



PREVALENCIA DE HONGOS FILAMENTOSOS EN GRANOS DE CAFÉ CULTIVADO EN NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA





PREVALENCE OF FILAMENT FUNGI IN COFFEE BEANS GROWN IN NORTE DE SANTANDER, COLOMBIA

Salazar Téllez, Criss Fernando; Morales Acevedo, Walter Aldair; Rojas Contreras, Liliana; Cajiao Pedraza, Ángela M.

 Criss Fernando Salazar Téllez
criss.salazar@unipamplona.edu.co
Universidad de Pamplona, Departamento de Microbiología. Pamplona-Colombia., Colombia

 Walter Aldair Morales Acevedo
walter.morales@unipamplona.edu.co
Universidad de Pamplona, Departamento de Microbiología. Pamplona-Colombia., Colombia

 Liliana Rojas Contreras
olrojas@unipamplona.edu.co
Universidad de Pamplona, Departamento de Microbiología. Pamplona-Colombia., Colombia

 Ángela M. Cajiao Pedraza
angelacajiao@unipamplona.edu.co
Universidad de Pamplona, Departamento de Microbiología. Pamplona-Colombia., Colombia

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
ISSN: 2145-6097
ISSN-e: 2145-6453
Periodicidad: Semestral
vol. 14, núm. 1, 2023
riaa@unad.edu.co

Recepción: 22 Junio 2022
Aprobación: 26 Agosto 2022
Publicación: 17 Diciembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1303815004/>

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.5900>

Autor de correspondencia: criss.salazar@unipamplona.edu.co

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



Resumen: Contextualización: el café ha sido, por más de un siglo, el principal producto de la economía nacional y, por tanto, el que mayor incidencia ha tenido en el desarrollo socioeconómico de Colombia; es por ello, de gran relevancia, monitorear los factores bióticos y abióticos que inciden en la producción del café, especialmente en el departamento Norte de Santander. La zona cafetera del departamento está comprendida entre los 6°56'42" y 09°18'01" de latitud norte y los 72°01'13" y 73°38'25" de longitud oeste.

Vacío de conocimiento: los escasos estudios relacionados con los contaminantes fúngicos en el café [de la región de Norte de Santander] limitan dilucidar las variables y factores que contribuyen a la proliferación de estos, lo que puede afectar la calidad y aumentar el riesgo de incidencia de micotoxinas en el café de esa región.

Propósito: el objetivo del estudio fue determinar la prevalencia de los hongos aislados en la etapa de procesamiento del café (*Coffea arabica* L.) tipo cereza, producido en los diferentes municipios de Norte de Santander.

Metodología: Se realizaron muestreos en ocho municipios cafeteros del departamento Norte de Santander. A nivel microbiológico se determinaron las características fenotípicas con ayuda de claves taxonómicas. A nivel genotípico se utilizaron los iniciadores ITS4 e ITS5 del DNA ribosomal fúngico para realizar una búsqueda, mediante la herramienta BLAST, en base de datos curadas para determinar la especie. Se determinaron variables fisicoquímicas [pH, actividad de agua y porcentaje de humedad]. Se realizó un análisis de varianza [ANOVA], se aplicaron las pruebas de comparación múltiple o *post-hoc* de TUKEY y también un análisis discriminante.

Resultados y conclusiones: A partir del café tipo cereza, cultivado en los municipios cafeteros de Norte de Santander, se aislaron 60 cepas axénicas de mohos filamentosos. De acuerdo con la caracterización fenotípica, los hongos predominantes en los granos de café fueron: *Fusarium* spp. (35 %), *Penicillium* spp. (25 %), *Geotrichum* spp. (22 %) y *Aspergillus* spp. (15 %). La identificación molecular confirmó la presencia de los géneros *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., y

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

CÓMO CITAR: Salazar, C., Morales, W., Rojas, L. y Cajiao, A. (2023). Prevalencia de hongos filamentosos en granos de café cultivado en Norte de Santander, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1), 85 - 101. <https://doi.org/10.22490/21456453.5900>

Geotrichum spp. Se encontró que las variables fisicoquímicas condicionan el crecimiento y proliferación de los hongos en los granos de café; también se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas y similitudes entre los municipios muestreados, lo que permitió establecer dos grandes grupos correlacionados entre sí, de acuerdo con las variables fisicoquímicas monitoreadas.

Palabras clave: Café, caracterización fenotípica, hongos, variables fisicoquímicas.

Abstract: Contextualization: For more than a century, coffee has been the main product of the national economy, also the one that has had the greatest incidence in the socioeconomic development of Colombia; for this reason, it is relevant to check up the biotic and abiotic factors that affect coffee production, especially in the department of Norte de Santander. The coffee-growing zone of the department is located between 6°56'42" and 09°18'01" north latitude, and 72°01'13" and 73°38'25" west longitude.

Knowledge gap: There are few studies related to fungal contaminants of coffee, in the region of Norte de Santander, which restrains the elucidation of variables and factors that contribute to the proliferation of them. That can affect quality and the risk of mycotoxin incidence in the coffee of that region.

Purpose: The objective of this study was to determine the prevalence of fungi isolated during the processing stage of cherry coffee (*Coffea arabica* L.), produced in the different municipalities of the department of Norte de Santander.

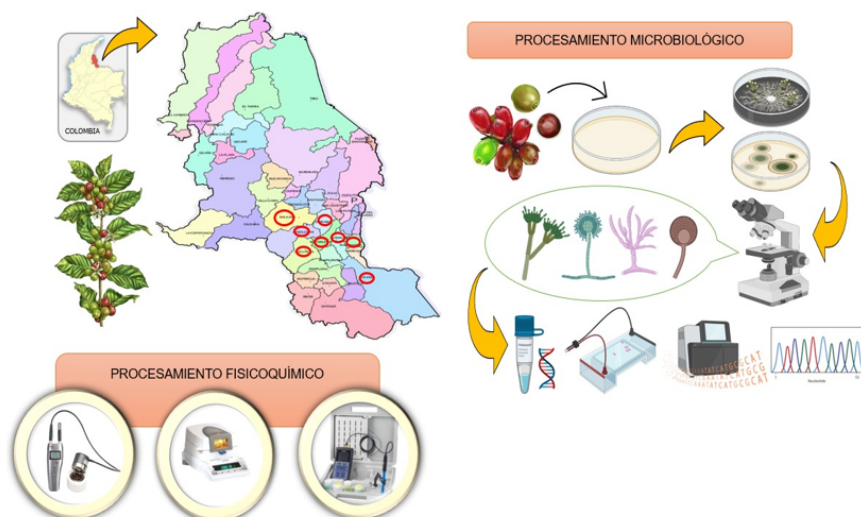
Methodology: Samples were taken in eight coffee-growing municipalities of the Department of Norte de Santander. At a microbiological level, phenotypic characteristics were determined with the help of taxonomic keys. At the genotypic level, the primers ITS4 and ITS5 of the fungal ribosomal DNA were used to perform a search, using the BLAST tool, in curated databases to determine the species. Physicochemical variables [pH, water activity and percent of moisture] were determined. An analysis of variance [ANOVA], the TUKEY multiple comparison or *post-hoc* tests, and a discriminant analysis were applied.

Results and conclusions: Sixty axenic strains of filamentous molds were isolated from cherry coffee, grown in the coffee-growing municipalities of Norte de Santander. According to phenotypic characterization, the predominant fungi in the coffee beans were: *Fusarium* spp. (35%), *Penicillium* spp. (25%), *Geotrichum* spp. (22%) and *Aspergillus* spp. (15%). Molecular identification confirmed the presence of the genera *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp. and *Geotrichum* spp.

It was found that physicochemical variables determine the growth and proliferation of fungi in coffee beans; also, it was established that there are statistically significant differences and similarities in the municipalities sampled, that lead to establish two large groups correlated with each other, according to the physicochemical variables monitored.

Keywords: Coffee, phenotypic characterization, fungi, physicochemical variables.

RESUMEN GRÁFICO



autores.

1. INTRODUCCIÓN

El café [*Coffea arabica* L.] representa, a nivel mundial, el segundo producto básico de mayor importancia económica. En Colombia, sigue siendo el protagonista de la economía; sin embargo, los granos de café han sido susceptibles a contaminantes fúngicos (Garrido-Ramírez et al., 2018) que afectan la producción, especialmente en el departamento de Norte de Santander. La zona cafetera de Norte de Santander se ubica sobre la vertiente de la Cordillera Oriental, el departamento está comprendido por 40 municipios, de los cuales 36 registran producción cafetera, con un total de 30.670 hectáreas de cultivos de café. El 51 % del área está cultivada con café tradicional, y más del 90 % del total del área cafetera del departamento tiene sombrío.

En el Norte de Santander, la población cafetera está conformada por pequeños productores cuyas fincas tienen un área promedio cultivadas con café de 0.5 a 3.0 hectáreas. La caficultura de la región está ubicada en la zona óptima para café entre los 1 200 m s. n. m. y los 1 800 m s. n. m. (Giraldo-Jaramillo et al., 2020). La precipitación oscila entre 1 579 mm a 2 820 mm al año, con temperaturas que varían entre 14,8 °C y 31,1 °C; con temperatura promedio de 19,6 °C. La zona cafetera presenta en promedio 1,33 meses secos durante el año, encontrándose zonas secas con períodos hasta de 6 meses (Villegas et al., 2015). Estos indicadores bioclimáticos [aunados a los sistemas de producción], las características químicas del grano de café y las propiedades del suelo de cultivo propician el desarrollo de hongos filamentosos. Sin embargo, el café tiene algunas ventajas, en comparación con otros cultivos básicos, como lo afirma la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017):

NOTAS DE AUTOR

criss.salazar@unipamplona.edu.co

Quizás la más importante es que el café, cuando está almacenado, no es muy vulnerable al ataque de plagas. Las aves y los roedores no consumen las semillas y sólo un insecto importante, la broca del café, *Araecerus fasciculatus*, ataca el producto seco. En efecto, es probable que la presencia de carbono en las semillas del café, en formas refráctiles como el carbohidrato polimano, así como celulosa y pectina, unidas al elevado contenido fenólico del grano, limiten la variedad y alcance de deterioro fúngico. (pp 4)

Los granos de café están sujetos a la contaminación por hongos (Cajiao et al., 2016) durante todas las etapas de desarrollo y procesamiento. La variedad de hongos en el fruto de café depende de diversos factores como la variedad del café, región geográfica, clima, y los métodos de procesamiento (Kuntawee and Akarapisan, 2015; Lu et al., 2022).

Sin embargo, el café puede sufrir deterioro fúngico y bacteriano, debido a que el café se somete casi universalmente a torrefacción a elevadas temperaturas antes del consumo, las bacterias que contaminan los alimentos representan un peligro insignificante para la salud pública, así como las enterotoxinas polipéptidas que a veces se producen y carecen de suficiente estabilidad ante el calor para persistir en el producto tostado. No obstante, las toxinas producidas por los hongos sobreviven al tostado y constituyen un posible peligro. (FAO, 2017, pp 4)

Los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* son los que tienen mayor prevalencia en los granos de café (Garrido-Ramírez et al., 2018), produciendo una variedad de metabolitos secundarios tóxicos como la ocratoxina A [OTA] y, en menor medida, la aflatoxina, producidas en el café por el género *Aspergillus* (Oliveira et al., 2019; Alves da Silva et al., 2020), estas toxinas pueden presentarse en los granos de café crudos y tostados. Así mismo, otras toxinas como la patulina, fumonisinas, zearalenona y tricotecenos como nivalenol y desoxinivalenol también pueden estar presentes en los granos de café (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). No obstante, el desarrollo de algunos hongos se puede limitar aplicando ciertas prácticas que propenden conservar las propiedades organolépticas y la calidad del café: la gestión de la humedad desde el principio del secado en adelante y “facilitar la producción de microorganismos competitivos además de limitar las condiciones de desarrollo que no perjudican la calidad del café, antes de este punto” (FAO, 2017, p. 4).

El café como un producto agrícola puede contaminarse y, por tanto, perder su inocuidad y calidad en los procesos realizados en la finca, durante el transporte nacional e internacional y también en los procesos industriales. Estas pérdidas son influenciadas por condiciones climáticas, cuidados agronómicos, variedad sembrada y procesos fitosanitarios del cultivo, así como por los controles efectuados en los procesos de cosecha y postcosecha realizados por los caficultores (Puerta, 2006). Teniendo en cuenta lo descrito, se han implementado las Buenas Prácticas Agrícolas [BPA] como una medida para atenuar esta situación.

En Colombia, el Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente, y el Ministerio de Salud y Protección Social son los responsables de establecer los requisitos para dar cumplimiento a las Buenas Prácticas Agrícolas [BPA]. Para las actividades primarias de producción [relacionadas con preparación, mantenimiento del cultivo y recolección] se deben tener en cuenta requisitos y principios de higiene e inocuidad que incluyen: manejo del suelo, selección de variedades, calidad y sanidad del material de propagación, fertilizaciones de acuerdo con necesidades del cultivo, rotación de cultivos, uso adecuado del agua, manejo integrado de plagas y enfermedades, manipulación, empaque, transporte y almacenamiento del producto (Giraldo-Quintero et al., 2017). Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue establecer la prevalencia de hongos filamentosos presentes en la etapa de procesamiento del café [*Coffea arabica* L.] producido en los diferentes municipios del departamento Norte de Santander (Colombia).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras

Se recolectaron 44 muestras de café en la etapa de producción denominada cereza, obtenidas de los municipios de Norte de Santander [Arboledas, Bochalema, Chinácota, Cucutilla, Ragonvalia, Durania,

Toledo y Salazar] como se muestra en la Figura 1. El departamento Norte de Santander está situado en el nororiente de la región andina de Colombia; localizado entre los 06°56'42" y 09°18'01" de latitud norte y los 72°01'13" y 73°38'25" de longitud oeste, cuenta con una superficie de 22367 km².



FIGURA 1.
Municipios muestreados del Norte de Santander.
autores.

Los granos de café se sometieron a procedimientos microbiológicos y fisicoquímicos, como se aprecia en el resumen gráfico.

Aislamiento de hongosfilamentosos

El aislamiento de los hongos filamentosos asociados a los granos de café se realizó mediante la siembra directa de granos de café [cuatro granos] en Agar Papa Dextrosa [PDA] con ácido láctico [2 % v/v], los cuales fueron incubados a una temperatura de 25 °C por siete días. Posteriormente, se realizaron nuevos repiques con el objetivo de aislar todas las morfoespecies presentadas en cada muestra.

Identificación fenotípica de los hongos aislados

Los aislamientos fúngicos obtenidos se caracterizaron macroscópica y microscópicamente usando los siguientes medios de cultivo: Agar Extracto de Malta (MEA) (Vieille et al., 2018), Agar Czapek - Extracto de Levadura [CYA] (Vieille et al., 2018) y Carnation Leaf-Piece Agar [CLA] (Peluola et al., 2020). Las caracterizaciones fueron soportadas mediante las claves taxonómicas propuestas por Pitt and Hocking (2009), Leslie et al. (2006) y Barnett and Hunter (1998).

Identificación molecular

Del total de las cepas aisladas, cuatro de ellas se seleccionaron para su identificación molecular, la cual fue llevada a cabo teniendo en cuenta los iniciadores ITS4 e ITS5 del DNA ribosomal fúngico; el análisis bioinformático se realizó mediante la herramienta BLAST del National Center for Biotechnology Information [NCBI] y la base de datos «UNITE». Además, se hizo un análisis taxonómico de la secuencia mediante la herramienta «Classifier», alojada en el sitio Web «Ribosomal Database Project» [RDP].

Variables fisicoquímicas

Los granos de café se sometieron a la determinación fisicoquímica de estas variables: actividad de agua [Aw], con el equipo HygroPalm HP23-AWA marca Rotronic; pH, usando un pH-metro marca WTW Multi 3430; y porcentaje de humedad [%], mediante el uso de balanza de humedad marca Precisa modelo MX 60.

Análisis estadístico

Las 44 muestras de café cereza se recolectaron de estos municipios de Norte de Santander: Arboledas [5], Bochalema [5], Chinácota [5], Cucutilla [5], Ragonvalia [6], Durania [6], Toledo [6] y Salazar [6]. Para el estudio de cada muestra se consideraron tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza, [ANOVA] a un nivel de significancia del 0,05, con el software STATGRAPHICS Centurión XV. Luego, al encontrar diferencias significativas estadísticamente se aplicaron las pruebas de comparación múltiple o post-hoc de TUKEY. Finalmente, se aplicó el análisis discriminante con el fin de obtener los coeficientes para las variables fisicoquímicas: actividad de agua [Aw], pH y porcentaje [%] de humedad de los granos de café cereza, que se utilizarán para la clasificación de nuevos casos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

AISLAMIENTO DE HONGOS FILAMENTOSOS E IDENTIFICACIÓN FENOTÍPICA

De las 44 muestras de café, recolectadas en ocho (8) municipios de Norte de Santander, se obtuvieron 60 aislamientos, los cuales se sometieron a caracterización fenotípica. En la Figura 2 se presentan las características fenotípicas de los aislamientos fúngicos más prevalentes, a partir de los granos de café recolectados en los diferentes municipios de Norte de Santander.

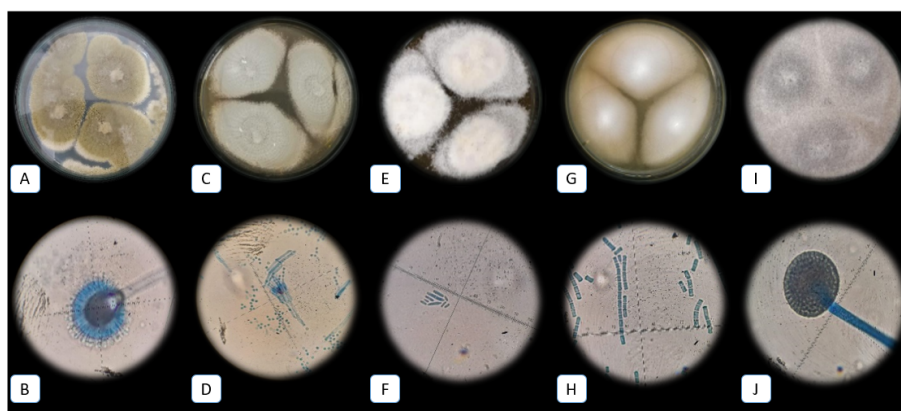


FIGURA 2.

Características fenotípicas de los hongos aislados de los granos de café. *Aspergillus* spp. en CYA (A), vesícula y conidias características de *Aspergillus* spp. a 100x (B), *Penicillium* spp. en MEA (C), métula, fálide y conidias características de *Penicillium* spp. a 40x (D), *Fusarium* spp. en CLA (E) fálides y macroconidias de *Fusarium* spp. características a 40x (F), *Geotrichum* spp. en MEA (G), arthroconidias características de *Geotrichum* spp. a 100x (H), *Mucor* spp. en MEA (I) y su esporangio y esporangiosporas características a 100x (J).
autores.

Una vez realizada la caracterización macroscópica y microscópica de los aislamientos, se estableció la presencia de cada uno de los géneros en los municipios muestreados, tal y como se aprecia en la Figura 3, destacándose la prevalencia de los siguientes géneros fúngicos: *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Geotrichum* spp. y *Mucor* spp.

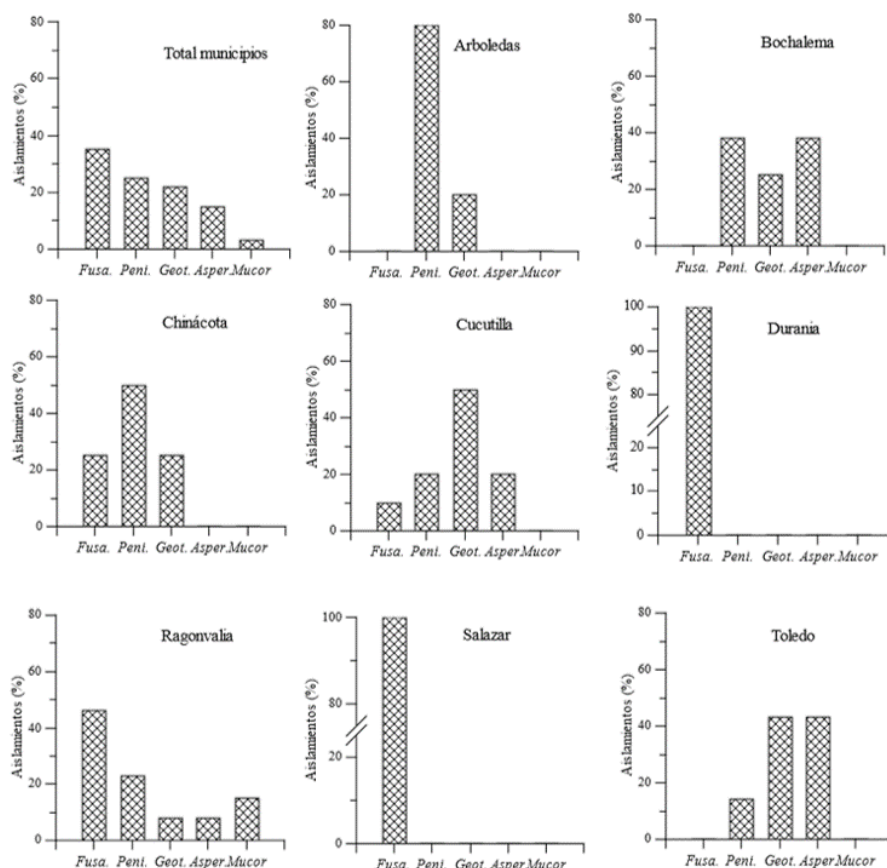


FIGURA 3.

Prevalencia de géneros fúngicos presentes en los granos de café de los municipios de Norte de Santander. *Fusa.*: *Fusarium spp.* *Peni.*: *Penicillium spp.* *Geot.*: *Geotrichum spp.* *Asper.*: *Aspergillus spp.* *Mucor.*: *Mucor spp.* autores.

Los municipios de Bochalema, Chinácota, Durania, Ragonvalia y Toledo, ubicados en la zona oriental del departamento Norte de Santander y debido a la interrelación de las variables fisicoquímicas establecidas en los granos de café, evidenciaron un mayor grupo de géneros fúngicos. Los granos procedentes del municipio de Ragonvalia mostraron la presencia de los cinco géneros fúngicos determinados; los obtenidos de los municipios de Bochalema, Chinácota y Toledo presentaron tres géneros diferentes. Por su lado, los municipios de Salazar y Arboledas mostraron una interrelación homogénea entre las variables fisicoquímicas y un menor número de microbiota. Los granos de café del municipio de Salazar sólo evidenciaron presencia de *Fusarium spp.* y en los de Arboledas se exhibieron los géneros *Penicillium spp.* y *Geotrichum spp.*

Los géneros *Fusarium spp.* (35 %), *Penicillium spp.* (25 %), *Geotrichum spp.* (22 %), *Aspergillus spp.* (15 %) y *Mucor spp.* (3 %) se destacan por ser los más frecuentes. Estos resultados son similares a los obtenidos en estudios de biodiversidad de hongos filamentosos en granos de café reportados por (Cajiao et al., 2016; Casas-Junco et al., 2017; Alves da Silva et al., 2020; López-Lima et al., 2020 Lu et al., 2022). De igual manera, se relacionan con los resultados reportados por Garrido-Ramírez et al. (2018), quienes identificaron 25 géneros y especies de hongos, siendo *Aspergillus spp.* el género prevalente, seguido de *Penicillium spp.*, *Fusarium spp.*, *Curvularia spp.*, *Rhizopus spp.*, *Helminthosporium spp.* y *Pestalotia spp.*

Identificación molecular

A nivel molecular se lograron identificar los géneros *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.*, y *Penicillium spp.*, hongos que revisten importancia porque pueden sintetizar micotoxinas en los granos de café (Vieira et al.,

2015; Huch et al., 2015). También se destaca la presencia de *Geotrichum candidum*, considerado un hongo filamentoso levaduriforme (Eliskases-Lechner et al., 2022), causante de la podredumbre agria de las frutas con hueso (Henríquez et al., 2021). *G. candidum* está restringido a hábitats con alta actividad de agua, como suelos, ensilados, plantas, frutas (Hernández et al., 2018), y no se conoce que produzca compuestos tóxicos; las infecciones por este patógeno se originan principalmente a través de las heridas en la superficie de los frutos durante la recolección o en el manejo postcosecha (Liu et al., 2010).

Es importante resaltar que las levaduras presentes en el café realizan procesos fermentativos. Lee et al. (2017) encontraron una gran variedad de levaduras en granos de café, pero ellos manifiestan que la selección natural da como resultado el predominio de un número restringido de especies de estas; lo anterior depende de su capacidad para hacer frente a variaciones de pH, entre otros parámetros. Por otro lado, las transformaciones bioquímicas que son necesarias para una fermentación normal en el café pueden ser realizadas por muchas especies diferentes de levaduras, siempre que tengan la capacidad fisiológica adecuada (Haile and Kang, 2019). En el procesamiento seco del café, las levaduras coexisten con bacterias y mohos; en el procesamiento húmedo del café, determinados grupos microbianos pueden dominar en los tanques de fermentación reutilizados y pueden ser bacterias o levaduras (Huch et al., 2015; Haile and Kang, 2019).

También se identificó la especie *Aspergillus flavus*, de gran relevancia por tener la capacidad de producir aflatoxinas [metabolitos secundarios que se han detectado como contaminantes naturales en un gran número de productos agrícolas]. Se han encontrado aflatoxinas en semillas oleaginosas, aceites vegetales, frutos secos, en el café y el cacao, cereales y derivados (Echodu et al., 2019; Liverpool-Tasie et al., 2019) y pueden tener un efecto negativo en la salud de los organismos vivos. Específicamente, la aflatoxina B1 es considerada por la International Agency For Research on Cancer (IARC, 2012), como cancerígeno en animales de experimentación, también se ha clasificado como cancerígeno humano (grupo I), y es la de mayor importancia en salud pública (Echodu et al., 2019; McCullough et al., 2019).

Variables fisicoquímicas

Con relación a las variables fisicoquímicas, en la Tabla 2 se presentan los resultados de los grupos homogéneos con las pruebas de múltiples rangos, a partir de un análisis de conglomerados.

TABLA 1.
Actividad del agua, pH y contenido de humedad de los granos de café según su procedencia.

PROCEDENCIA	VARIABLES FISICOQUÍMICAS		
	Aw	pH	% HUMEDAD
Arboledas	0,91 ± 0,01 a	4,7 ± 0,62 a	72,9 ± 0,96 b c d
Bochalema	0,94 ± 0,01 b c	8,9 ± 0,28 c d	65,6 ± 2,54 a b
Chinácota	0,91 ± 0,01 a	8,7 ± 0,41 c d	71,8 ± 2,03 a b c d
Cucutilla	0,94 ± 0,02 b	4,3 ± 0,33 a	68,5 ± 1,47 a b c
Durania	0,96 ± 0,0046 c d	9,3 ± 0,10 d	81,9 ± 6,79 d e
Ragonvalia	0,92 ± 0,02 a	7,8 ± 1,42 c	76,5 ± 6,08 c d e
Salazar	0,95 ± 0,0084 b c d	6,7 ± 1,50 b	72,7 ± 7,29 b c d
Toledo	0,97 ± 0,0077 d	8,9 ± 0,35 c d	65,2 ± 4,93 a

autores.

Grupos homogéneos de las pruebas con múltiples rangos: medias y desviaciones estándar de las variables fisicoquímicas estudiadas.

Teniendo los grupos homogéneos de la prueba de múltiples rangos, el método Tukey permite detectar diferencias entre dos medias muestrales estrechamente relacionadas, para considerar que dos tratamientos son estadísticamente diferentes. Según la variable de actividad de agua [Aw], el superíndice [a] indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias muestrales de Arboledas y Chinácota, con un nivel del 0,5; pero sí entre Arboledas y Cucutilla. Este mismo análisis se aplica para cada uno de

los superíndices en cada variable fisicoquímica. Dichos resultados permiten inferir la presencia de diferentes especies de mohos filamentosos en el café cereza de los municipios muestreados.

En la Figura 4 se muestra la discriminación de las variables fisicoquímicas de las muestras de café cereza procedentes de los municipios estudiados, resaltando dos grandes grupos asociados a dichas variables. En el grupo A se infiere que los granos de café procedentes de Arboledas, Cucutilla y Salazar presentan características fisicoquímicas con mayor dispersión. Por otro lado, el grupo B, conformado por los municipios restantes, revela una aproximación geográfica, lo que evidencia características geoclimáticas que favorecen la proliferación de los hongos aislados.

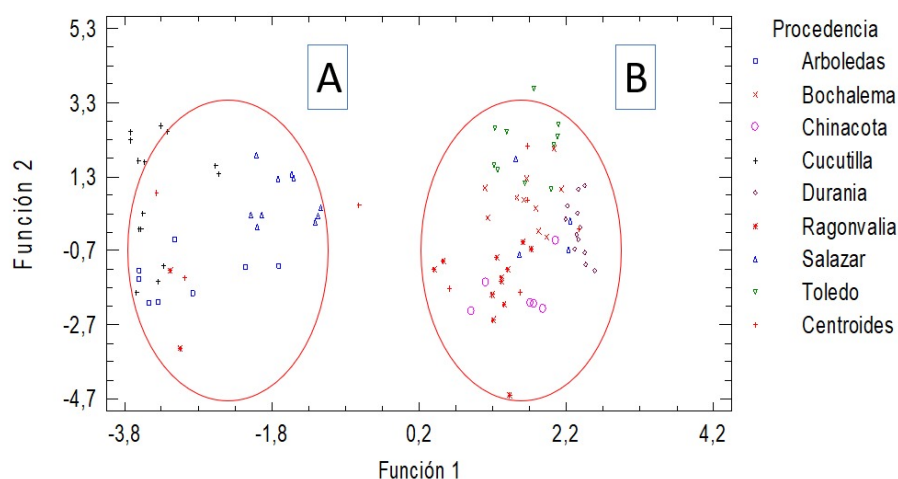


FIGURA 4.
Gráfica de funciones discriminantes de las variables fisicoquímicas (Aw, pH, %H) de los granos de café cereza. autores.

Atendiendo a la Figura 4 y a los coeficientes de la función de clasificación para procedencia, se pueden utilizar las funciones 1 [$0,011289 \cdot Aw + 0,071225 \cdot Humedad + 0,991358 \cdot pH$] y 2 [$0,88468 \cdot Aw - 0,583126 \cdot Humedad - 0,116592 \cdot pH$], para determinar la posible procedencia de una muestra en cuestión, si se reemplazan los datos de las variables fisicoquímicas. Es decir, se obtienen dos datos, uno de cada función, y con esos valores se identifica la posible procedencia de la muestra.

4. CONCLUSIONES

Se aislaron y determinaron 60 cepas axénicas de mohos filamentosos, gracias a la caracterización macroscópica y microscópica y al uso de claves taxonómicas. Tales aislamientos correspondieron a 5 géneros de *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Geotrichum* spp., *Mucor* spp. y *Penicillium* spp. Los hongos que presentaron mayor prevalencia en los granos de café en los diferentes municipios fueron: *Fusarium* spp. [35 %], *Penicillium* spp. [25 %], *Geotrichum* spp. [22 %] y *Aspergillus* spp. [15 %]. La identificación molecular permitió confirmar la identidad de cuatro géneros determinados por la caracterización fenotípica, correspondiendo a los géneros *Aspergillus* spp., *Fusarium* spp., *Geotrichum* spp. y *Penicillium* spp. Sin embargo, dos de estos aislamientos pudieron identificarse a nivel de especie, como lo son *Aspergillus flavus* y *Geotrichum candidum*.

Las variables fisicoquímicas [pH, actividad de agua y porcentaje de humedad] condicionan el crecimiento y proliferación de los hongos en el grano de café, dicho comportamiento juega papel importante en las condiciones medioambientales requeridas por estos hongos, ya que este tipo de café contiene altos porcentajes de humedad y valores elevados de Aw. Además, los valores de pH son óptimos para el crecimiento de hongos, lo que hace que el café tipo cereza sea más susceptible a la colonización de mohos, tanto de los

toxigénicos como de los que no tienen este potencial. Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados obtenidos permiten conocer la diversidad fúngica presente en los granos de café cereza y establecer relaciones entre esta y el potencial micotoxigénico de las cepas aisladas, que depende de factores geográficos, climáticos y del procesamiento del café cereza en Norte de Santander.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad de Pamplona, a la Vicerrectoría de Investigaciones y al Grupo de Investigación en Microbiología y Biotecnología [GIMBIO].

LITERATURA CITADA

- Alves da Silva, S., Fonseca Alvarenga Pereira, R., Lira De Azevedo, N., Micotti da Glória, E., Chalfoun, S. M. and Batista, L. R. (2020). Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. *Food Control*, 113, 107204. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107204>
- Barnett, H. and Hunter, B. (1998). *Illustrated genera of imperfect fungi*. (4. ed.). American Phytopathological Society.
- Cajiao, A., Rojas, L., Ayala, C. y Sánchez, E. (2016). Aislamiento de hongos asociados al grano de café provenientes de zonas productoras en Norte de Santander- Colombia. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 14(1), 50-58. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2016.2125>
- Casas-Junco, P. P., Ragazzo-Sánchez, J. A., Ascencio-Valle, F. J., and Calderón-Santoyo, M. (2017). Determination of potentially mycotoxigenic fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) from Nayarit. *Food Science and Biotechnology*, 27(3), 891–898. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0288-7>
- Echodu, R., Maxwell, G., Moriku, J., Ovuga, E. and Haesaert, G. (2019). Prevalence of Aflatoxin, Ochratoxin and Deoxynivalenol in cereal grains in northern Uganda: implication for food safety and health. *Toxicology Reports*, 6, 1012-1017. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.09.002>
- Eliskases-Lechner, F., Guéguen M. and Panoff J. M. (2022) *Geotrichum candidum*. En P. L. H. McSweeney y J. P. McNamara. (Eds.). *Encyclopedia of Dairy Sciences* (Third 3rd Eed.ition), (pp. 561-568). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22976-4>
- Garrido-Ramírez, E. R., Hernández-Gómez, E., Espinosa-Paz, N., Camas-Gómez, R., Quiroga-Madrigal, R. R., Rincón-Espinosa, M. P. and Farrera-Ruiz, L. D. (2018). Identification of fungi and mycotoxins associated to coffee beans (*coffea* l.) in Chiapas, Mexico. Identificación de hongos y micotoxinas asociadas a granos de café (*Coffea* L.) en Chiapas, México. *Agro productividad*, 11(12), 57-64. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i12.1307>
- Giraldo-Jaramillo, M., Montoya, E. C., Sarmiento, N., Quiroga, A., Espinosa, J. C., García, J. C., Duque, H. y Benavides, P. (2020). Vulnerabilidad de la caficultura del Norte de Santander a la broca del café en diferentes eventos climáticos. Gerencia Técnica /Programa de Investigación Científica Avances técnicos, 5262, 1-8. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/avances_tecnicos/article/download/113/73/130
- Giraldo-Quintero, J. J., Niño-Méndez, C. D. and Vianchá-Sánchez, Z. (2017). Analysis of Good Practices in the Coffee Milling Process: Study Experience in the Municipality of Viotá (Cundinamarca, Colombia) Análisis de buenas prácticas en el proceso de beneficio del café: experiencia de estudio en el municipio de Viotá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería Solidaria*, 13(22), 121–136. <https://doi.org/10.16925/in.v13i22.1839>
- Haile, M. and Kang, W. H. (2019). The Role of Microbes in Coffee Fermentation and Their Impact on Coffee Quality. *Journal of Food Quality*, 2019, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>
- Hernández, A., Pérez-Nevado, F., Ruiz-Moyano, S., Serradilla, M. J., Villalobos, M. C., Martín, A. and Córdoba, M. G. (2018). Spoilage yeasts: What are the sources of contamination of foods and beverages? *International Journal of Food Microbiology*, 286, 98–110. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.031>

- Huch, M. and Franz, C. M. A. P. (2015). Coffee: Fermentation and microbiota. En W. Holzapfel. (Ed.). *Advances in Fermented Foods and Beverages*, (pp. 501–513). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-015-6.00021-9>
- International Agency For Research On Cancer. (2012). Chemical Agents and Related Occupations: Review of Human Carcinogens - Aflatoxins. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, 100, 225-248. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304416/>
- Kuntawee, S. and Akarapisan, A. (2015). Isolation and identification of *Aspergillus* species producing Ochratoxin A in Arabica coffee beans. *Journal of Agricultural Technology*, 11(5), 1235--1242. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/IJAT/10972408.pdf>
- Lee, L. W., Tay, G. Y., Cheong, M. W., Curran, P., Yu, B. and Liu, S. Q. (2017). Modulation of the volatile and non-volatile profiles of coffee fermented with *Yarrowia lipolytica*: I. Green coffee. *LWT – Food Science and Technology*, 77, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.047>
- Leslie, J.F. and Summerell, B.A. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, Iowa, USA. https://www.researchgate.net/publication/321385629_The_Fusarium_Laboratory_Manual
- Liu, X., Fang, W., Liu, L., Yu, T., Lou, B. and Zheng, X. (2010). Biological control of postharvest sour rot of citrus by two antagonistic yeasts. *Letters in Applied Microbiology*, 51(1), 30-35. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02851.x>
- Liverpool-Tasie, L. S. O., Turna, N. S., Ademola, O., Obadina, A. and Wu, F. (2019). The occurrence and co-occurrence of aflatoxin and fumonisin along the maize value chain in southwest Nigeria. *Food and Chemical Toxicology*, 129, 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.05.008>
- López-Lima, D., Carrión, G., Sánchez-Nava, P., Desgarenes, D. and Villain, L. (2020). Fungal diversity and *Fusarium oxysporum* pathogenicity associated with coffee corky-root disease in Mexico. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(1), 276–292. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/RFCa/article/view/3075>
- Lu, L., Tibpromma, S., Karunarathna, S. C., Jayawardena, R. S., Lumyong, S., Xu, J. and Hyde, K. (2022). Comprehensive Review of Fungi on Coffee. *Pathogens*, 11(4), 411. <https://doi.org/10.3390/pathogens11040411>
- McCullough, A. K. and Lloyd, R. S. (2019). Mechanisms underlying aflatoxin-associated mutagenesis – Implications in carcinogenesis. *DNA Repair*, 77, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.dnarep.2019.03.004>
- Oliveira, G., Evangelista, S., Passamani, F. R., Santiago, W. D., Cardoso, M. G, and Batista, L. R. (2019). Influence of temperature and water activity on Ochratoxin A production by *Aspergillus* strain in coffee south of Minas Gerais/Brazil. *LWT – Food Science and Technology*, 102, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.032>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2017). *Directrices para prevenir la formación del moho en el café.: Introducción*. Editorial FAO, <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/06/Guidelines-Final-S.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2018, 9 de mayo). *Micotoxinas*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mycotoxins>
- Peluola, C., Hoesel, S. and Crutcher, F. (2020). Chlorine gas is an effective alternative to sterilize carnation leaves for *Fusarium* spp. identification. *Journal of Microbiological Methods*, 170, 105841. <https://doi.org/10.1016/j.jmimet.2020.105841>
- Pitt, J. and Hocking, A. (2009). *Fungi and food spoilage*. Springer. https://books.google.com.co/books?id=-B1s6GhOlzkC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false <https://doi.org/10.1007/978-0-387-92207-2>
- Puerta, G. I. (2006). *Buenas prácticas agrícolas para el café. Avances Técnicos*, 349, 1-12). https://www.researchgate.net/publication/266173195_Buenas_Practicas_agricolas_Para_el_cafe
- Vieille, O.P., Cruz, C.R. y Piontelli, L.E. (2018). Aislamiento de *Aspergillus tritici* desde ambiente interno (Chile): alcances ecológicos y clínicos. *Revista Argentina de Microbiología*, 51(1), 66-70. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.11.007>

Vieira, T., Cunha, S. and Casal, S. (2015). Mycotoxins in Coffee. En V. R. Preedy. (Ed.). *Coffee in Health and Disease Prevention*, (pp. 225–233). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00025-5>

Villegas, HA. M., Pabón, UJ. P., Tabares, AC., Santos, RM., Quiroga, A., Pérez, HC., Posada, SH., Yepes, K., Alarcón, R. y Samper, L. F. (2015). Caracterización de la Calidad del Café de Norte de Santander. *Cenicafé*. https://www.researchgate.net/publication/311324606_CHARACTERIZACION_DE_LA_CALIDAD_DEL_CAFE_DE_NORTE_DE_SANTANDER

ENLACE ALTERNATIVO

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/5900> (html)

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/5900/5954> (pdf)