antônio C. Da Silva, Carla de P. Martins, Moisés S. Ribeiro (2013). Soil water potential during different phenological phases of coffee irrigated by center pivot. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.33, n.2, p.269-278.
20. Puerta G.I., 2015. Buenas prácticas para la prevención de los defectos de la calidad del café: fermento, reposado, fenólico y mohoso. *Avances técnicos cenicafé*. No. 461. 12 p.
21. Federación Nacional de Cafeteros (FNC). 2013. Comportamiento de la industria cafetera colombiana 2013. Consultado el 19 de jul. de 20, disponible en https://federaciondefcafeteros.org/static/files/Informe_Industrial_2013_Web.pdf
22. Perfect Daily Grind Español, 2 018. Café De Micro Lote: Cómo Limitar El Riesgo Y Mejorar La Calidad. Consultado el 19 de jul. de 20, disponible en <https://perfectdailygrind.com/es/2018/04/10/cafe-de-micro-lote-como-limitar-el-riesgo-y-mejorar-la-calidad/>
23. Ruiz, M. P., Ureña, M. A., Torres, M. A. (2009). Los Mercados del Café y de los Cafés Especiales. Situación Actual y Perspectivas. Programa Más Inversión para el

Desarrollo Alternativo Sostenible. (pp. 32 - 38). Recuperado de http://www.ard.org.co/midas/spanish/departamentos/agricultores-y-cadenas-devalor/pdf/Mercado_Situacion_Actual_y_Perspectivas_CAF%C3%83%E2%80%B0S_ESP_ECIALES.pdf.

24. Cortina, H., Moncada, M., & Herrera, J. (2012). Variedad Castillo, Preguntas frecuentes. *Ciencia, Tecnología E Innovación Para La Caficultura Colombiana*, 426, 12.
25. Puerta G.I., 2012. Factores, procesos y controles en la fermentación del café. *Avances técnicos cenicafé*. No. 422. 12 p.
26. Bolívar, C. (2009). Monografía sobre el galactomano del grano de café y su importancia en el procesamiento para la obtención de café soluble. Universidad Tecnológica de Pereira.
27. Mazzafera, P., & Purcino, R. (2004). Post harvest processing methods and physiological alterations in coffee fruit. In P. of 20th colloque coffee. ASIC (Ed.). Bangalore, India.: 20 th International Colloquium on the Chemistry of Coffee.
28. Sunarharum W, Williams D y Smyth H., 2014. Complexity of coffee flavor: A compositional and sensory perspective. *Food Res. Int.* 62, 315-325. Doi: 10.1016/j.foodres.2014.02.030.
29. Pereira Bressani, A. P., Martínez, S. J., Inácio Sarmiento, A., B., Meira Bórem, F., Freitas Schwan, R., 2020. Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture. *Food Research International* 128 (2020) 108773.
30. Batista da Mota, M. C., Nara Batista, N., Sances Rabelo, M. H., Ribeiro, D. E., Meira Borém, F., Freitas Schwan, R., 2020. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International* 136 (2020) 109482.
31. Pereira Bressani, A. P., Martínez, S. J., Reis Evangelista, S., Riveiro Dias, D., Freitas Schwan, R., 2018. Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. *LWT - Food Science and Technology* 92 (2018) 212-219.

32. Puerta Q., G.I.; Ríos A., S., 2011 Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. Cenicafé 62 (2): 23-40.