



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 08 de junio de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Wilmer Licerio Ladino Garzon, con C.C. No. **1081155131**, autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado **“Evaluación del inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus* en jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como cultivo iniciador en la fermentación de café (*Coffea arabica*)”** presentado y aprobado en el año **2022** como requisito para optar al título de **Magister en Ciencia y Tecnología del Café**; autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

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

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

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Wilmer Licerio Ladino Garzon

Firma: Wilmer L. Ladino G.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Evaluación del inoculo de *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus* en jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como cultivo iniciador en la fermentación de café (*Coffea arabica*).

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ladino Garzon	Wilmer Licerio

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Amoroch Cruz	Claudia Milena
Barrios Rodríguez	Yeison Fernando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Gutiérrez Guzmán	Nelson
Girón Hernández	Lunier Joel

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

FACULTAD: Ingeniería.

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en Ciencia y Tecnología del Café.

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 21

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

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

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

Vigilada Mineducación

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



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

MATERIAL ANEXO: no.

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. <u>guarapo</u>	<u>guarapo</u>	6. _____	_____
2. <u>ATR-FTIR</u>	<u>ATR-FTIR</u>	7. _____	_____
3. <u>postcosecha de café</u>	<u>coffee post harvest</u>	8. _____	_____
4. <u>inoculación levadura</u>	<u>yeast inoculation</u>	9. _____	_____
5. _____	_____	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La demanda a nivel mundial de café de especialidad ha generado que se implemente nuevas técnicas para modular y apoyar la evaluación de la calidad sensorial de este producto. Es así, que el objetivo de este estudio es evaluar la adición de levaduras comerciales empleadas para la elaboración de vino (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus*) y jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como aditivos orgánicos iniciadores en la fermentación para modular características sensoriales bajo condiciones de beneficio húmedo en sistema cerrado. Para los tratamientos empleados se llevó a cabo medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos al inicio y final de la fermentación. Posterior al secado de los granos de café se realizó análisis físico y finalmente un análisis sensorial siguiendo la metodología SCA. Las muestras tostadas fueron sometidas a análisis de espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). Los datos recopilados se analizaron mediante técnicas estadísticas de análisis de varianza (ANOVA simple) y Análisis de Componentes Principales (PCA). Los resultados sensoriales evidenciaron que la implementación de los aditivos orgánicos (Jugo de caña de azúcar y levaduras) empleados en la etapa de fermentación incidió directamente en la modulación de atributos y notas sensoriales, permitiendo así la clasificación de café especial según la Asociación de Cafés Especiales (SCA) y dejando con clasificación no especial al tratamiento que se adicionó solamente agua. La implementación de la técnica FTIR y el tratamiento quimiométrico mediante análisis de componentes principales (PCA) de datos del espectro en el rango 1800-650 cm⁻¹ permitió la clasificación de las muestras de café mediante un análisis de conglomerados, agrupando las muestras de los tratamientos en dos grupos, evidenciando la separación del tratamiento que se adicionó agua de los que fueron inoculados con levaduras y



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

jugo de caña de azúcar. Es así, que la metodología propuesta permite dar avances adicionales en las técnicas convencionales para producción y evaluación de la calidad para café de especialidad.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The worldwide demand for specialty coffee has generated the implementation of new techniques to modulate and support the evaluation of the sensory quality of this product. Thus, the objective of this study is to evaluate the addition of commercial yeasts used for winemaking (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus*) and sugar cane juice (*Saccharum officinarum*) as organic starter additives in fermentation to modulate sensory characteristics under wet processing conditions in a closed system. For the treatments used, physical-chemical and microbiological parameters were measured at the beginning and end of fermentation. After the coffee beans were dried, a physical analysis was carried out and finally a sensory analysis was performed following the SCA methodology. The roasted samples were subjected to Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis. The data collected were analyzed using statistical techniques of analysis of variance (simple ANOVA) and Principal Component Analysis (PCA). The sensory results showed that the implementation of organic additives (sugar cane juice and yeast) used in the fermentation stage had a direct impact on the modulation of sensory attributes and notes, thus allowing the classification of specialty coffee according to the Specialty Coffee Association (SCA) and leaving the treatment that only added water with a non-specialty classification. The implementation of the FTIR technique and the chemometric treatment by means of principal component analysis (PCA) of spectra data in the range 1800-650 cm^{-1} allowed the classification of coffee samples by means of a cluster analysis, grouping the samples of the treatments in two groups, showing the separation of the treatment that added water from those that were inoculated with yeast and sugar cane juice. Thus, the proposed methodology allows additional advances in conventional techniques for the production and evaluation of the quality of specialty coffee.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Claudia Milena Amorocho Cruz

Firma:

Nombre Jurado: Nelson Gutiérrez Guzmán

Firma:

Nombre Jurado: Lunier Joel Girón Hernández

Firma:

Evaluación del inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus* en jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como cultivo iniciador en la fermentación de café (*Coffea arabica*).

Wilmer Licerio Ladino-Garzon, Yeison Fernando Barrios-Rodríguez, Claudia Milena Amorocho-Cruz

Resumen

La demanda a nivel mundial de café de especialidad ha generado que se implemente nuevas técnicas para modular y apoyar la evaluación de la calidad sensorial de este producto. Es así, que el objetivo de este estudio es evaluar la adición de levaduras comerciales empleadas para la elaboración de vino (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus*) y jugo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como aditivos orgánicos iniciadores en la fermentación para modular características sensoriales bajo condiciones de beneficio húmedo en sistema cerrado. Para los tratamientos empleados se llevó a cabo medición de parámetros físico-químicos y microbiológicos al inicio y final de la fermentación. Posterior al secado de los granos de café se realizó análisis físico y finalmente un análisis sensorial siguiendo la metodología SCA. Las muestras tostadas fueron sometidas a análisis de espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR). Los datos recopilados se analizaron mediante técnicas estadísticas de análisis de varianza (ANOVA simple) y Análisis de Componentes Principales (PCA). Los resultados sensoriales evidenciaron que la implementación de los aditivos orgánicos (Jugo de caña de azúcar y levaduras) empleados en la etapa de fermentación incidió directamente en la modulación de atributos y notas sensoriales, permitiendo así la clasificación de café especial según la Asociación de Cafés Especiales (SCA) y dejando con clasificación no especial al tratamiento que se adicionó solamente agua. La implementación de la técnica FTIR y el tratamiento quimiométrico mediante análisis de componentes principales (PCA) de datos del espectro en el rango 1800-650 cm^{-1} permitió la clasificación de las muestras de café mediante un análisis de conglomerados, agrupando las muestras de los tratamientos en dos grupos, evidenciando la separación del tratamiento que se adicionó agua de los que fueron inoculados con levaduras y jugo de caña de azúcar. Es así, que la metodología propuesta permite dar avances adicionales en las técnicas convencionales para producción y evaluación de la calidad para café de especialidad.

Palabras claves: guarapo, ATR-FTIR, postcosecha de café, inoculación de levaduras.

Abstract

The worldwide demand for specialty coffee has generated the implementation of new techniques to modulate and support the evaluation of the sensory quality of this product. Thus, the objective of this study is to evaluate the addition of commercial yeasts used for winemaking (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus*) and sugar cane juice (*Saccharum officinarum*) as organic starter additives in fermentation to modulate sensory characteristics under wet processing conditions in a closed system. For the treatments used, physical-chemical and microbiological parameters were measured at the beginning and end of fermentation. After the coffee beans were dried, a physical analysis was carried out and finally a sensory analysis was performed following the SCA methodology. The roasted samples were subjected to Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis. The data collected were analyzed using statistical techniques of analysis of variance (simple ANOVA) and Principal Component Analysis (PCA). The sensory results showed that the implementation of organic additives (sugar cane

juice and yeast) used in the fermentation stage had a direct impact on the modulation of sensory attributes and notes, thus allowing the classification of specialty coffee according to the Specialty Coffee Association (SCA) and leaving the treatment that only added water with a non-specialty classification. The implementation of the FTIR technique and the chemometric treatment by means of principal component analysis (PCA) of spectra data in the range 1800-650 cm^{-1} allowed the classification of coffee samples by means of a cluster analysis, grouping the samples of the treatments in two groups, showing the separation of the treatment that added water from those that were inoculated with yeast and sugar cane juice. Thus, the proposed methodology allows additional advances in conventional techniques for the production and evaluation of the quality of specialty coffee.

Key words: guarapo, ATR-FTIR, coffee post-harvest, yeast inoculation.

1. INTRODUCCIÓN

Los países productores de café se encuentran ubicados principalmente en la franja tropical terrestre; este producto ha generado un mercado creciente por la demanda generada a nivel global, relacionándose directamente con el aumento en la producción y las exportaciones. Las especies *Coffea Canephora* (robusta) y *Coffea Arabica* (arábica) se caracterizan por ser las de mayor importancia económica mundialmente (ICO, 2020). La principal producción de esta materia prima es aportada por países en vía de desarrollo (Dadi *et al.*, 2018; Pereira, *et al.*, 2020), por esta razón este producto es considerado un eslabón de gran importancia para la economía de las familias cafeteras, cuyo sustento se basa principalmente en la producción de café por procesamiento húmedo (Pabón & Peñuela, 2016).

El beneficio húmedo es realizado en fincas que cuentan con instalaciones para desarrollar actividades de recibo, despulpado, fermentación, lavado y secado (Sanz *et al.*, 2013). El secado se caracteriza por la disminución del contenido de humedad en un rango óptimo para ser almacenado (Dadi *et al.*, 2017; Pereira, *et al.*, 2020); es de gran importancia que el Café Pergamino Seco (C.P.S.) tenga una humedad oscilante entre el 10-12 % para evitar deterioro en el almacenado (Rodríguez *et al.*, 2016; Sanz *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2013).

La calidad de la bebida de café es un factor diferenciador en la materia prima en el momento de la comercialización y puede estar determinada por factores como lo es el proceso de beneficio (Pabón & Peñuela, 2016; Iamanaka *et al.*, 2014; Pereira, *et al.*, 2020). En el proceso de fermentación de café los microorganismos pueden tener características que permitan la degradación de mucílago, tolerancia al estrés, suprimir crecimientos de hongos e influenciar la calidad sensorial en bebida (Haile & Hee, 2019); esto permite optimizar el proceso de producción de café, dado que existen microorganismos que intervienen en la calidad atribuyendo características sensoriales de forma positiva (Pereira, *et al.*, 2020; De Carvalho *et al.*, 2017).

Según Lee *et al.*, (2015) el uso de microorganismos, además de potencializar la fermentación, permite estandarizar y controlar procesos; es así, como Evangelista *et al.*, (2014a-b); De Melo *et al.*, (2015); Bressani *et al.*, (2021), Da Mota, *et al.*, (2020); Bressani *et al.*, (2018) y Martínez *et al.*, (2017) determinaron que la implementación de cultivos iniciadores de levaduras en procesos de fermentación de café, permiten la modulación de atributos aromáticos y de sabor en la bebida. También Elhalis *et al.*, 2020 evidenció un aumento significativo de la concentración en grano verde de compuestos de

interés, entre los que se destacan ésteres, aldehídos, ácidos orgánicos y glicerol; además de la reducción de hongos filamentosos, ácidos butírico y acético considerados metabolitos indeseables por las características sensoriales que expresan.

La inoculación de *S. cerevisiae* mostró diferencias sensoriales positivas en bebida de café (Bressani *et al.*, 2018; Da Mota, *et al.*, 2020; Pivaral & Cruz, 2018), por otra parte Kwak *et al.* (2018) encontró que inocular esta especie induce el aumento de la actividad antioxidante, contenido total de flavonoides y contenido total de polifenoles. Por otra parte en la fermentación de café se han empleado diferentes aditivos orgánicos (miel de panela, infusión de limoncillo y microorganismos eficientes) que coadyuvan al desarrollo de los microorganismos durante la etapa de fermentación, con el objetivo de modular características deseadas por el consumidor (Ararat & Trujillo, 2018) es así, que el jugo de caña de azúcar tiene potencial en la fermentación por sus contenidos ricos en carbohidratos (Panigrahi *et al.*, 2021), además las levaduras se consideran microorganismos acidófilos que podrían desarrollarse bajo las condiciones de este aditivo (Panigrahi *et al.*, 2021).

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica no destructiva que permite analizar la composición química en diferentes matrices biológicas proporcionando su huella molecular (Mihoubi *et al.* 2017; Shapaval *et al.* 2019; Barrios-Rodríguez *et al.* 2021a-b; Craig *et al.* 2011; Craig *et al.* 2012a), esta técnica se basa en la excitación de enlaces moleculares que vibran con la absorción de la luz infrarroja (Taha *et al.* 2013). En la actualidad la calidad del café es determinada mediante técnicas organolépticas, que a su vez emplean métodos subjetivos para evaluarla; por otra parte, mediante espectroscopia infrarroja se han realizado investigaciones que correlacionan la composición química del café con la calidad final en taza, lo cual permite emplearse como método alternativo de alta confiabilidad (Oliveira *et al.* 2020; Barrios-Rodríguez *et al.* 2021a; Craig *et al.* 2011; Craig *et al.* 2014; Craig *et al.* 2012b; Bressani *et al.*, 2021; Belchior *et al.* 2017), mediante análisis quimiométricos (Belchior *et al.* 2017).

Teniendo en cuenta investigaciones existentes donde los atributos de la calidad sensorial del café son mejorados desde la perspectiva de la fermentación inducida en el beneficio húmedo se propone evaluar mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), la incidencia de cultivos iniciadores de *Saccharomyces cerevisiae* y adición de jugo de caña de azúcar durante la fermentación de café (*Coffea arabica* L.) mediante el procesamiento por vía húmeda y su relación con la calidad en taza.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Cosecha y procesamiento de café.

Se recolectó café cereza (*Coffea arabica* L.) variedad Colombia, obtenidas en el departamento Huila, Colombia. Estas cerezas se conservaron en recipientes de poliestireno expandido (icopor) y geles refrigerantes hasta el procesamiento. Se realizó lavado con agua potable y se descartaron impurezas por densidad, posteriormente se retiró la pulpa mediante despulpadora con zaranda cilíndrica de clasificación (NTC 2090, 1985); este proceso se realizó sin adición de agua.

2.2. Cultivos iniciadores, tratamientos empleados y secado.

Se reactivaron cepas de *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus* en jugo de caña de azúcar en concentración del 50% según especificaciones de fabricante; bajo condiciones de incubación a 30 °C, 80% humedad relativa durante 24 horas en cámara climática (Memmert HPP 110, Alemania), que posteriormente se incorporaron a la masa de café despulpado en la etapa de fermentación. La adición de agua o jugo de caña empleado en la fermentación se realizó con una proporción de 30% en relación con la masa de café a fermentar (Puerta-Quintero, 2012a), el jugo de caña de azúcar sometido a tratamiento térmico de 121 °C durante 15 minutos o agua destilada.

En total se establecieron cuatro tratamientos: tratamiento control con adición de agua (T1), tratamiento con adición de jugo de caña de azúcar (T2) y dos tratamientos con adición combinada de jugo de caña de azúcar con levadura; para los cuales se empleó la adición de las cepas de levadura Freddo (T3) y Color (T4). Se empleó masas de 2,6 kg de café baba y todos los ensayos con su respectiva replicas, distribuidos como se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1: Unidades experimentales.

Tratamiento	Proporción de agua (Kg)	Proporción de jugo de caña (Kg)	Proporción de levadura (g)
T1	0,78	0,00*	0,00*
T2	0,00*	0,78	0,00*
T3	0,00*	0,78	0,12**
T4	0,00*	0,78	0,12***

*: Insumo no incorporado en la fermentación.

**.: Levadura Oenoferm® Freddo.

***.: Levadura Oenoferm® Color.

La fermentación se realizó por tiempo de 24 h en bolsas con cierre hermético de polietileno estériles como unidades experimentales, las condiciones de fermentación se llevaron a cabo a 22 °C y 70% humedad relativa mediante cámara climática (Memmert HPP 110, Alemania); se tomaron muestras de 100 g al inicio y final de esta etapa para realizar medición de parámetros fisicoquímicos (sólidos solubles, pH y acidez total titulable) (Ladino-Garzon, 2017). Finalmente, la masa de café se lavó con agua destilada y llevada a secado solar hasta alcanzar un rango de humedad entre el 10-11% (ISO 6673, 2007; Pabón & Peñuela, 2016; Evangelista *et al.*, 2014a-b; Velásquez *et al.*, 2018).

2.3. Análisis microbiológico.

Se tomaron 10 g de mucílago durante el proceso de fermentación (0 y 24 h) y se homogeneizaron en 90 mL de agua de peptona tamponada (BPW, 3M Health Care, Alemania), se realizaron diluciones seriadas para sembrar en placa de agar papa dextrosa (PDA, HiMedia Laboratoeies Pvt. Ltd., India). Las placas se incubaron a 30 °C por 48 h (Martínez *et al.*, 2017; Silva *et al.*, 2000; Avallone *et al.*, 2001; Ladino-Garzon, 2017). Transcurrido el tiempo de fermentación se hizo recuento de unidades formadoras de colonias viables cultivables (Ladino-Garzon, 2017).

2.4. Análisis físico y sensorial.

La calidad física se determinó bajo las condiciones de análisis establecidas para la comercialización mediante precio interno de referencia para Colombia (FEDECAFÉ, 2022). El análisis sensorial se realizó mediante el protocolo de taza descrito por la SCA (SCA, 2020; Ladino-Garzon, 2017; Ladino-

Garzon *et al.*, 2016; Bressani, *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2017; Martínez *et al.*, 2017; Evangelista *et al.*, 2014a-b).

2.5. Análisis de espectro mediante ATR-FTIR para café tostado.

Las mediciones espectrales se realizaron siguiendo la metodología de Barrios-Rodríguez *et al.*, (2020) y Barrios-Rodríguez *et al.*, (2021a-b), con modificaciones, se empleó un espectrómetro FTIR Cary 630 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE. UU.) con un detector DLATGS y un accesorio muestreador ATR, entre las longitudes de onda 4000-650 cm^{-1} , con una resolución de 8 cm^{-1} y 32 escáneres; el espectro final se obtuvo del promedio de 3 mediciones. Se empleó aproximadamente 1,0 g de café tostado molido pasado por el tamiz No. 30 y retenido en No. 40. ($600 > D > 426 \mu\text{m}$), bajo condiciones ambientales 58% humedad relativa y 23°C. Bajo estas mismas condiciones (exceptuando granulometría) se realizaron lecturas al estándar de cafeína (Sigma-Aldrich, China) y ácidos clorogénicos (Sigma-Aldrich, China).

2.6. Análisis estadístico.

Los resultados de parámetros fisicoquímicos y análisis sensorial se evaluaron mediante ANOVA simple mediante programa Statgraphics – Centurion XVI.I; se realizó prueba de LSD de Fisher con un nivel de significancia empleado del 95 %. El espectro infrarrojo fue procesado mediante las siguientes técnicas de pretatamiento de datos: datos brutos, corrección de la línea base, corrección de dispersión multiplicativa (MSC, Multiplicative Scatter Correction), primera derivada y segunda derivada. Estos procesamientos se realizaron mediante programa R con las librerías ChemoSpec, mdatools y ChemoSpecutils; posteriormente se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con la región comprendida entre 650 y 1800 cm^{-1} . Para el análisis de componentes principales, los datos inicialmente se escalaron y centraron para obtener media de cero y una desviación estándar de uno. Para detectar y eliminar las observaciones atípicas de los datos experimentales, se utilizaron los estadísticos de control multivariante como los cuadrados de la suma residual (RSS) y el T^2 de Hotelling (T^2). Finalmente se tomó la información obtenida mediante el PCA para ejecutar un clúster jerárquico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Los resultados obtenidos en los tratamientos propuestos sobre los parámetros fisicoquímicos (sólidos solubles, pH y acidez total) y microbiológicos mediante el recuento de células viables cultivables se presentan en la tabla 2.

TABLA 2: Parámetros físico-químicos y recuento de células viables cultivables.

Muestra	Sólidos Solubles (°Brix)		pH		Acidez Total (% Ácido Láctico)		Conteo células viables (Log UFC/mL)	
	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h	0 h	24 h
T1	4,85±0,60 ^a	6,43±0,05 ^a	4,86±0,03 ^a	3,57±0,01 ^a	0,07±0,01 ^a	0,97±0,05 ^a	7,74±0,64 ^a	11,14±0,92 ^a
T2	14,08±0,08 ^b	13,77±0,05 ^b	5,00±0,01 ^c	3,65±0,01 ^b	0,21±0,02 ^b	1,24±0,05 ^c	8,81±1,00 ^{ab}	12,10±0,00 ^b
T3	14,52±0,12 ^c	13,75±0,20 ^b	5,01±0,03 ^c	3,65±0,02 ^b	0,21±0,02 ^b	1,06±0,07 ^b	9,03±0,92 ^b	>12,10±0,00 ^c
T4	14,45±0,05 ^{bc}	13,72±0,04 ^b	4,95±0,05 ^b	3,65±0,01 ^b	0,20±0,02 ^b	1,00±0,04 ^{ab}	9,06±1,27 ^b	>12,10±0,00 ^c

Media ± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (LSD $P < 0.05$)

Para T2, T3 y T4 se observa un aporte estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en el contenido de sólidos solubles por parte del jugo de caña adicionado en comparación con T1 donde se diluyó con el agua agregada en el inicio de la fermentación. Los tratamientos que contenían caña de azúcar conservan la tendencia a disminuir los sólidos soluble; debido a que el contenido de carbohidratos del mismo favorece la actividad metabólica de las levaduras, lo cual se evidencia con la disminución en la etapa de fermentación de la masa de café. Para T1 se observa un comportamiento inverso, los resultados obtenidos para a las 24 horas de fermentación coincide con lo reportado por Puerta-Quintero (2012a) que reporta un aumento entre 5,9% y 8,0% para sistemas bajo las mismas condiciones experimentales (fermentación con adición de agua), esto se puede dar por la disolución de sustancias presente en el mucilago con el agua.

El pH de café baba es ácido según lo reportado por Puerta-Quintero (2012a), esta información coincide con los datos recolectados donde el pH para café con adición de agua presenta valores de 4,86 y para café con adición de jugo de caña de azúcar valores de 4,95 a 5,00, es de resaltar que el jugo de caña también presenta característica de pH ácido con valores de 4,92. Estos valores iniciales decrecieron después de las 24 h de fermentación para todos los tratamientos monitoreados, estos resultados pueden estar asociado con la producción de metabolitos de las bacterias ácido lácticas presente de manera natural en los granos de café (Kwak *et al.*, 2018). De acuerdo a Triviño-Pineda *et al.*, (2022) la disminución en el pH puede deberse a la transformación de azúcares presentes en bioetanol, a la desorción de CO_2 y producción de ácidos.

La acidez total (porcentaje de ácido láctico) aumenta con el tiempo de fermentación, lo cual se relaciona de forma inversa con el comportamiento del pH y puede estar directamente relacionado con el crecimiento microbiano existente en la masa de café (Kwak *et al.*, 2018). Los tratamientos inoculados con *Saccharomyces cerevisiae* no presentan diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre ellos, a la vez si difieren de los tratamientos control sin inoculación de microorganismos; el mayor porcentaje de ácido láctico está dado para las unidades experimentales con adición de jugo de caña de azúcar, lo que infiere que el aporte de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos de este sustrato coadyuva a la producción de metabolitos que aportan a la acidificación.

En el recuento de células viables, se observa una mayor población en los tratamientos con adición de levaduras y jugo de caña; lo que permite considerar que esta combinación es efectiva permitiendo una mayor proliferación de estos microorganismos en la etapa de fermentación; por otra parte, en los tratamientos sin inoculación de levaduras, es importante destacar que el jugo de caña de azúcar permite una mayor proliferación de la microbiota nativa de levaduras. En la tabla 2 se observa que al inicio de la fermentación el tratamiento control con adición de jugo de caña de azúcar comparte características estadísticas no significativa ($p > 0.05$) con el tratamiento control con adición de agua y con los inoculados con levaduras; finalizada la etapa de fermentación se muestra que el recuento de viables cultivables muestra diferencia estadísticamente ($p < 0.05$) entre tratamientos que contiene jugo de caña de azúcar y el tratamiento control con adición de agua, esto podría estar relacionado la presencia de carbohidratos en este (Panigrahi *et al.*, 2021), lo cual proporciona condiciones adecuadas para el desarrollo de la microbiota presente. La tendencia en aumento del recuento de células viables de los tratamientos inoculados con Levadura Oenoferm® Freddo y Oenoferm® Color coincide con lo publicado por Kwak *et al.*, (2018) quienes emplearon al igual cepas *Saccharomyces cerevisiae* comerciales utilizadas en la elaboración de vinos.

En la tabla 2 se observa una incidencia marcada en la adición de jugo de caña de azúcar en el comportamiento final de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con excepción del parámetro acidez total, donde se muestra diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en comparación con el tratamiento que se adiciona agua. Lo que muestra que este sustrato proporciona condiciones que facilitan el crecimiento de microorganismos presentes o inoculados a la masa de café que se desea fermentar. Es de resaltar que para el parámetro acidez total al final de la fermentación, los tratamientos tienden a tener diferencias estadísticas ($p < 0.05$), mostrando que T1 y T2 difieren de T3 y T4; de lo cual se deduce que esta diferencia podría estar ligada a la inoculación con Levadura Oenoferm® Freddo y Levadura Oenoferm® Color.

3.2. Análisis físico y sensorial de muestras de café correspondientes a los tratamientos empleados.

En la tabla 3 están consignados los datos de factor de rendimiento que tiene un valor menor a la media estipulada para todos los tratamientos analizados, resaltando que los aditivos orgánicos empleados no influyen estadísticamente en comparación con el control con adición de agua.

TABLA 3: Análisis físico de café.

Muestra	Factor de rendimiento (kg)	Broca (%)	Pasilla (%)	Merma (%)
T1	91,15±0,21 ^a	2,00±0,00 ^a	4,95±1,34 ^a	18,50±0,28 ^a
T2	90,60±1,13 ^a	2,05±0,21 ^a	3,90±0,28 ^a	19,15±0,07 ^a
T3	90,55±0,78 ^a	1,40±0,57 ^a	3,60±1,13 ^a	19,05±0,49 ^a
T4	91,75±0,78 ^a	0,90±1,27 ^a	5,20±0,99 ^a	18,90±0,57 ^a

Media ± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (LSD $P < 0.05$).

La adición de jugo de caña de azúcar y levadura no afectó la característica física del grano en comparación con el control adicionado con agua (Tabla 3), además el análisis sensorial mostro resultados satisfactorios en el puntaje final para los tratamientos en los que se empleó estos aditivos, como se muestra en la tabla 4. Otros estudios han demostrado la eficiencia de emplear aditivos orgánicos para mejorar las características sensoriales de la bebida (Ararat & Trujillo, 2018; Bressani *et al.*, 2018; Da Mota, *et al.*, 2020; Martínez *et al.*, 2017; Pivaral & Cruz, 2018; Kwak *et al.*, 2018; Evangelista *et al.* 2014a), por lo cual se puede catalogar el jugo de caña de azúcar como fuente aditiva potencial que se encuentra al alcance de los productores de café en las zonas rurales.

TABLA 4: Valores medios de los atributos y de la calificación global por el análisis sensorial según el protocolo de la Asociación de Café Especiales (SCA) del café.

Atributo sensorial	T1	T2	T3	T4
Fragancia/Aroma	8,18±0,47 ^a	8,25±0,53 ^a	8,23±0,58 ^a	8,18±0,58 ^a
Sabor	7,63±0,57 ^a	8,04±0,53 ^a	8,05±0,69 ^a	7,80±0,42 ^a
Sabor Residual	7,63±0,44 ^a	7,85±0,49 ^a	7,93±0,50 ^a	7,70±0,45 ^a
Acidez	7,00±0,41 ^a	7,30±0,23 ^b	7,33±0,26 ^b	7,23±0,18 ^{ab}
Cuerpo	7,08±0,39 ^a	7,33±0,31 ^a	7,28±0,34 ^a	7,23±0,25 ^a
Uniformidad	6,85±1,33 ^a	9,80±0,42 ^b	9,80±0,42 ^b	9,50±0,85 ^b
Balance	7,23±0,79 ^a	7,58±0,83 ^a	7,74±0,72 ^a	7,45±0,75 ^a
Taza Limpia	6,83±1,48 ^a	9,80±0,42 ^b	9,80±0,42 ^b	9,50±0,85 ^b

Dulzor	9,20±1,69 ^a	10,00±0,00 ^a	10,00±0,00 ^a	9,90±0,32 ^a
Puntaje Catador	7,08±1,09 ^a	7,13±0,34 ^a	7,18±0,31 ^a	7,03±0,22 ^a
Puntaje Final	73,88±5,27 ^a	82,87±2,03 ^b	83,31±2,29 ^b	81,30±2,34 ^b

Media ± Desviación estándar. Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (LSD P<0.05).

El uso de levaduras y jugo de caña de azúcar en la fermentación favorece la calidad en taza del café, por lo cual se pueden emplear como alternativas para mejorar calidad y competir en mercados especializados. El café con adición de agua obtuvo el puntaje más bajo en comparación con los otros tratamientos con jugo de caña adicionada o la combinación de jugo de caña y levaduras; sobresaliendo con puntajes dentro del rango de especialidad según SCA.

El tratamiento control con adición de agua presentó características sensoriales negativas como se muestra en la tabla 4; que influyeron en la puntuación dada por los analistas sensoriales, posicionando este tratamiento por fuera de rango de café especiales con puntaje inferior a 80,00 según la SCA; adicionalmente se evidencia que los atributos evaluados que tienen mayor incidencia en el puntaje final en la presente investigación están dados por acidez y taza limpia (Tabla 5).

Los resultados sensoriales obtenidos mediante la adición de levaduras Oenoferm® Freddo y Oenoferm® Color muestra que, mediante la adición de microorganismos iniciadores seleccionados adecuadamente, se pueden obtener bebida de café con gran potencial de atracción para consumidores. Coincidiendo con Da Mota, *et al.*, (2020) que encontró que el mejor resultado en taza para café despulpado está relacionado con *Saccharomyces cerevisiae* aumentando hasta en 5 puntos relacionado con el control empleado.

3.3. Descriptores sensoriales.

En la figura 1 se muestra la frecuencia de atributos o defectos encontrados por el panel de catación que realizó el análisis sensorial, se evidencia que los cafés de los tratamientos T3 y T4 presentaron mayores porcentajes de aceptación en atributos sensoriales positivos para calificar una bebida, similar ocurrió con el T2 con diferencia que mostró notas indeseada como plástico y químico; sin embargo, no afectaron el puntaje final de calidad; caso contrario ocurrió con el tratamiento T1 que se vio afectada su calidad final dado que sobresalieron notas desagradables como fenol, gasolina y plástico.

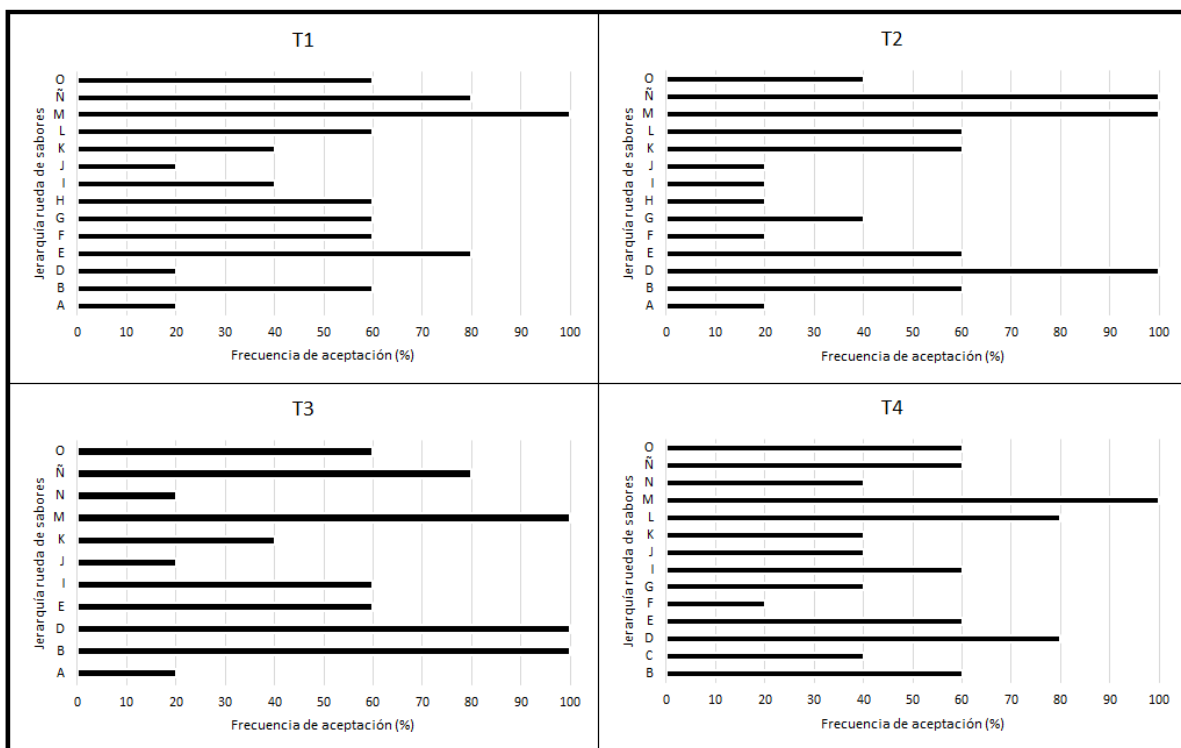


FIGURA 1: Atributos sensoriales de la rueda de sabor proporcionado por jueces y porcentaje de aparición en muestras analizada. Los códigos en letras mayúsculas hacen referencia a la jerarquía empleada en la rueda de sabores (Spencer et al. 2016). A=Floral (Floral), B=Fruta (Baya), C= Fruta (frutos secos), D=Fruta (Otras frutas), E=Fruta (Fruta cítrica), F=Agrio/fermentado (Alcohol/fermentado), G=Otro (Papel/mohoso), H=Otro (Químico), I=Especias (Pimienta), J=Especias (Especia marrón), K=Nuez/cacao (De nuez), L=Nuez/cacao (Cacao), M=Dulce (Azúcar moreno), N=Dulce (En general dulce), Ñ=Herbales y Herbales aromáticos, O=Herbal biche.

En la tabla 5 se observa las notas descritas por el panel de catación, esta agrupación se realizó para cada tratamiento de acuerdo a la rueda de sabores de la SCA que está organizada de forma jerárquica. Existen descriptores positivos que son compartidos con todos los tratamientos, lo cual permite inferir que están relacionados directamente con la materia prima empleada y no con el tratamiento implementado; así como: afrutado, limón, naranja, especiado, maní, nuez, panela, caramelo, herbal, hojas de limón, astringente. De esta misma forma se relacionan descriptores ligados al tratamiento, para el caso de T1 se destacan notas indeseadas como fenol, gasolina y plástico; para T2 aparecen notas a plástico y químico. Es de resaltar que estos descriptores se percibieron en muestras de café que no se fermentaron con la adición de microorganismos, adicionalmente en T2 es de menor intensidad como se observa en la figura 1, infiriéndose que esto puede estar influenciado por la fermentación ligada al jugo de caña de azúcar, lo cual se ve reflejado en el puntaje final en taza catalogado dentro del rango de café especial.

El tratamiento T3 presentó la mayor calificación con 83,31 puntos, es de destacar que este tratamiento no presentó notas negativas relacionadas con alcohol/fermentado, papel/mohoso y químico. Dando lugar a la discusión que la adición de la cepa de levadura Oenoferm® Freddo influye de manera positiva en la modulación de descriptores sensoriales en la bebida de café. De la misma manera en la tabla 4 se observa que en los tratamientos que se adicionó cepas de levadura Oenoferm® Freddo y Oenoferm® Color, existe mayor percepción de notas positivas en el análisis sensorial relacionadas con fruta, especias, dulce, y herbales aromáticos. La cepa Oenoferm® Color (T4) proporciona perfiles a

fruta madura, madera, especias, nuez y tostados (Erbslöh, 2022b); estas características se pueden relacionar con los atributos descritos por el panel de catación a fresa, mora, afrutado, cereza, manzana verde, cítrico, limón, naranja, especiado, picante, pimienta, nuez moscada, maní, nuez, avellana, almendra, secas, madera y ciruela, resaltando que las notas secas y a madera podrían estar relacionada con los defectos de café del grupo de los “terrosos”, al igual la percepción de ciruela pasa se relaciona con el grupo de defectos de los “sobrefementados” con la relación con pulpa sobremadura (Osorio, 2021). Para la cepa de levadura Oenoferm® Freddo adicionada a T3 se relaciona el perfil con características afrutadas, frutas cítricas y manzana verde (Erbslöh, 2022a), de esta manera es posible relacionar las notas a afrutado, fresa, mora, cereza, limón, naranja, kiwi y manzana verde percibidas para muestras de este tratamiento.

TABLA 5: Agrupación de notas encontradas por tratamiento según atributos sensoriales de la rueda de sabores según los descriptores planteados por Spencer *et al.* (2016).

Clase (categoría)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Floral /(Floral)	Floral	Floral	Floral	-
Fruta (Baya)	Frutos rojos	Fresa, mora.	Fresa, mora.	Fresa, mora.
Fruta (Frutos secos)	-	-	-	Ciruela pasa.
Fruta (Otras frutas)	Afrutado, manzana.	Afrutado, kiwi, cereza.	Afrutado, cereza, kiwi, manzana verde.	Afrutado, cereza, manzana verde.
Fruta (Fruta cítrica)	Limón, naranja	Limón, naranja.	Limón, naranja.	Cítrico, limón, naranja.
Agrio/fermentado (Alcohol/fermentado)	Pulposo	Pulposo.	-	Pulposo
Otro (Papel/mohoso)	fenol	Secas.	Madera	Secas, madera.
Otro (Químico)	Gasolina, plástico	Plástico, químico.	-	-
Especias (Pimienta)	Especiado, pimienta.	Especiado.	Especiado, picante, pimienta.	Especiado, picante, pimienta.
Especias (Especia marrón)	Canela.	Canela.	Anís.	Nuez moscada.
Nuez/cacao (De nuez)	Maní, nuez.	Maní, nuez.	Maní, nuez.	Maní, nuez, avellana, almendra.
Nuez/cacao (Cacao)	Chocolate.	Chocolate.	-	Chocolate.
Dulce (Azúcar moreno)	Dulce, panela, caramelo.	Panela, caramelo.	Panela, caramelo, azúcar morena, arequipe.	Panela, caramelo, azúcar morena, arequipe.
Dulce (En general dulce)	-	-	Caña de azúcar.	Caña de azúcar.
Herbales y Herbales aromáticos.	Herbal, limoncillo, jengibre, hojas de limón.	Herbal, hojas de limón.	Herbal, limoncillo, albahaca, hojas de limón.	Herbal, herbal fresco, hojas de limón, limoncillo.

Herbal biche	Astringente, manchoso, biche.	Astringente.	Astringente, manchoso.	Astringente, biche.
--------------	-------------------------------------	--------------	---------------------------	------------------------

La percepción de dulce, caramelo se encontró en todos los tratamientos empleados, según Bressani *et al.*, (2018) está ligado a el benzeacetaldehído, al igual que las notas afrutadas y florales encontradas en algunos tratamientos. Estas últimas notas están relacionadas también con la fermentación por levaduras mediante la transformación de 2-metilbutanal y 3-metilbutanal en alcoholes, entre las que se destacan la *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus* (Duboc *et al.*, 2003).

3.4. Caracterización de la composición química del café tostado por medio de espectroscopia infrarroja.

El efecto de los tratamientos sobre las características químicas del café tostado se evaluó mediante el análisis ATR-FTIR, el cual nos permite observar cambios en la composición química mediante las mediciones de la absorbancia en el rango de longitud de onda de 4000-650 cm^{-1} . Se considera según la ley de Lambert-Beer, que un aumento de la absorbancia puede representar diferencia en la composición de las muestras evaluadas (López Pacheco, 2017). Los datos encontrados evidencian diferencias en los valores de absorbancia, principalmente en la zona definida como área de huella dactilar definida entre 1800 a 650 cm^{-1} (Figura 2). Los tratamientos sin adición de levaduras (T1 y T2) presentaron los mayores valores de absorbancia, lo cual indica que la adición de levadura durante la fermentación tiene un efecto en la caracterización química obtenida mediante el espectro infrarrojo. Entre las muestras de los tratamientos con adición de levaduras (T3 y T4) no se evidencia mayor diferencia en los espectros obtenidos.

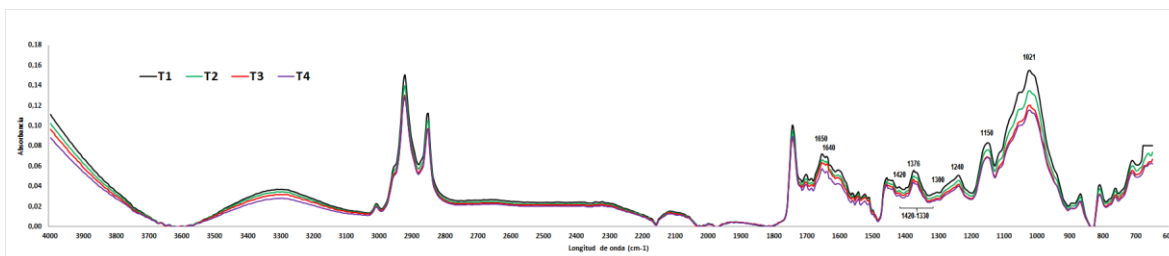


FIGURA 2: Espectros ATR-FTIR de café tostado.

Los números de onda donde se observa una mayor diferencia de absorbancia entre las muestras control y muestras tratadas con levaduras son: 1650 cm^{-1} , la región comprendida entre 1420-1240 cm^{-1} , 1150 cm^{-1} y 1021 cm^{-1} .

Las absorbancias entre 1660-1640 se han relacionado con la absorción de las amidas cíclicas de la cafeína como también con la vibración de su enlace C=O (Craig *et al.*, 2014; Craig *et al.*, 2018). La banda a 1150 cm^{-1} se ha relacionado con la vibración del enlace C – O del grupo éter de la celulosa (Craig *et al.*, 2018; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2020; Barrios-Rodríguez *et al.*, 2021a). La región 1420-1240 cm^{-1} está asociada a la deformación del grupo O-H de los ácidos clorogénicos (Barrios-Rodríguez *et al.*, 2020; Craig *et al.*, 2012a-b); por otro lado, el número de onda 1021 cm^{-1} se ha asociado al grupo funcional éster C-O-C, los cuales pueden deberse a la presencia del ácido quínico en el café, perteneciente a la familia de los ácidos clorogénicos (Silverstein *et al.*, 2005). También Lyman *et al.*,

(2003) relacionó con los ácidos clorogénicos la región de bandas correspondiente a 1300-1150 cm^{-1} , teniendo en cuenta esta información es posible relacionar los picos encontrados a 1300 cm^{-1} , 1240 cm^{-1} y 1150 cm^{-1} .

Con el fin de corroborar la presencia de ácidos clorogénicos y cafeína en las muestras de los diferentes tratamientos, se obtuvieron los de estos compuestos con pureza de $\geq 99\%$ y $\geq 95\%$ respectivamente. La figura 3 muestra el espectro del estándar de cafeína y ácidos clorogénicos con una ampliación de la zona de 1800 cm^{-1} a 650 cm^{-1} . Garrigues *et al.*, (2000) y Gallignani *et al.*, (2008) reportaron que para la caracterización de cafeína, las bandas con intensidad en 1710 cm^{-1} , 1659 cm^{-1} (originadas por la vibración de grupos carbonilos) y 1554 cm^{-1} son las de mayor interés. Los autores resaltan la importancia de la región comprendida entre 1650-1659 cm^{-1} debido a que no presenta interferencia por otros compuestos. Estas regiones y números de ondas fueron observadas en las muestras analizadas en el presente estudio. Ayala (2010) asignó la banda 1700 cm^{-1} con el estiramiento de C=N, 1658 cm^{-1} con estiramiento asimétrico de C=O y 1548 cm^{-1} con el estiramiento simétrico C=O de acuerdo a los resultados obtenidos de un espectro de cafeína. En el caso del ácido clorogénico Lee *et al.* (2015) describió las siguientes bandas de interés para isómeros del ácido clorogénico 1605 cm^{-1} , 1276 cm^{-1} , 1165 cm^{-1} y 1120 cm^{-1} . En concordancia con lo reportado y encontrado en el estándar analizado en este estudio los picos 1599 cm^{-1} , 1282 cm^{-1} , 1155 cm^{-1} y 1129 cm^{-1} (figura 3) podrían tener una mayor relevancia para la caracterización de este compuesto.

Lo discutido anteriormente asocia la presencia de estos compuestos en las muestras analizadas y corrobora que dichos picos observados corresponden a la cafeína y ácidos clorogénicos en los diferentes tratamientos realizados.

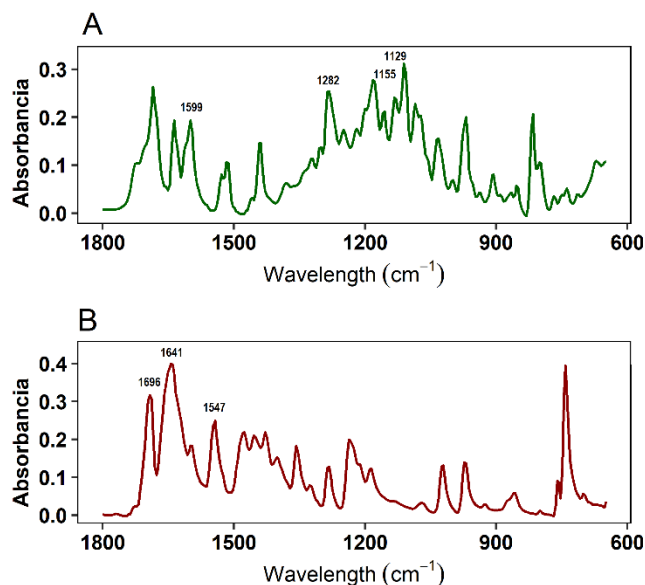


Figura 3: Espectro ATR-FTIR ampliado en la región de 1800 cm^{-1} a 650 cm^{-1} para estándar. A. Ácidos clorogénicos (bandas de interés a 1282 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} y 1129 cm^{-1}), B Cafeína (bandas de interés a 1696 cm^{-1} , 1641 cm^{-1} y 1547 cm^{-1}).

3.5. Análisis exploratorio de espectros IR en café mediante análisis de componentes principales (PCA) y clúster jerárquico.

ácidos orgánicos, gomas, etanol, oligo y polisacáridos, al igual que la hidrólisis de sacarosa para generar fructosa y glucosa (Panigrahi *et al.*, 2021).

En cuanto a los tratamientos con adición de levaduras, el que mostro una agrupación distinta con respecto al tratamiento control (T1) y al tratamiento con solo adición de jugo de caña (T2) fueron las muestras tratadas con la cepa de levadura Oenoferm® Color (T4). En cuanto las muestras tratadas con la cepa de levadura Oenoferm® Freddo (T3) evidencian una distribución entre el tratamiento T2 y T4. El comportamiento de T3 se podría relacionar con las condiciones de temperatura de desarrollo de la fase experimental (22 °C) y sobre las características intrínsecas de la cepa; esto relacionado a que es una cepa que tolera condiciones de frío, con un desarrollo óptimo a una temperatura entre 13 y 17 °C (Erbslöh, 2022a). El no contar con una temperatura de crecimiento óptimo, se puede ver afectada la tasa de crecimiento y por ende las fases de desarrollo microbiano (adaptación, exponencial, estacionaria y muerte), lo cual puede disminuir su efecto durante la fermentación en los granos de café, generando esta variabilidad de información y manteniendo características similares al tratamiento con jugo de caña de azúcar (T2). Mientras la levadura Oenoferm® Color empleada en T4 presenta unas condiciones de crecimiento óptimo entre 18 a 28 °C, por lo cual se pudo ver favorecida durante la fermentación ejerciendo un efecto en la composición química del grano que los diferencia de la tratada con agua (T1) y con jugo de caña de azúcar (T2).

De lo anterior se puede deducir que existe un efecto en la composición química del grano de café debido a la adición de jugo de caña de azúcar y de levaduras durante el proceso de fermentación húmedo. Este efecto se puede considerar favorable al relacionarlo con los resultados sensoriales obtenidos de las muestras de T2, T3 y T4 que mostraron mejor puntuación en el análisis sensorial SCA con $82,87 \pm 2,03$, $83,31 \pm 2,29$ y $81,30 \pm 2,34$ respectivamente, comparados con el tratamiento control (T1) que obtuvo una puntuación de $73,88 \pm 5,27$.

Adicionalmente se observa la primera agrupación del dendograma que comparte datos de T2, T3 y T4; de lo que puede deducirse que esta agrupación está relacionada directamente con el jugo de caña de azúcar.

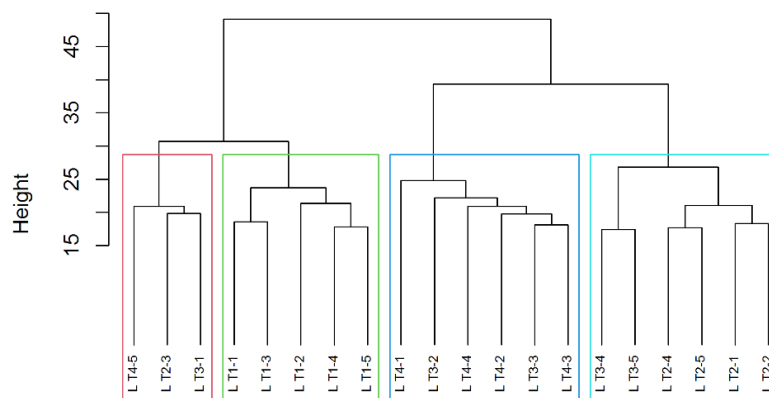


Figura 5: Análisis de clúster para la clasificación de muestras de acuerdo al tratamiento aplicado en los granos de café durante la fermentación.

4. CONCLUSIONES

El empleo de aditivos orgánicos es una opción viable para inducir la mejora de la calidad sensorial de la bebida, posicionando las muestras procedentes de estos tratamientos en el de rango de café de especialidad. De esta forma, para la variedad Colombia la adición de jugo de caña de azúcar o la combinación de jugo de caña de azúcar con inoculación de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* var. *Bayanus* durante la etapa de fermentación, muestran resultados prometedores para mejorar la calidad en bebida. El análisis quimiométrico de los datos espectrales permitió corroborar que existe un efecto en la composición química del grano debido a la adición tanto de jugo de caña de azúcar como las levaduras. Entre los posibles compuestos afectados se encuentran los ácidos clorogénicos y la cafeína, verificado mediante los cambios en las zonas espectrales asociados a estos compuestos, tanto en muestras de café como en sus estándares correspondientes.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Surcolombiana y programa Maestría en Ciencia y Tecnología del Café por recibir de ella una gran formación académica de la mano de su cuerpo de docentes y Centro Surcolombiano de Investigación en Café (CESURCAFÉ) por permitir el uso de su planta de laboratorios.

6. REFERENCIAS

Craig, A.P., Franca, A. S. & Oliveira, L. S., 2011. Discrimination between immature and mature green coffees by attenuated total reflectance and diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02359.x>

Craig, A.P., Franca, A. S. & Oliveira, L. S., 2012a. Discrimination between defective and non-defective roasted coffees by diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.016>

Craig, A.P., Franca, A. S. & Oliveira, L. S., 2012b. Evaluation of the potential of FTIR and chemometrics for separation between defective and non-defective coffees. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.121>

Craig, A.P., Franca, A. S.; Oliveira, L. S. & Illeleji, J. K., 2014. Application of elastic net and infrared spectroscopy in the discrimination between defective and non-defective roasted coffees. *Journal Talanta*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2014.05.001>

Craig, A. P., Botelho, B. G., Oliveira, L. S. & Franca, A. S., 2018. Mid infrared spectroscopy and chemometrics as tools for the classification of roasted coffees by cup quality. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.066>.

Pereira B., A. P., Martinez, S. J., Evangelista, S. R., Ribeiro D., D. & Schwan, R. F., 2018. Characteristics of fermented coffee inoculated with yeast starter cultures using different inoculation methods. *LWT*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.029>

Pereira B., A. P., Martinez, S. J., Inácio S. , A. B., Borém, F. M. & Schwan, R. F., 2020. Organic acids produced during fermentation and sensory perception in specialty coffee using yeast starter culture, *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108773>.

Pereira B., A. P., Martinez, S. J., Batista, N.N., Pavesi S., J. B. Ribeiro D., D. & Schwan, R. F., 2021. Co-inoculation of yeasts starters: A strategy to improve quality of low altitude Arabica Coffee. Food Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130133>

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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.033>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109588>.

Silva, C.F., Schwan, R. F., Sousa D., 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. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00315-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00315-9)

Panigrahi, C., Yasmeen S., A. E., Bharati B., B., Niwas M., H. & Sirshendu De. (2021). A technological review on processing of sugarcane juice: Spoilage, preservation, storage, and packaging aspects. Journal of Food Process Engineering. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13706>

Ayala, C., 2010. Diseño de nuevas estrategias para el análisis de muestras reales utilizando la espectrometría Infrarroja de transformada de Fourier (FTIR) como forma de detección. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/31784.pdf>

Silva, C. F., Marques V., D., De Souza C., C., Ferreira D., W., Ribeiro D., D. & Schwan, R. F., 2013. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation. World J Microbiol Biotechnol. <https://doi.org/10.1007/s11274-012-1175-2>.

De Carvalho Neto, D.P., De Melo Pereira, G.V., Tanobe, V.O.A., Thomaz Soccol, V., G. da Silva, B.J., Rodrigues, C. & Soccol, C.R., 2017. Yeast Diversity and Physicochemical Characteristics Associated with Coffee Bean Fermentation from the Brazilian Cerrado Mineiro Region. Fermentation. <https://doi.org/10.3390/fermentation3010011>

Dadi, D., Mengistie, E, Terefe, G., Getahun, T., Haddis, A., Birke, W., Beyene, A., Luis, P. & Van der Bruggen, V., 2018. Assessment of the effluent quality of wet coffee processing wastewater and its influence on downstream water quality, Ecohydrology & Hydrobiology. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.10.007>.

Lyman, D. J., Benck, R., Dell, S., Merle, S. & Murray-Wijelath, J., 2003. FTIR-ATR Analysis of Brewed Coffee: Effect of Roasting Conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry. <https://doi.org/10.1021/jf0209793>

Duboc, P. & Milo, C, 2003. European Patent No. EP 1527695A1. Munich, Germany: European Patent Office. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/034400467/publication/EP1527695A1?q=EP%201527695A1>

Da Silva Oliveira, E. C., Carvalho Guarçoni, R. V., Ribeiro de Castro, E. V., Gomes de Castro, M. & Louzada Pereira, L., 2020. Chemical and sensory perception of robusta coffees under wet processing. *Journal Coffee Science*. <https://doi.org/10.25186/v15i.1672>

Erbslöh, 2022a. Oenoferm® Freddo. Levadura tolerante al frío para vinos frescos y afrutados. https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Wine/technical_data_sheet/ES/oenoferm_freddo_f3-technical_data_sheet-spanish-erbsloeh.pdf . Consultado el 29 de abril de 2022.

Erbslöh, 2022b. Oenoferm® Color. Levadura para vinos tintos de gran cuerpo y color intenso https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Wine/technical_data_sheet/ES/oenoferm_color_f3-technical_data_sheet-spanish-erbsloeh.pdf . Consultado el 29 de abril de 2022.

FEDECAFÉ - Federación Nacional de Cafeteros, 2022. Aprenda a vender su café. <https://federaciondecafeteros.org/wp/servicios-al-caficultor/aprenda-a-vender-su-cafe/> . Consultado el 29 de abril de 2022.

Garrigues, J. M., Bouhsain, Z., Garrigues, S. & De la Guardia, M., 2000. Fourier transform infrared determination of caffeine in roasted coffee samples. *Fresenius' Journal of Analytical Chemistry*. <https://doi.org/10.1007/s002160050063>

Galignani, M., Torres, M., Ayala, C. & Brunetto, M., 2008. Determination of caffeine in coffee by means Fourier transform infrared spectrometry. *Revista Tecnica de la Facultad de Ingenieria Universidad del Zulia*. https://www.researchgate.net/publication/267250652_Determination_of_caffeine_in_coffee_by_means_Fourier_transform_infrared_spectrometry

Puerta-Quintero, G. I., 2012a. Factores, procesos y controles en la fermentación del café. *Avances técnicos CENICAFÉ*. ISSN – 0120 – 0178. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/327/1/avt0422.pdf>

Puerta-Quintero, G. I., Mejía, J. M. & Osorio B, G. A., 2012b. Microbiología de la fermentación del mucílago de café según su madurez y selección. *Revista Cenicafé*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/536/1/arc063%2802%2958-78.pdf>

De Melo P., G. V., Neto, E., Soccol, V. T., Pedroni M., A. B., Woiciechowski, A. L. & 2015. Conducting starter culture-controlled fermentations of coffee beans during on-farm wet processing: Growth, metabolic analyses and sensorial effects. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.027>.

De Melo P., G. V., Soccol, V. T., Pandey, A., Pedroni M., A. B., Rodrigues A. L., J. M., Gollo, A. L. & Soccol. C. R., 2014. Isolation, selection and evaluation of yeasts for use in fermentation of coffee beans by the wet process. *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.07.008>

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*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108796>.

Kwak, H. S., Jeong, Y. & Kim, M., 2018. Effect of Yeast Fermentation of Green Coffee Beans on Antioxidant Activity and Consumer Acceptability. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2018/5967130>

Elhalis, H., Cox, J. & Zhao, J., 2020. Ecological diversity, evolution and metabolism of microbial communities in the wet fermentation of Australian coffee beans. *International Journal of Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108544>.

ICO - International Coffee Organization, 2020. The value of coffee. Sustainability, Inclusiveness, and Resilience of the Coffee Global Value Chain. 2020 COFFEE DEVELOPMENT REPORT, ICO FR/01/19E, ISBN: 978-1-5272-8440-1. <https://www.ico.org> . Consultado el 29 de abril de 2022.

ISO - International Organization for Standardization - ISO 6673: 2003. (2007). Green coffee. Determination of loss in mass at 105 °C (ISO 6673 : 2003). <https://www.iso.org/standard/38375.html>. Consultado el 29 de abril de 2022.

Triviño-Pineda, J. S., Contreras G., J., Amorocho-Cruz, C. M. & Sánchez-Ramírez, J. E., 2022. Obtención de bioproductos a partir de residuos del beneficio húmedo del café (pulpa). *Revista Colombiana de Biotecnología*. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v23n2.90551>

Pabón U., J. P. &., 2016. Efecto de la aplicación de agua ozonizada como técnica de conservación del café pergamino húmedo. *Revista Cenicafe*. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/679/1/arc067%2801%2963-72.pdf>.

Sanz U, J. R., Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez G., c. A., Peñuela M. A. E., Ramos G., P. J., 2013. Manual del cafetero colombiano. Investigaciones y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Tomo 3. Postcosecha y subproductos del café. https://www.cenicafe.org/es/index.php/nuestras_publicaciones/Manual_Cafetero.

Louzada P., L., Carvalho G., R., Fontes P., P., Moreira O., V., Pinheiro, C. A., Rizzo M., T., Schwengber ten Caten, C., 2020. New propositions about coffee wet processing: Chemical and sensory perspectives, *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>.

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*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>.

Silva R., L., Ribeiro, D. E., Evangelista, S. R., Da Cruz P., M. G., Marques P. A. C., Borém, F. M. & Schwan. R. F., 2017. Controlled fermentation of semi-dry coffee (*Coffea arabica*) using starter cultures: A sensory perspective, *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.008>.

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. *Curr Microbiol.* : <http://dx.doi.org/10.1007/s00284-013-0495-2>.

Taha, M., Hassan, M., Essa, S. & Tartor, Y., 2013. Use of Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) spectroscopy for rapid and accurate identification of Yeasts isolated from human and animals. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijvsm.2013.03.001>

Marquina, D., Santos, A. & Peinado, J. M., 2002. Biology of killer yeasts. *International Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s10123-002-0066-z>.

Ararat O., M. C., & Trujillo, L. F., 2018. Contribución al estudio de aditivos orgánicos en el proceso de fermentación del grano de café. Working papers – ECAPMA. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.2949>

Mihoubi, W., Sahli, E., Gargouri, A. & Amiel, C., 2017. FTIR spectroscopy of whole cells for the monitoring of yeast apoptosis mediated by p53 over-expression and its suppression by *Nigella sativa* extracts. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180680>

Batista da Mota, M. c., Nara B., N., Sances R., m. H., Ribeiro, D. E., Borém, F. M. & Schwan, R. F., 2020. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>

Haile, M. & Kang, W. H., 2019. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>.

Spencer, M., Sage, E., Velez, M. & Guinard, J. X., 2016. Using single free sorting and multivariate exploratory methods to design a new coffee taster's flavor Wheel. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13555>

López P., M. A., 2017. Estudio Espectroscópico para Identificar y cuantificar Capsaicina en la Especie *Capsicum Annumm*. Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Departamento de Óptica. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/1734/1/LopezPaMA.pdf> . Consultado el 29 de abril de 2022.

NTC - Norma técnica colombiana 2090, 1985. Maquinaria Agrícola. Despulpadora de café. Instituto colombiano de normas técnicas y certificaciones. I. C. S.: 65.060.70

Osorio, V., 2021. La calidad del Café. En Centro Nacional de Investigaciones de Café, Guía más agronomía, más productividad, más calidad. Cenicafé. https://doi.org/10.38141/10791/0014_12

Pivaral C., R. O. & Cruz P., J. E., 2018. Evaluación del efecto de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la caracterización sensorial del café en dos sistemas de fermentación. Editorial Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6232>

Silverstein, R. M., Webster, F. X. & Kiemle, D., 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, 7th Edition. Hoboken, NJ, USA: Wiley.

Avallone, S., Guyot, B., Brillouet, J. M. Olguin, E. & Guiraud, J. P., 2001. Microbiological and Biochemical Study of Coffee Fermentation. *Current Microbiology*. <https://doi.org/10.1007/s002840110213>.

Martínez, S. J., Pereira B., A. P., Pedrozo M., M. G., Ribeiro D., D. & Schwan, R. F., 2017. Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter cultures, *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.096>.

Evangelista, S. R., Pedrozo M., M. G., De Souza C., C., Ferreira S., C., Marques P., A. C. & Schwan, R. F., 2014a. Inoculation of starter cultures in a semi-dry coffee (*Coffea arabica*) fermentation process, Food Microbiology, Volume 44, ISSN 0740-0020, <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.05.013>.

Evangelista, S. R., Ferreira S., C., Pedrozo M., M. G., De Souza C., C., Marques P., A. C., Ferreira D., W. & Schwan, R. F., 2014b. Improvement of coffee beverage quality by using selected yeasts strains during the fermentation in dry process, Food Research International. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.11.033>.

SCA - Specialty Coffee Association, 2020. Protocols & Best Practices. Cupping Protocols. <https://sca.coffee/research/protocols-best-practices>. Consultado el 29 de abril de 2022.

Velásquez, S., Peña, N, Bohórquez, J. C & Gutiérrez-Guzman, N., 2018. Determination of the complex permittivity of cherry, pulped, green, and roasted coffee using a planar dielectric platform and a coaxial probe between 0.3 and 6 GHz. International journal of food properties, <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1490320>.

Shapaval, V., Brandenburg, J., Bomqvist, J., Tafintseva, V., Passoth, V., Sandgren, M. & Kohler, A., 2019. Biochemical profiling, prediction of total lipid content and fatty acid profile in oleaginous yeasts by FTIR spectroscopy. Biotechnology for Biofuels. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1481-0>

Belchior, V., Gonçalves B., B., Oliveira, L. S. & Franca, A. S., 2017. Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Spectroscopy (ATR-FTIR) and chemometrics for discrimination of espresso coffees with different sensory characteristics. Food Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.026>

Velmourougane, K, 2013. Impact of Natural Fermentation on Physicochemical, Microbiological and Cup Quality Characteristics of Arabica and Robusta Coffee. Proceedings of the National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1007/s40011-012-0130-1>

Ladino-Garzon, W. L., Cortés-Macías, E. T., Gutiérrez-Guzmán, N & Amorocho-Cruz, C. M., 2016. Calidad de taza de café (*Coffea arabica* L.) procesada en fermentación semi-seca. Agronomía Colombiana Suplemento. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1supl.57773>. <http://www.cienciasagrarias.bogota.unal.edu.co/sites/default/files/IMGs/IICTA2016/Revista%20Agronomia%20Colombiana%20%28suplemento%29%20Congreso%20IICTA%202016%20Parte%20%20pg227-559.pdf>. Consultado el 29 de abril de 2022.

Ladino-Garzon, W.L., 2017. Caracterización de las bacterias ácido lácticas (BAL), hongos y levaduras que inciden durante el proceso de fermentación de café arábica (*Coffea arabica*) y su influencia en el análisis sensorial y calidad de la taza. <http://repositorio.usco.edu.co/handle/123456789/326>. Consultado el 29 de abril de 2022.

Rodríguez R., Y. A., Rojas, A. F. & Rodríguez-Barona, S., 2016. Encapsulación de probióticos para aplicaciones alimenticias. Biosalud. <https://doi.org/10.17151/biosa.2016.15.2.10>.

Barrios-Rodríguez, Y. F., Collazos-Escobar, G. A. & Gutiérrez-Guzmán, N., 2021a. ATR-FTIR for characterizing and differentiating dried and ground coffee cherry pulp of different varieties (*Coffea Arabica* L.). Engenharia Agrícola. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v41n1p70-77/2021>

Barrios-Rodríguez, Y. F., Rojas R., C. A., Triana C., J. S. Girón-Hernández, L. J. & Rodríguez-Gamir, J., 2021b. Infrared spectroscopy coupled with chemometrics in coffee post-harvest processes as complement to the sensory analysis. LWT - Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111304>

Barrios-Rodríguez, Y. F., Salas C., K. T. & Giron-Hernandez, I. J., 2020. Comparison of sensory attributes and chemical markers of the infrared spectrum between defective and non-defective Colombian coffee samples. Coffee Science. <https://doi.org/10.25186/cs.v15i.1659>