

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



MICROHONGOS DEL AIRE PRESENTES EN COLECCIONES BIOLÓGICAS
DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE EL SALVADOR
Y UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

Morales Valencia, Irma Elizabeth	MV18008
Ortíz Ticas, Estephany Sofia	OR18013

PARA OPTAR AL GRADO DE:

Licenciatura en Biología

Ciudad Universitaria, San Salvador, 28 de noviembre de 2025

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



MICROHONGOS DEL AIRE PRESENTES EN COLECCIONES BIOLÓGICAS
DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE EL SALVADOR
Y UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:

Morales Valencia, Irma Elizabeth	MV18008
Ortíz Ticas, Estephany Sofia	OR18013

PARA OPTAR AL GRADO DE:

Licenciatura en Biología

DOCENTE ASESOR:

M.Sc. Rhina Esmeralda Esquivel Vásquez

Ciudad Universitaria, San Salvador, 28 de noviembre de 2025

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD

Universidad de El Salvador

Rector

M.Sc. Juan Rosa Quintanilla

Vicerrectora Académica

Dra. Evelyn Beatriz Farfán

Vicerrector Administrativo

M.Sc. Roger Armando Arias

Secretario General

Lic. Pedro Rosalío Escobar Castaneda

Fiscal

Lic. Carlos Amílcar Serrano Rivera

Facultad de Ciencias Naturales y Matemática

Decana

M.Sc. Ángela Gudelia Portillo de Pérez

Vice Decano

Dr. José Nerys Funes Torres

Secretario

Lic. Carlos Antonio Quintanilla Aparicio

Director Interino de la Escuela de Biología

M.Sc. Miguel Ángel Moreno Mendoza

Ciudad Universitaria, San Salvador, 28 de noviembre de 2025

DEDICATORIA

“A Dios Todopoderoso, por su infinita misericordia y bondad, por ser mi guía en cada paso, por darme la sabiduría para superar los desafíos y las fuerzas necesarias para llegar hasta aquí. Gracias por iluminar mi camino, por sostenerme en los momentos difíciles y por permitirme culminar esta etapa de mi vida con fe y gratitud.

A mi querido abuelo, Elías Valencia, quien ahora descansa en paz y no pudo ver este logro, pero cuyo amor, comprensión y apoyo estuvieron siempre conmigo. Gracias por enseñarme a no rendirme, por ser un ejemplo de esfuerzo y valentía, y por animarme en cada paso del camino.

A mi madre, Yeni Valencia, por su amor incondicional y su apoyo constante. Gracias por acompañarme en este camino de esfuerzo y sacrificio, siempre creyendo en mí. Tu fortaleza, dedicación y tus palabras de aliento me han motivado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi abuela, Pedrina Aguilar, por su educación, su amor y su sabiduría. Gracias por ser un pilar fundamental en mi vida, por enseñarme con su ejemplo el verdadero valor del esfuerzo y la gratitud por cada oportunidad. Tus consejos y enseñanzas han sido una luz en mi camino, brindándome la fortaleza para superar cada obstáculo.

A mis padrinos, Jesica Ángel y Nelson Acosta, por estar a mi lado en los momentos más importantes, brindándome su apoyo tanto económico como afectivo. Gracias por sus consejos, por motivarme a seguir adelante en este proceso hasta llegar a la meta y por recordarme siempre que cada esfuerzo vale la pena. Sus palabras y su confianza en mí han sido un impulso constante para nunca rendirme.

A mis hermanas, Iris Valencia y mi hermana espiritual, Andrea Acosta, por su cariño incondicional, su apoyo moral y afectivo, y por estar siempre conmigo. Gracias por compartir mis alegrías, alentarme en los momentos difíciles y ser un refugio en tiempos de incertidumbre. Su compañía ha hecho de este camino un recorrido más llevadero y significativo.

A mi amiga y compañera de tesis, Sofía Ortiz, por su apoyo incondicional, su comprensión y sus ánimos en todo momento. Gracias por compartir conmigo este viaje lleno de retos, desvelos y aprendizajes. Tu compañía ha hecho que cada desafío sea más liviano y que cada logro tenga un significado aún mayor. Valoro profundamente tu amistad, tu paciencia y tu entusiasmo, que me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

A mis familiares, profesores y amigos, por sus palabras de aliento, su ánimo y su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Cada consejo, enseñanza y muestra de confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

A todos ustedes, gracias de corazón.”

Irma Morales

DEDICATORIA

“A Dios, mi padre celestial, que me ha guiado durante toda la vida, y me ha dado todo lo necesario para culminar mis estudios académicos. Gracias por sus infinitas bendiciones y por responder a cada oración cuando más lo he necesitado.

A mis amados padres, Alexander Ortiz y Emma Ramírez, que me dieron la vida y me criaron con amor incondicional y muchos valores. Les agradezco permitirme los estudios y darme su apoyo en todo momento con todo lo que he necesitado.

A mis tíos y prima, Erika Ortiz, Benedicto Álvarez y Priscilla Álvarez, quiénes me recibieron con los brazos abiertos en su hogar cuando la situación lo ameritó, y por apoyarme económicamente y moralmente durante los últimos años de la carrera.

A mis abuelos, Amilcar Ortiz y Leticia Moscote, que también influenciaron en mi crianza, me han aconsejado y siempre me han motivado a seguir adelante y tener éxito.

A mi hermano, Christian Ortiz, por siempre cuidarme y apoyarme, y que aún en la distancia sé que siempre puedo contar con él.

A mi tía abuela, tía Juanita, que está en el cielo desde hace años, pero fue parte de mi infancia y siempre estaré agradecida por su amor.

Al amor de mi vida, Kevin Ticas, que me ha demostrado su amor y su apoyo durante estos años, me ha acompañado y ayudado en todo momento. Gracias por ser parte de mi vida y motivarme a cumplir todas mis metas.

A mi amiga, Irma Morales, que desde que iniciamos la carrera, Dios nos juntó y nos permitió coincidir hasta el final siendo compañeras en este proyecto de tesis. Aprecio mucho todo su apoyo y su compañía tanto en los buenos como en los malos momentos. Doy gracias por su bonita amistad, en la que nos hemos complementado de la mejor manera.

A todos mis maestros, que me han compartido su conocimiento, me motivaron a seguir aprendiendo cada vez más y me transmitieron el amor a la ciencia. Siempre estaré agradecida por su paciencia y apoyo.

A mis mejores amigos, en especial a Adriana Carranza, que su amistad ha sido clave durante mi vida, y sé que puedo contar en todo momento con su apoyo. Agradezco cada plática y salida, que me han ayudado a desestresarme y sobrellevar la carga académica.

Y, por último, pero no menos importante, a Flamy, una perrita hermosa que ha conectado con mi alma, siempre me acompaña en todo momento y me da paz cuando solo necesito un abrazo y calma”.

Sofia Ortiz

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos la oportunidad de realizar esta investigación, por brindarnos sabiduría, fortaleza y los recursos necesarios para llevarla a cabo. Agradecemos también por haber puesto en nuestro camino a las personas adecuadas, quienes nos han acompañado y apoyado en esta etapa.

A nuestra asesora, M.Sc. Rhina Esmeralda Esquivel Vásquez, por su invaluable apoyo a lo largo de todo este proceso. Agradecemos no solo los materiales de laboratorio que nos proporcionó para llevar a cabo la investigación, sino también su guía en la identificación de los microhongos y sus observaciones precisas que enriquecieron nuestro trabajo. Más allá de lo académico, valoramos profundamente su paciencia, confianza y el aprecio que siempre nos ha demostrado. Desde el primer día de nuestra carrera, nos transmitió su pasión por la biología y la micología, inspirándonos a emprender este camino y a hacer de esta tesis una realidad.

A los miembros del jurado calificador, Lic. Jairo Galileo Marroquín Elías y Lic. Ernesto Américo Hidalgo Castellanos, por aceptar evaluarnos, por su tiempo, dedicación y valiosas recomendaciones, que fortalecieron este trabajo de grado y contribuyeron a su culminación exitosa.

A las maestras, M. Ed. Enma Patricia Molina Díaz y MEVA. Jenny Elizabeth Menjívar Cruz, por tomarse el tiempo y darnos los consejos pertinentes para el éxito del proyecto de trabajo de grado.

Al Lic. Carlos Alberto Elías Ortiz, docente de la Escuela de Biología, por su apoyo y sugerencias, que permitieron que los resultados de esta investigación estuvieran más completos y se lograran interpretar de la mejor manera.

Al Lic. José Napoleón Canjura López, Coordinador de Procesos de Trabajos de Grado de la Escuela de Biología, por su pronta colaboración y gestión en los trámites necesarios para el desarrollo de nuestra tesis.

A la directora del Museo de Historia Natural de El Salvador, MEVA. Jenny Elizabeth Menjívar Cruz, y a la directora de la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador, Licda. Milagro Elizabeth Salinas Delgado, por permitirnos hacer los muestreos de esta investigación en las colecciones biológicas de ambas instituciones.

A los Licenciados Fidel Ángel Parada Santamaría y Libni Abigail Granados Búcaro, que realizaron sus tesis con microhongos, por lo tanto, nos ayudaron mucho sus consejos con base a su experiencia.

A todos los docentes de la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador, quienes, con dedicación, paciencia y conocimiento, nos guiaron en nuestra formación académica.

A nuestros familiares y amigos, que han estado para nosotras durante todo este proceso, su apoyo y cariño ha sido fundamental.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. OBJETIVOS	2
3.1 Objetivo general	3
3.2 Objetivos específicos.....	3
4. MARCO TEÓRICO.....	4
4.1. Antecedentes históricos.....	4
4.2. Estudios previos	6
4.3. Fundamento teórico.....	8
4.3.1. Generalidades de los hongos	8
4.3.2. Anatomía y morfología de los hongos.....	9
4.3.3. Mecanismos de reproducción de los hongos	9
4.3.4. Nutrición de los hongos.....	10
4.3.5. Clasificación de los hongos	11
4.3.6. Factores físico-químicos que determinan el crecimiento de los microhongos.....	13
4.3.7. Contaminación del aire.....	15
4.3.8. Las colecciones biológicas y su importancia.....	16
4.3.9. Formas de dispersión de los hongos	17
4.3.10. Factores que influyen en la carga fúngica en el aire interior.....	18
4.3.11. Biodeterioro causado por hongos	18
4.3.12. Enfermedades relacionadas a los microhongos.....	18
5. METODOLOGÍA.....	20
5.1. Descripción del sitio de estudio	20
5.1.1. Museo de Historia Natural de El Salvador	20
5.1.2. Universidad de El Salvador	23
5.2. Metodología de campo	26
5.3. Metodología de Laboratorio.....	28
5.3.1. Preparación de medios de cultivo.....	28
5.3.2. Identificación de microhongos	28
5.4. Diseño estadístico.....	29

6. RESULTADOS.....	35
7. DISCUSIÓN	82
8. CONCLUSIONES	95
9. RECOMENDACIONES.....	102
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
11. ANEXOS	112

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Categorías para niveles de contaminación basados en la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/m ³). Tomado de Vásquez (2018).	16
Cuadro 2. Sitios de estudio en el Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y Universidad de El Salvador (UES).	26
Cuadro 3. Cuadro de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y N° de colonias fúngicas durante los muestreos de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES).	35
Cuadro 4. Cuadro de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y N° de colonias fúngicas durante los muestreos de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES).	36
Cuadro 5. Número total de colonias fúngicas por fechas de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.	38
Cuadro 6. Número total de colonias fúngicas por fechas de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.	41
Cuadro 7. Número de especies de hongos del aire de acuerdo a su categoría taxonómica, encontradas en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	43
Cuadro 8. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de Densidad Relativa (D.R. %), en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.	45
Cuadro 9. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de Densidad Relativa (D.R.%), en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	47
Cuadro 10. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas de acuerdo a los rangos de Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.	49
Cuadro 11. Número de especies fúngicas agrupadas por rangos de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	51
Cuadro 12. Número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.	53

Cuadro 13. Número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.	56
Cuadro 14. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas de acuerdo a los rangos de Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.....	58
Cuadro 15. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas de acuerdo a los rangos de Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	60
Cuadro 16. Comparación del número total de colonias fúngicas aéreas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.....	63
Cuadro 17. Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.....	64
Cuadro 18. Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	69
Cuadro 19. Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	74
Cuadro 20. Contaminación fúngica aeroambiental según la Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m ³) por muestreos, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	76
Cuadro 21. Contaminación fúngica aeroambiental según la Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m ³) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	78
Cuadro 22. Número de colonias fúngicas, Densidad Relativa (D.R.%) y Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) de los microhongos del aire con potencial alergénico en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural (MUHNES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.....	80
Cuadro 23. Número de colonias fúngicas, Densidad Relativa (D.R.%) y Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) de los microhongos del aire con potencial alergénico en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.....	81

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de hifas (Vásquez, 2023).....	9
Figura 2. Estructura de un cuerpo fructífero (Vásquez, 2023).	9
Figura 3. Ubicación de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador y Parque Saburo Hirao (Georreferenciado de Google Maps, 2024).	20
Figura 4. Ubicación de las colecciones biológicas de la Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador (Georreferenciado de Google Maps, 2024). ...	23
Figura 5. Croquis de los sitios de muestreo en el Museo de Historia Natural de El Salvador.	26
Figura 6. Croquis de los sitios de muestreo en la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador.	27
Figura 7. Número total de colonias fúngicas por muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.	39
Figura 8. Número total de colonias fúngicas por muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	42
Figura 9. Número de especies fúngicas aéreas de acuerdo a las Divisiones Taxonómicas, encontradas en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	44
Figura 10. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Densidad Relativa (D.R.%), en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.....	46
Figura 11. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Densidad Relativa (D.R.%), en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	48
Figura 12. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.	50
Figura 13. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	52
Figura 14. Número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.	54
Figura 15. Número total de colonias fúngicas aéreas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	57

Figura 16. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.....	59
Figura 17. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	61
Figura 18. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por sitios de muestreo de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.....	65
Figura 19. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por muestreos de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024. ...	66
Figura 20. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por sitios de muestreo de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.....	67
Figura 21. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por muestreos de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024. ...	68
Figura 22. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	70
Figura 23. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por muestreos de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	71
Figura 24. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	72
Figura 25. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por muestreos de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	73
Figura 26. Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m ³), por número de muestreos de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.	77
Figura 27. Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m ³), por sitios en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.....	79

1. RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la comunidad de microhongos presentes en el aire de los ambientes interiores de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES).

Se realizaron muestreos sistemáticos entre mayo y agosto de 2024, utilizando el método de exposición de cajas Petri al aire con medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Se identificaron un total de 551 colonias correspondientes a 23 especies fúngicas y dos tipos de Micelio Estéril en las colecciones biológicas del MUHNES y 2,209 colonias correspondientes a 28 especies fúngicas y dos tipos de Micelio Estéril en las colecciones biológicas de la UES. La mayoría de estas especies pertenecen a la División Deuteromycota/Ascomycota, seguida por Deuteromycota/Basidiomycota y Zygomycota.

Los análisis revelaron que *Cladosporium herbarum* fue la especie más representativa en ambas colecciones biológicas, presentando la mayor Densidad Relativa y Frecuencia de Ocurrencia. Otras especies destacadas incluyeron *Penicillium citreoviride*, *Penicillium* sp., *Candida* sp., *Cryptococcus* sp., *Geotrichum* sp. y *Rhizoctonia* sp., además de Micelios Estériles Cristalinos y Pigmentados.

Según los índices de diversidad alfa y beta aplicados a los microhongos del aire de las colecciones biológicas del MUHNES y UES, el índice de Shannon-Wiener indicó una diversidad baja, mientras que el índice de Pielou reflejó una equidad moderada en la distribución de especies. El índice de Simpson mostró una baja dominancia de especies y una diversidad moderada. Además, los índices de Sorensen y Jaccard evidenciaron una baja semejanza en la composición fúngica entre ambas colecciones biológicas y entre los sitios de estudio.

El estudio también determinó que la contaminación fúngica aeroambiental en las colecciones biológicas del MUHNES fue de intermedia a alta, con valores de UFC/m³ entre 440 y 764 en los sitios de muestreo y 204 y 891 en los muestreos. En las colecciones biológicas de la UES, la contaminación fue alta a muy alta, con valores de UFC/m³ entre 1,618 y 3,082 en los sitios de muestreo y 1,095 y 5,411 en los muestreos. Estas diferencias sugieren que las condiciones ambientales específicas de cada ubicación influyen en la presencia y proliferación de los microhongos.

Finalmente, se realizaron fichas de las especies de microhongos del aire presentes en las colecciones biológicas del MUHNES y UES para determinar las especies alérgicas y se generó un protocolo de buenas prácticas de limpieza y tratamiento para reducir la presencia de microhongos en ambientes interiores. Este protocolo ofrece lineamientos específicos para la preservación y conservación de las colecciones biológicas, así como para la protección de la salud de quienes trabajan en estos espacios.

2. INTRODUCCIÓN

Los hongos pertenecen al Reino Fungi, son organismos eucariotas, pueden ser unicelulares o pluricelulares, poseen pared celular de quitina; están conformados por un cuerpo vegetativo llamado Micelio y un cuerpo fructífero, carecen de clorofila o pigmentos fotosintéticos, por lo que son heterótrofos obligados, se alimentan por absorción y pueden ser saprófitos, parásitos o simbióticos. Se reproducen de manera asexual y/o sexual, formando esporas (Alexopoulos et al., 1996).

Los hongos son ubicuos, es decir capaces de colonizar todas las matrices (suelo, agua, aire) en las que desempeñan un papel clave en el mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas. Además, por su tamaño pueden ser microscópicos o macroscópicos. Los hongos microscópicos pueden ser unicelulares conocidos como levaduras o ser filamentosos y presentar conidióforos o esporangióforos, que son estructuras capaces de producir esporas y dispersarlas en el ambiente (Villalba, 2021).

Las colecciones científicas se consideran el patrimonio más importante para el conocimiento de la biodiversidad de una región, ya que, a diferencia de otras fuentes de información biológica, una colección científica brinda la oportunidad de consultar, cuantas veces sea necesario, el material biológico, esta opción las hace irremplazables. Actualmente, las colecciones científicas representan el único resguardo que permite conservar pruebas físicas de formas de vida que han desaparecido (Lorenzo et al., 2006).

Sin embargo, algunas colecciones se ven afectadas por problemas de biodeterioro, principalmente atribuidos a la proliferación de hongos microscópicos. Estos organismos encuentran condiciones óptimas para su desarrollo en ambientes con ventilación limitada y alta humedad, lo que supone un riesgo para la preservación de los especímenes almacenados en dichas colecciones y el personal (Fuentes y León 2015).

En esta investigación se identificaron los microhongos presentes en el aire de los ambientes interiores de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador y de la Universidad de El Salvador, durante el período de mayo a agosto de 2024. Se realizó la clasificación taxonómica de los microhongos, así como la determinación de la Densidad Relativa (%), Frecuencia de Ocurrencia (%) y Diversidad mediante índices ecológicos. Además, se evaluó la contaminación fúngica aeroambiental en relación con los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se comparó la diversidad y abundancia de los microhongos en ambas colecciones, se describieron todas las especies alergénicas y se elaboró un protocolo de buenas prácticas para la limpieza y tratamiento de los ambientes donde se conservan las colecciones biológicas.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar la comunidad de microhongos presentes en el aire de los ambientes interiores de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador y la Universidad de El Salvador, durante el período de mayo a agosto de 2024.

3.2 Objetivos específicos

- Clasificar taxonómicamente los microhongos presentes en el aire de los ambientes interiores de ambas colecciones biológicas.
- Determinar la Densidad Relativa (%) y Frecuencia de Ocurrencia (%) de los microhongos registrados.
- Determinar la diversidad alfa y beta de los microhongos presentes en las colecciones biológicas, mediante índices ecológicos de riqueza, dominancia, equidad y similitud, durante el período de mayo a agosto de 2024.
- Evaluar la contaminación fúngica aeroambiental en las colecciones biológicas, con base en los niveles de concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³) según los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS), durante el período de mayo a agosto de 2024.
- Comparar la diversidad y abundancia de microhongos en ambas colecciones biológicas para identificar patrones de variación en la composición fúngica.
- Describir las especies de microhongos alergénicos detectados en el aire de los ambientes interiores de ambas colecciones biológicas.
- Diseñar un protocolo de buenas prácticas para la limpieza y tratamiento de los ambientes donde se resguardan las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador y la Universidad de El Salvador.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes históricos

La Micología es el estudio de los hongos; viene de las palabras griegas: mykes = hongo + logos = discurso, etimológicamente, es el estudio de las setas, las cuales se encuentran entre los hongos más grandes, lo que atrajo la atención de los naturalistas antes de que se pensara en microscopios o aún en simples lentes. Con la invención del microscopio por Antonie van Leeuwenhoek, en el siglo XVII, comenzó el estudio sistemático de los hongos. Pero el fundador de la micología es Pier Antonio Micheli (italiano), quien en 1729 publicó *Nova Plantarum Genera*, donde incluyó sus investigaciones sobre los hongos (Alexopoulos y Mims, 1985).

La existencia de una multitud de corpúsculos en el aire fue observada desde la antigüedad. Lucretius (55 a.C.) observó las partículas de polvo brillando en un rayo de sol en una habitación oscura y concluyó que su movimiento se debía al bombardeo de innumerables e invisibles átomos en el aire, aunque fue necesario esperar al descubrimiento del microscopio para ver que en el aire había microorganismos vivos (Rosa et al., 2002).

Los aspectos clínicos de algunas micosis superficiales fueron descritos desde la época de Hipócrates (460-377 a. C.) quién fue el primero en documentar la candidosis pseudomembranosa con el nombre de “afta alba”, lo cual fue corroborado después por Galeno (130-200 d. C.) (Arenas, 2014).

Las esporas de los hongos fueron vistas por un botánico napolitano, Valerius Cordus, en el siglo XVI, pero fue Micheli (1679-1737) quien primero las dibujó observando las esporas de los mohos que se transmitían por el aire (Miquel y Cambert, 1901). Leeuwenhoek (1722) observa y describe por primera vez las bacterias en distintos ambientes y supone que «*estos animálculos pueden ser transportados por el viento mediante el polvo que flota en el aire*» (Rosa et al., 2002).

Con el invento del microscopio gracias a Antonie Van Leeuwenhoek (1632-1723) en el siglo XVII, se inició el estudio científico de los hongos microscópicos junto con el de otros microorganismos. En 1729, Pier A. Micheli publicó investigaciones sobre hongos en su obra *Nova Plantarum Genera*; a él se debe el término *Aspergillus* (Arenas, 2014).

Un siglo después, Ehrenberg, en sus numerosas memorias publicadas de 1822 a 1858, demostró que tanto las partículas atmosféricas del interior de las casas y hospitales como las del aire exterior de elevadas montañas estaban compuestas de esporas criptogámicas (Rosa et al., 2002).

La historia de la micología médica se inició en 1835 con Agostino Bassi, de origen italiano y alumno de Lazzaro Spallanzani, el fundador de la biología moderna. Descubrió que la muscardina del gusano de seda era producida por el hongo *Beauveria bassiana*. En 1838, el botánico y entomólogo francés Víctor Audouin confirmó estas observaciones y las publicó (Arenas, 2014).

En 1845, Per Hendrik Malmsten descubrió el género *Trichophyton* con su más representativa especie, *T. tonsurans*. En 1850, J. B. Georg W. Fresenius utilizó por primera vez el término “aspergilosis” para una de las primeras micosis reconocidas en humanos o animales, aunque desde 1815 H. P. Mayer y G. H. Emmert ya habían descrito una infección en los pulmones de un cuervo (Arenas, 2014).

Pierre Miquel fue sin duda el investigador que más estudió los microorganismos del aire, en el observatorio de Montsouris en París, desde 1879 y durante más de 25 años, realizó numerosos ensayos creando y perfeccionando una gran variedad de métodos (Rosa et al., 2002).

A partir de 1882 se generalizan los análisis microbiológicos del aire, para investigar la cantidad y diversidad de microorganismos en diferentes entornos. Miquel fue el que realizó los estudios más numerosos y variados. No sólo determinó el número por m³ presente en cada uno de los ambientes, sino su naturaleza y propiedades patógenas, así como la influencia de los diversos factores (temperatura, lluvia, corrientes de aire, altitud, número de personas, etc.) y la posibilidad de transmisión por el aire de enfermedades contagiosas (Miquel y Cambert, 1901 citado por Rosa et al., 2002).

Uno de los micólogos más eminentes del siglo XIX fue el sabio francés Raymond Jacques Adrien Sabouraud, quien nació en Nantes en 1864 y fue dermatólogo, botánico, filósofo, músico y escultor. En 1889 terminó sus estudios de medicina en París y luego se especializó en dermatología con Emile Vidal y Ernest Besnier; fue alumno de Emile Roux en el Instituto Pasteur. En 1890 inició el estudio sistemático de las dermatofitosis y en 1892 publicó su primer trabajo *Étude clinique, histologique et bacteriologique sur la pluralité des Trichophytions de l'homme* (Arenas, 2014).

En 1894 escribió los resultados de sus primeros tres años de investigación en el libro *Les Trichophyties humaines*. Clasificó los agentes causales de las dermatofitosis en cuatro grupos: *Achorion*, *Epidermophyton*, *Trichophyton* y *Microsporum*, y sostuvo la idea de que las dermatofitosis eran causadas por más de una especie de hongos (Arenas, 2014).

En 1910 publicó la enciclopedia *Maladies du cuir chevelu*; el tercer volumen, *Les teignes* fue el primer manual de micología dermatológica, considerado hoy como un clásico de la medicina y un modelo de la observación científica (Arenas, 2014).

La década de los años cincuenta se caracterizó por la aparición de una Ciencia multidisciplinar, la Aerobiología, en la que se estudian los microorganismos del aire desde todos sus aspectos: identidad, comportamiento, movimientos y supervivencia, así como sus implicaciones con otros microorganismos, el hombre, los animales y la vegetación. Uno de sus principales cultivadores fue Philip Gregory, botánico inglés que durante más de veinte años realizó numerosas investigaciones sobre la propagación de esporas de los hongos, así como cursos monográficos especializados (Gregory, 1961 citado por Rosa et al., 2002).

Raymond Sabouraud realizó un gran aporte al estudio de los dermatofitos e introdujo la técnica del cultivo puro al desarrollar un medio de cultivo que lleva su nombre. Publicó el libro *Les Teignes* en 1910. Robert Whittaker demostró que los hongos eran completamente diferentes de las plantas, y en 1969 sugirió un sistema de clasificación de cinco reinos que incorporaba a los hongos como un reino separado llamado Fungi (Cepero de García et al., 2012).

4.2. Estudios previos

Moreno y Paxtor (2014) en su trabajo para optar al título de Químico Biólogo “*Determinación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos museos de la ciudad de Guatemala, Guatemala*” determinaron la calidad del aire del Museo de la Universidad de San Carlos (MUSAC) y el Museo de Historia Natural (MUSHNAT). Determinaron que la mayor contaminación en ambos museos ocurrió en diciembre, con valores de $970 \text{ UFC/m}^3 \pm 19$ de desviación estándar para el interior y $790 \text{ UFC/m}^3 \pm 24$ para el exterior. En la biblioteca del MUSAC, la contaminación más alta en el interior se registró en octubre con $1230 \text{ UFC/m}^3 \pm 32$, mientras que en el exterior fue en diciembre con $1010 \text{ UFC/m}^3 \pm 24$. Para el MUSHNAT, la mayor carga fúngica en el interior se observó en octubre con $2570 \text{ UFC/m}^3 \pm 121$, y en el exterior fue en diciembre con $1540 \text{ UFC/m}^3 \pm 56$. Los géneros más frecuentes durante el estudio fueron: *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp., mientras que en una menor proporción se aisló *Fusarium* sp. y *Rhizopus* sp., y algunas levaduras como *Rhodotorula* sp. y *Cryptococcus* sp.

Herrera et al. (2015) en su trabajo titulado: “*Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos colecciones biológicas y dos museos de la ciudad de Guatemala, Guatemala*” determinó la calidad del aire en el interior y exterior de la Micoteca Licenciado Rúben Mayorga Peralta (MICG), el Herbario de Biología de Guatemala (Herbario BIGU), el Museo de Historia Natural (MUSHNAT) y el Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (MUSAC). Los resultados obtenidos en los ambientes MICG indican que la mayor concentración fúngica fue de $1,780 \text{ UFC/m}^3$ en el exterior y para el interior fue de $1,270 \text{ UFC/m}^3$, en el caso del Herbario BIGU en el exterior fue

de 2,790 UFC/m³ y en el interior de 1,450 UFC/m³, para el MUSAC la mayor concentración observada fue de 990 UFC/m³ para el exterior y de 1,010 UFC/m³ para el interior, y para el MUSHNAT en el caso del ambiente exterior fue de 1,630 UFC/m³ y para el interior fue de 2,850 UFC/m³. Los géneros predominantes durante los muestreos en ambos ambientes en todas las áreas muestreadas fueron *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp. y *Aspergillus* sp. Además, logró el aislamiento de otros géneros fúngicos de gran importancia *Fusarium* sp. y *Paecilomyces* sp.

Fuentes y León (2015) en su trabajo para optar al título de Químico Biólogo “*Determinación y caracterización de la carga micológica en el aire interior y exterior del Herbario FARMAYA y en el anexo del Herbario BIGU de la Escuela de Biología*” determinó el ambiente interior y exterior de la sección de macrohongos del anexo de Herbario BIGU y la sección de farmacobotánica del laboratorio de investigación FARMAYA. La sección de Herbario (BIGU) registró la mayor contaminación en ambos ambientes en el mes de diciembre, con 1560 UFC/m³ en el interior y 1600 UFC/m³ en el exterior. Con respecto a la sección de FARMAYA en el ambiente interior y exterior se registró la mayor contaminación en el mes de noviembre con 4970 UFC/m³ (interior) y 4190 UFC/m³ (exterior). Los géneros predominantes en ambos locales corresponden al género *Penicillium* sp. tanto en el ambiente interior como exterior seguido de *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp. y en menor frecuencia se encontró *Fusarium* sp., *Rhizopus* sp. y algunas levaduras.

Vásquez (2018) en su trabajo para optar al título de Biólogo en la especialidad de Microbiología “*Contaminación fúngica aeroambiental de bibliotecas y museos de la ciudad de Ayacucho, Perú 2017*” determinó en sus resultados los siguientes géneros de hongos ambientales: *Aspergillus*, con 175 UFC (49%), le sigue *Penicillium* con 99 UFC (28%), *Cladosporium* con 28 UFC (9%), *Alternaria* con 20 UFC (5%), *Geotrichum* con 14 UFC (4%), *Rhizopus* con 13 UFC (3%), y por último colonias no identificadas (CNI) con 9 UFC (2%). Respecto al nivel de contaminación la Biblioteca Central de la UNSCH, presentó contaminación alta (960 UFC/m³), le siguen el Museo de la Escuela Profesional de Arqueología de la UNSCH y el Archivo Central de la UNSCH también considerado con contaminación alta (560 UFC/m³), el Museo “Andrés Avelino Cáceres” y el Archivo Departamental de Ayacucho con contaminación intermedia (320 UFC/m³), Museo de Historia Natural de la Escuela Profesional de Biología de la UNSCH con contaminación intermedia (160 UFC/m³) y por último el Museo Histórico Regional “Hipólito Unanue” con contaminación baja (80 UFC/m³).

Cepeda et al. (2019) en su publicación titulada: “*Monitoreo de hongos ambientales en laboratorios y reservas patrimoniales bioarqueológicas*” su trabajo consistió en monitorear la presencia de hongos en laboratorios de Bioarqueología y Biología Molecular, y generar un protocolo de buenas prácticas

de limpieza sobre dichos ambientes. Reportó la presencia de *Cladosporium* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Chrysonilia* sp. y *Rhodotorula* sp. Algunos de los géneros identificados pueden provocar distintas patologías respiratorias.

4.3. Fundamento teórico

4.3.1. Generalidades de los hongos

El término hongo (*L. fungus* = seta, del Gr. *sphongos* = esponja) es usado para designar a los organismos eucarióticos, portadores de esporas, aclorofílicos, que por lo general se reproducen sexual y asexualmente y cuyas estructuras somáticas, ramificadas y filamentosas, están rodeadas por paredes celulares que contienen quitina o celulosa, o ambas sustancias, junto con otras muchas moléculas orgánicas complejas (Alexopoulos y Mims, 1985).

Los hongos son un grupo de organismos que constituyen el reino Fungi (hongos en latín), cuya delimitación ha sido difícil de precisar debido a su variabilidad de formas y características heterogéneas, que no siempre muestran relaciones filogenéticas definidas. Son organismos eucariotas, que se caracterizan por presentar una nutrición heterótrofa y se diferencian de otros grupos por contener quitina en sus paredes celulares. Son pluricelulares y sus células se agrupan formando hifas, las cuales son filamentos tabicados en la mayoría de las veces, o no tabicados, como en algunos mohos. Un conjunto de hifas se entrelazan formando el Micelio, estructura de aspecto generalmente algodonoso, que penetra en el sustrato en que se desarrollan (Mata y Salmones, 2021).

Los hongos están considerados entre los organismos más influyentes del planeta. No obstante, en la actualidad, no se dispone apenas de información para la mayor parte de las especies. Además, las estimaciones que se han llevado a cabo recientemente difieren significativamente unas de otras. Esta falta de datos en este reino tiene implicaciones para diversos aspectos de la biología evolutiva. Una de las cifras más comúnmente utilizada del número de hongos estimado es de 1,5 millones. Sin embargo, diversos autores cuestionan esta cifra aportando otras alternativas. Esto es debido fundamentalmente a que deben tenerse en cuenta los datos sobre distribuciones biogeográficas, niveles de endemismo y especificidad de las plantas vasculares a la hora de calcular la diversidad fúngica global (Peña, 2020).

Hasta hace poco, las estimaciones del número de hongos se basaban en la morfología y no incluían los resultados de los métodos de secuenciación ambiental a gran escala. Sin embargo, las estimaciones más recientes basadas en métodos moleculares han permitido aumentar el número de especies de hongos hasta un máximo de 5,1 millones (O'Brien et al., 2005; Taylor et al., 2010 citado por Peña, 2020).

4.3.2. Anatomía y morfología de los hongos

Un hongo está conformado por un cuerpo vegetativo y un cuerpo fructífero. La unidad estructural y funcional de los hongos son las hifas (filamentos microscópicos), que pueden ser cenocíticas (aseptadas o sin septos) o tabicadas (septadas o con Divisiones) (**Figura 1**); el conjunto de estas forma el Micelio (cuerpo vegetativo). El cuerpo fructífero o carpóforo (**Figura 2**), en los hongos macroscópicos puede presentar diversas formas: setas, bejines, parches, orejas, y otros; en hongos microscópicos forman conidióforos o esporangióforos. El cuerpo fructífero presenta un himenio, encargado de producir y liberar esporas, el cual va a estar localizado dependiendo del tipo de cuerpo fructífero (Vásquez, 2023).

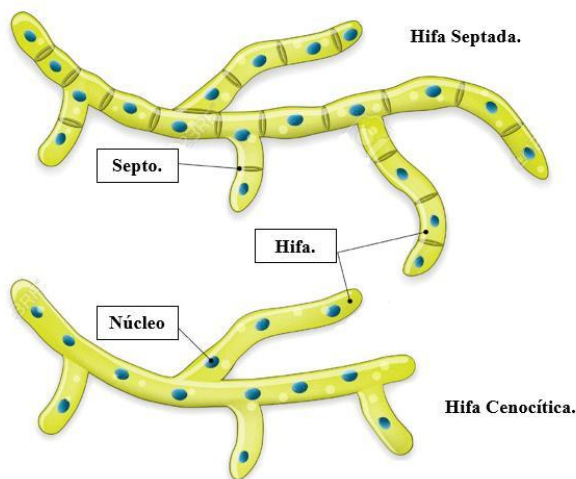


Figura 1. Tipos de hifas (Vásquez, 2023).

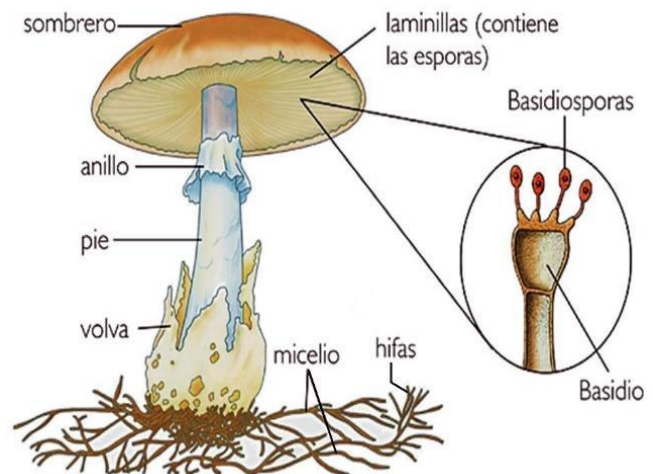


Figura 2. Estructura de un cuerpo fructífero (Vásquez, 2023).

4.3.3. Mecanismos de reproducción de los hongos

La reproducción es considerada como la formación de nuevos individuos que conservan las características típicas de la especie. En los hongos se presentan dos tipos de reproducción: sexual y asexual. Adicionalmente, existe un caso especial en el que los hongos consiguen variabilidad genética sin que haya reproducción sexual. Este fenómeno es conocido como parasexualidad. La reproducción sexual es responsable de la recombinación genética que origina nuevos genotipos y permite la adaptación de los hongos a una gran variedad de ambientes. En efecto, la ocurrencia de este tipo de reproducción está regulada por factores ambientales, nutricionales y genéticos y se da cuando las condiciones son apropiadas (Cepero de García et al., 2012).

El tipo de espora originada en el proceso de reproducción sexual se relaciona con el filo al que pertenece un hongo. Las esporas de los hongos del filo Ascomycota son las ascosporas; para los hongos del filo Basidiomycota son las basidiosporas; para los hongos del filo “Zygomycota” son las cigosporas y para los hongos del filo Oomycota son las oosporas (Cepero de García et al., 2012).

La reproducción asexual no involucra la unión de dos núcleos compatibles y es la responsable de la formación de un gran número de individuos que permiten una buena colonización de un ambiente determinado y, a diferencia de la reproducción sexual, se realiza repetidamente durante un período de tiempo. Los propágulos asexuales son los encargados de la dispersión del hongo. La reproducción asexual en los hongos (mohos y levaduras) es muy variada y se puede llevar a cabo principalmente mediante cuatro mecanismos diferentes: fisión, gemación, formación de esporas asexuales y formación de conidios. Se considera que las levaduras que se reproducen asexualmente por fisión o gemación forman en realidad, por su morfogénesis, conidios tálcos o blásticos respectivamente (Cole, 1986 citado por Cepero de García et al., 2012).

4.3.4. Nutrición de los hongos

La adquisición de nutrientes en hongos y levaduras es un proceso regulado que involucra la digestión extracelular, el transporte de los nutrientes absorbidos y su metabolismo. Los hongos poseen una forma de nutrición particular que consiste en absorber los nutrientes orgánicos solubles que requieren como fuente de energía a través de la pared y la membrana. Por esta razón, los hongos son considerados como organismos heterótrofos que se alimentan por absorción, después de digerir extracelularmente los nutrientes por acción de enzimas secretadas al medio que los rodea (Cepero de García et al., 2012).

Para su crecimiento, tanto en la naturaleza como en el laboratorio, los hongos requieren de macro y microelementos esenciales para su desarrollo. Se denominan macroelementos aquellos que se requieren en concentraciones de 10^{-3} y 10^{-4} M, mientras que aquellos que se necesitan en concentraciones de 10^{-6} M o menores son considerados microelementos. Algunas de las principales fuentes de macroelementos esenciales empleadas por los hongos son el Oxígeno, Hidrógeno, Carbono, Nitrógeno, Azufre, Fósforo, Potasio y Magnesio, constituyen el Micelio y las células fúngicas; y microelementos esenciales son el Hierro, Zinc, Cobre, Manganeso, Calcio, Cobalto, Molibdeno y Galio, son activadores enzimáticos y participan en la síntesis de vitaminas, esporulación y crecimiento (Cepero de García et al., 2012).

4.3.5. Clasificación de los hongos

4.3.5.1. Clasificación taxonómica de los hongos

La clasificación general de los hongos anteriormente se consideraba en dos grandes grupos: 1) Myxomycota, en el que se encontraban los mohos mucilaginosos sin pared celular, y 2) Eumycota, que comprendía los hongos verdaderos con pared (Estrada y Ramírez, 2019).

Actualmente el Reino de los hongos (Fungi) se compone de una escalera taxonómica que se presenta en División/Filo (phylum), Subfilo, Clase, Orden, Familia, Género y Especie (Arenas, 2014).

Los hongos se dividen en cinco phyla verdaderos y un imperfecto (Romero, 2007 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

Chytridiomycota: Se encuentran en ambientes acuáticos y terrestres y se consideran los más primitivos, por ser el único grupo dentro del reino Fungi que conserva las esporas móviles (flageladas) en alguna etapa de su ciclo de vida, que además son utilizadas para fines reproductivos (Romero, 2007 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

Zygomycota: Son cenocíticos inicialmente y se caracterizan por la formación de una espora de paredes gruesas, resultado de su reproducción sexual. Las esporas de los Zygomycota pueden presentar sustancias poliméricas, que le permiten a la espora resistir condiciones adversas y recuperar la viabilidad cuando las condiciones son propicias. Comprende un grupo diverso de taxones que incluye saprobios del suelo (Mucorales) y simbioses de artrópodos (Trichomycetes) (Romero, 2007 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

Glomeromycota: Forman endomicorrizas con la mayoría de las plantas vasculares y presentan una gran producción de esporas asexuales. Se considera un phylum separado, recientemente segregado de los Zygomycota; no presentan reproducción sexual. El carácter taxonómico relevante del grupo es la generación de esporas multinucleadas para la reproducción sexual (Grisales, 2017 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

Ascomycota: Grupo amplio que incluye los mohos, así como las levaduras; los hongos que componen la mayoría de los líquenes pertenecen a este grupo. Nuevos mecanismos para la formación de conidios y meiosporas, y para la descarga de las balistosporas, han evolucionado en los Ascomycota y Basidiomycota. La subestructura de la pared de las ascas, especialmente en el ápice, tiene valor sistemático en los altos niveles taxonómicos (Romero, 2007 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

Basidiomycota: Grupo amplio y heterogéneo que incluye hongos venenosos, de repisa, gelatinosos, bolas explotadoras, estrellas de tierra, cornetas apestosas, las royas y los carbones. Los Ascomycota y Basidiomycota son generalmente resueltos como un grupo monofilético, por lo que se consideran grupos hermanos. Ambos se caracterizan por la producción de un estado dicariótico en su ciclo de vida, aunque con ciertas diferencias (Romero, 2007 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

Deuteromycota: Se les conoce también como fungi imperfecti, Deuteromycota u hongos mitospóricos. Se caracterizan porque su reproducción sexual no ha sido encontrada; sin embargo, se les asocia con especies tanto de Ascomycota como de Basidiomycota, cuando se comparan las esporas y secuencias de DNA (Romero, 2007 citado por Estrada y Ramírez, 2019).

4.3.5.2. Clasificación de los hongos según su forma de nutrición

Según su nutrición se distinguen tres tipos de hongos (Llorens et al., 2007):

- **Saprófitos:** Se alimentan de materia orgánica muerta y más o menos descompuesta por otros organismos.
- **Parásitos:** Se alimentan de materia orgánica viva directamente, perjudicando al huésped, modificando su desarrollo y pudiendo provocar su muerte.
- **Simbióticos:** Se alimentan de materia orgánica viva directamente, pero forman una asociación en que los dos organismos se benefician. A la asociación de Hongo y Alga se le conoce como Liquen y a la asociación de Hongo y Raíces vegetales se le conoce como Micorriza.

4.3.5.3. Clasificación por el tamaño del cuerpo fructífero

Los hongos se dividen en dos categorías principales en función del tamaño del cuerpo fructífero: macrohongos, que son perceptibles a simple vista, y microhongos, que son observados con la ayuda de un microscopio.

- **Macrohongos: Setas, bejines y otros**

Estructuralmente, los hongos en su gran mayoría (excepto las levaduras), están formados por células que se organizan en filamentos, llamados hifas. La unión de los filamentos forma una masa algodonosa que recibe el nombre de Micelio. Este es precisamente el cuerpo o talo del hongo, el cual se desarrolla sobre el sustrato en que vive y al que degrada para su alimentación. El Micelio desarrolla el cuerpo fructífero del hongo, generalmente macroscópico, en él se desarrollan las esporas, que haciendo el papel de semillas, diseminan y perpetúan la especie. A las fructificaciones de los hongos se les

denomina de diferente manera, según los criterios de los especialistas. Se les llama en general cuerpos fructíferos, cuerpos reproductores y carpóforos; ascocarpos o ascomas si los hongos pertenecen al grupo de los Ascomicetos, o Basidiocarpos o basidiomas si son Basidiomicetos (Chacón et al., 1995 citado por Granados y Parada, 2023).

- **Microhongos: Mohos y Levaduras**

Entre los microorganismos, los hongos son uno de los grupos más grandes y se aíslan prácticamente de cualquier ambiente, superficie y organismo vivo (animales, plantas, invertebrados, etc.). De hecho, las últimas estimaciones indican que hay cientos de miles de especies de hongos microscópicos. Lo más interesante es que muchos de ellos todavía no se conocen, pero sospechamos que están ahí por el avance de la secuenciación masiva, que es una técnica que nos está abriendo nuevos horizontes en la identificación de organismos (Zaragoza, 2018).

De manera general, los hongos microscópicos se dividen en dos grupos: hongos filamentosos y levaduras. Los primeros son aquellos que crecen formando filamentos alargados, mientras que las levaduras son capaces de mantenerse en forma unicelular durante la mayor parte de su ciclo de vida. Los hongos microscópicos pueden reproducirse de manera asexual, en la que una célula da lugar a varias células hijas. En el caso de los hongos filamentosos, las esporas, al germinar, forman un filamento, a partir del cual se forman estructuras especializadas que originan miles de nuevas esporas (Zaragoza, 2018).

Las levaduras tienen dos maneras de originar nuevas células. Una es por gemación, en la cual aparece en la célula *madre* una pequeña yema que va creciendo, y al final se separa, originándose la célula hija. Hay otro mecanismo, que es la septación, que implica que la célula madre se fragmenta originando dos células idénticas. Pero, además, algunos hongos microscópicos también tienen reproducción sexual. En este tipo de reproducción, dos células de tipo sexual diferente se fusionan y originan una célula diploide, la cual, según la especie, puede reproducirse y mantener la diploidía, o entrar en meiosis y producir una progenie de esporas haploides (Zaragoza, 2018).

4.3.6. Factores físico-químicos que determinan el crecimiento de los microhongos

Según Mata y Salmones (2021) los hongos al igual que otros organismos, también requieren que las condiciones físicas y químicas del ambiente en que crecen sean las adecuadas para su desarrollo. Estos factores, denominados abióticos, pueden variar dependiendo de las condiciones de cultivo, es decir, *in vitro* o *in situ*, así como de la etapa en que se encuentren de su ciclo de vida.

Los principales factores abióticos que influyen en el desarrollo de los hongos se describen a continuación:

Agua (Humedad): La cantidad de agua varía en los diferentes ambientes, sin embargo, la disponibilidad no depende solamente del contenido, sino que es una función compleja de factores de absorción y disolución y se puede expresar como actividad del agua y está relacionada con la presión de vapor de agua contenida en el aire sobre una solución o sustancia; se calcula midiendo la humedad relativa y se da en términos de porcentaje. Para que una espora germine se precisa de humedad relativa ambiental alta, en la mayoría de los hongos, superior al 70%, la cual normalmente tiene lugar después de las lluvias. Como agua libre es un factor ambiental que afecta a los hongos; la cantidad de agua influye sobre la disponibilidad de nutrientes y la concentración de sustancias tóxicas que afectan la morfogénesis, la naturaleza, el tamaño, el grado de ramificación de las hifas y la intensidad de esporulación y en ocasiones el tipo de reproducción (Estrada y Ramírez, 2019).

Potencial de hidrógeno (pH): Los hongos toleran un gran intervalo de pH (2.5-7.5), aunque de manera general soportan mejor el medio ácido que el alcalino. Es interesante destacar que estos organismos tienen la capacidad de modificar el pH del medio utilizando los ácidos orgánicos presentes. El pH también influye en la disociación y la solubilidad de muchas moléculas, la disponibilidad de los nutrientes como amonio y fosfato y la movilidad de los metales pesados tóxicos, como el cobre. Por ejemplo, los iones Mg y los fosfatos son solubles en condiciones ácidas, pero a pHs básicos se reduce su disponibilidad (Mata y Salmones, 2021).

Temperatura: Cuando aumenta la temperatura el crecimiento del hongo se acelera porque las reacciones enzimáticas y químicas de la célula se producen a ritmo más rápido; sin embargo, las proteínas, ácidos nucleicos y otros componentes celulares pueden quedar inactivos irreversiblemente por ser sensibles a las altas temperaturas. En los hongos, por debajo de 0°C, sus células pueden sobrevivir en estado de latencia como estructuras de resistencia tipo clamidosporas, esclerocios o estromas; por encima de 40°C muchos detienen su crecimiento y pueden morir. De acuerdo con los rangos dentro de los cuales pueden crecer los hongos se pueden clasificar en: (Estrada y Ramírez, 2019).

- Psicrófilos o criófilos. Hongos que pueden crecer a temperatura de 0°C.
- Mesófilos. Hongos que crecen a temperaturas entre 25 y 40°C.
- Termófilos. Hongos que crecen por encima de los 45 y 50°C.

Luz: La luz visible y cercana al espectro ultravioleta influye poco en el crecimiento vegetativo de los hongos, aunque el uso de luz azul puede inducir la pigmentación del Micelio. Sin embargo, una exposición prolongada a la luz ultravioleta es letal para el hongo. Las condiciones de luz tienen un mayor efecto durante la etapa reproductiva de las especies, ya que en muchas especies de hongos basidiomicetos las condiciones de iluminación, aunado a bajas concentraciones de CO₂, inducen la formación de los basidiomas o cuerpos fructíferos (Mata y Salmones, 2021).

Oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂): La mayor parte de los hongos son aerobios y por lo tanto necesitan oxígeno para el desarrollo de sus reacciones metabólicas. Por ejemplo, los cultivos de *Aspergillus nidulans* a una presión parcial de oxígeno reducida (0.02 bar) provocan la formación de células levaduriformes, mientras que en *A. niger* la velocidad de producción de ácido cítrico aumenta con una presión parcial de oxígeno hasta 0.8 bar. La carencia de oxígeno condiciona el crecimiento de los hongos y la ausencia total puede llegar a producir la muerte de éstos (Mata y Salmones, 2021).

Por otra parte, todos los hongos necesitan el dióxido de carbono, ya que es un compuesto que se requiere para llevar a cabo las reacciones de carboxilación que generan estructuras como los ácidos grasos, entre otros. Es importante destacar que los hongos que pueden crecer en condiciones anaeróbicas son favorecidos por altas concentraciones de CO₂ en el medio, al contrario de las especies aerobias que pueden inhibir su crecimiento bajo estas condiciones de cultivo (Mata y Salmones, 2021).

4.3.7. Contaminación del aire

La contaminación del aire es una de las formas principales en que puede ser degradado o afectado parte del ambiente por compuestos sólidos, líquidos, gases, polvo, polen, así como esporas. Las esporas son metabólicamente menos activas y sobreviven mejor en la atmósfera porque soportan la desecación. Estas pueden ser producidas por hongos, algas, líquenes, algunos protozoos y bacterias que pueden estar suspendidos como partículas llamadas bioaerosoles, lo que origina un ambiente nocivo para la salud de humanos, animales y plantas (Martínez y Gómez, 2007 citado por Fuentes y León, 2015).

El término aire interior suele aplicarse a ambientes internos no industriales como por ejemplo oficinas de edificios, edificios públicos (colegios, hospitales, museos, herbarios) y viviendas particulares. Las concentraciones de contaminantes en el aire interior suelen ser de la misma magnitud que las encontradas habitualmente al aire exterior, pero menores que las existentes en el medio ambiente industrial (Guardino, 2001 citado por Fuentes y León, 2015).

Los contaminantes ambientales de procedencia biológica (bioaerosoles) están constituidos por partículas en el aire que contienen organismos vivos o compuestos orgánicos volátiles que proceden de un organismo vivo. En los bioaerosoles se pueden encontrar microorganismos (cultivables, contables y microorganismos muertos), toxinas y partículas como producto de los desechos de todo tipo cuyo origen es la materia viva (Hernández y Martí, 2003 citado por Fuentes y León, 2015).

4.3.7.1. Calidad de aire en interiores

Según estimaciones de la Agencia de Protección Ambiental estadounidense los niveles de contaminación en ambientes cerrados pueden llegar a ser de 10 a 100 veces más elevados que las concentraciones exteriores, lo cual aunado a las condiciones operativas no adecuadas de sistemas de ventilación y recirculación de aire, refrigeración y/o calefacción, hacen prever un problema potencial de la calidad del aire dentro de dichos espacios (Vásquez, 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) bajo la Comisión de Comunidades Europeas (1993), citados por Moreno y Paxtor (2014) y Morán (2022), establecieron cinco categorías para niveles de contaminación basados en la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/m³). Las categorías se describen en el siguiente **Cuadro 1** (Vásquez, 2018).

Cuadro 1. Categorías para niveles de contaminación basados en la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico de aire (UFC/m³). Tomado de Vásquez (2018).

Grados de contaminación fúngica aeroambiental	
Muy baja	Menor a 25 UFC/m ³
Baja	25 - 100 UFC/m ³
Intermedia	100 - 500 UFC/m ³
Alta	500 - 2000 UFC/m ³
Muy alta	Mayor a 2000 UFC/m ³

4.3.8. Las colecciones biológicas y su importancia

Las colecciones biológicas representan el patrimonio natural de un país o región y constituyen un archivo histórico de utilidad múltiple donde la preservación de especímenes y su información asociada son la base de estudios taxonómicos, ecológicos, filogenéticos, biogeográficos, genética de poblaciones y conservación formando parte fundamental en el conocimiento de la diversidad biológica y en el avance de las ciencias biológicas (Tobar, 2002 citado por Fuentes y León, 2015).

Sin embargo, las colecciones son ante todo el poso de la Historia y el testigo material de la evolución de las ideas. Enfatizar ese valor patrimonial, tanto científico como histórico e incluso artístico, es responsabilidad de quien está a su cuidado (Aragón et al., 2007).

El uso de colecciones en la enseñanza de la Zoología es una estrategia formativa fundamental que facilita la observación directa y la manipulación del animal, práctica que el estudiante no puede adquirir con la simple consulta de bibliografía o de material gráfico. Además, la colección es el resultado del trabajo paciente y continuado de numerosas generaciones que han actuado en favor de su constitución y cuidado (Aragón et al., 2007).

4.3.8.1. Presencia de microhongos en el interior de las colecciones biológicas

Sanchíz et al., (1994) dicen que el principal medio para prevenir las infestaciones biológicas es la asepsia, ya que el 50% de las contaminaciones biológicas se produce por uno de estos tres motivos: (1) introducción de nuevos ejemplares en la colección, (2) reintroducción de ejemplares contaminados tras las consultas o préstamos, y (3) a través del sistema de ventilación (Simmons y Muñoz, 2005).

La presencia de moho indica que existe un problema ambiental en la colección (entrada de agua por inundación, goteras o un tubo roto), ya que estos no pueden crecer bajo las condiciones óptimas de temperatura y humedad que se necesitan para almacenar las colecciones. La identificación de las especies de moho es difícil. El moho se come los materiales, por la degradación de las moléculas complejas, desde la lignina hasta moléculas más simples. Causa manchas y desmigaja materiales. El moho puede ser comido por artrópodos presentes en la colección (Simmons y Muñoz, 2005).

Tanto el moho como el mildiu pueden causar algunas enfermedades, a las personas que se encuentran vinculadas con las colecciones, tales como: alergias, asma y otros problemas respiratorios. Los mohos del género *Aspergillus*, pueden causar daño a los riñones o al hígado. Algunos de los mohos son alucinógenos y causan la llamada “enfermedad de los historiadores”, ya los historiadores de antes que trabajaban con libros respiraban este moho (Simmons y Muñoz, 2005).

4.3.9. Formas de dispersión de los hongos

Los hongos se dispersan por aire, agua, suelo, personas y animales. En su propagación por el aire, el aerosol atmosférico cumple un papel importante ya que posee un gran número de partículas de diferentes orígenes, formas y tamaños que se encuentran suspendidas en el aire. Dentro de las

partículas biológicas que son transportadas por el aire y que eventualmente se asientan en el polvo se encuentran las esporas fúngicas (Mandrioli, 2002 citado por Fuentes y León, 2015).

De hecho, pueden ser arrastrados hacia el aire interior de los locales por la ventilación y por los visitantes. La colonización y el crecimiento sobre la superficie de objetos que se encuentran en el ambiente interior, también puede ser una importante fuente de contaminación del aire interior (Fuentes y León, 2015).

4.3.10. Factores que influyen en la carga fúngica en el aire interior

La actividad de colonización de las diferentes especies de hongos filamentosos se ve favorecida por varios factores que incluyen: la humedad relativa, las fluctuaciones de la temperatura, la luz, la naturaleza de los nutrientes del soporte, el contenido de humedad del mismo, la propiedad física de la superficie del objeto, el pH, el mecanismo de absorción, la presencia de polvo, el movimiento del aire ambiental, las concentraciones de oxígeno y el dióxido de carbono en la atmósfera (Valentín, 2010 citado por Fuentes y León, 2015).

Otros factores de importancia que incrementan el deterioro de diferentes colecciones son el manejo inadecuado durante la manipulación, el mantenimiento, las actividades de almacenamiento, exhibición, embalaje y transporte (Pérez et al., 1998 citado por Fuentes y León, 2015).

4.3.11. Biodeterioro causado por hongos

El biodeterioro es un proceso complejo y de difícil solución, ocasionado por agentes biológicos que provocan alteraciones de diversa naturaleza en objetos y colecciones de valor cultural, lo que hace necesaria la aplicación de tratamientos drásticos para su eliminación y control. El biodeterioro en las colecciones biológicas se considera como cualquier cambio indeseable en las propiedades de los materiales que afectan las características de los ejemplares. Todos los materiales que componen los objetos presentan un deterioro o envejecimiento natural; con el paso del tiempo los ejemplares y todos los materiales están sometidos a procesos de deterioro de naturaleza física, química y biológica (Vaillant, 2013 citado por Fuentes y León, 2015).

4.3.12. Enfermedades relacionadas a los microhongos

Desafortunadamente, hay situaciones en las que nuestro sistema inmune no es capaz de contener a los hongos microscópicos, apareciendo enfermedades fúngicas. En general, los hongos pueden causar diferentes tipos de enfermedades, pudiéndose clasificar en superficiales, alérgicas, crónicas o

diseminadas. Las enfermedades superficiales son aquellas que se producen en la piel, las uñas y las mucosas. Además, cuando entramos en contacto con determinados hongos, sus antígenos pueden inducir a reacciones alérgicas, que suelen afectar al aparato respiratorio. En estos casos, suele producirse una irritación e inflamación que produce problemas respiratorios (Zaragoza, 2018).

También pueden causar infecciones crónicas, en las que una cantidad del hongo permanece en un lugar del cuerpo durante largos periodos de tiempo. En cambio, las infecciones diseminadas son aquellas en las que el hongo es capaz de invadir y colonizar el interior de nuestro cuerpo; en este caso pueden encontrarse en una gran variedad de órganos, como el hígado, el riñón, el bazo e incluso el torrente sanguíneo y el cerebro. En estos casos, ya no estamos hablando de infecciones que nos molestan un poco que podemos manejar o con las que podemos convivir (como puedan ser las superficiales). En este caso, tratamos de infecciones que suponen un riesgo real para la vida del paciente, y que con bastante frecuencia resultan en la muerte de la persona infectada. Por ello, a este tipo de alteraciones se les denomina *enfermedades fúngicas invasoras* (Zaragoza, 2018).

5. METODOLOGÍA

5.1. Descripción del sitio de estudio

La investigación se realizó en dos sitios: Museo de Historia Natural de El Salvador y Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador.

5.1.1. Museo de Historia Natural de El Salvador

El Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) se ubica en el Parque Saburo Hirao, Barrio San Jacinto, Final calle Los Viveros, colonia Nicaragua, San Salvador (**Figura 3**) (Ministerio de Cultura, 2024). Tiene un área de 475.0 m² (Aguilar et al., 2012), se encuentra a una altitud de 700 msnm y sus coordenadas geográficas son: 13°40'32"N de latitud y 89°11'50"W de longitud (Google Earth, 2024).

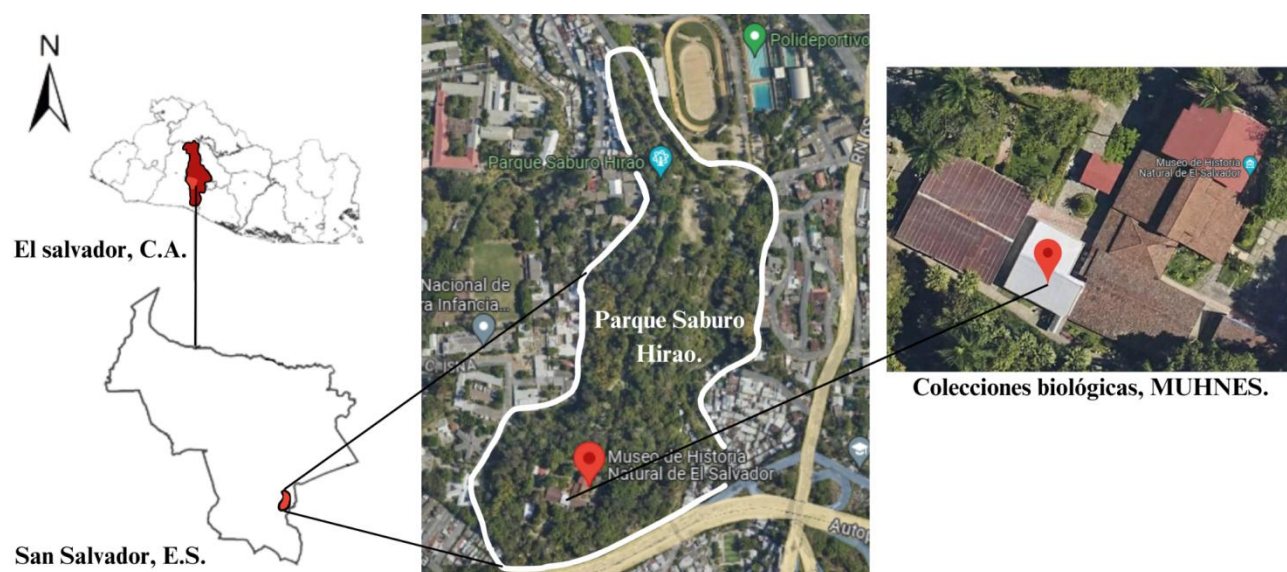


Figura 3. Ubicación de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador y Parque Saburo Hirao (Georreferenciado de Google Maps, 2024).

Dentro de las instalaciones del **MUHNES**, se seleccionaron cinco sitios de muestreo que corresponden a diferentes colecciones biológicas:

1. Área de Trabajo del Herbario

Este espacio está dedicado al estudio y conservación de la flora salvadoreña. Aquí, los investigadores botánicos trabajan en la identificación, clasificación y preservación de especies vegetales. Entre las actividades que se realizan están la preparación de muestras botánicas, montaje de plantas y su almacenamiento en condiciones controladas para futuros estudios.

La infraestructura cuenta con mesas amplias y bien iluminadas, equipadas con herramientas especializadas como lupas, microscopio estereoscópico, prensas botánicas y materiales para montar los especímenes. Además, cuenta con un área de secado controlado al exterior, donde las muestras botánicas son puestas a una secadora de plantas con gas. El espacio también incluye estanterías para guardar materiales de trabajo, así como libros con literatura y claves Taxonómicas que ayudan en la identificación y clasificación de las especies.

2. Herbario

Es una colección científica que guarda miles de especímenes de plantas, todos debidamente catalogados y organizados. Estas muestras representan la diversidad florística de El Salvador y son una herramienta esencial para estudios taxonómicos, ecológicos y de conservación. Además, el Herbario funciona como una referencia importante para investigadores nacionales e internacionales interesados en la flora de El Salvador.

El Herbario es un espacio climatizado y cuidadosamente organizado para asegurar la conservación a largo plazo de las muestras botánicas. Las colecciones se almacenan en gabinetes especiales, diseñados para proteger los especímenes de factores como la humedad, las plagas y la luz directa. Cada muestra está montada en láminas de cartulina y cuenta con una etiqueta que detalla su taxonomía, origen y características. Además, el Herbario está equipado con computadoras que tienen acceso a bases de datos botánicas y un sistema de catalogación digital, lo que facilita a los investigadores encontrar y consultar la información de las muestras de manera rápida y eficiente.

3. Zoología

En esta área se lleva a cabo la investigación y conservación de la fauna salvadoreña, la cual se divide en dos grandes grupos: Invertebrados (que incluye Entomología, Malacología y Aracnología) y Vertebrados (como Ictiología, Herpetología, Ornitología y Mastozoología). Los biólogos y zoólogos estudian una amplia variedad de animales, desde insectos hasta mamíferos, con el objetivo de comprender su comportamiento, distribución y estado de conservación. Aquí se pueden encontrar colecciones de especímenes preservados de diferentes maneras, como pieles, cráneos, huesos y muestras en solución líquida. Estas colecciones son una herramienta fundamental tanto para la educación como para la investigación científica, permitiendo un mayor conocimiento y protección de la biodiversidad del país.

Para garantizar la conservación óptima de las muestras biológicas, el área de Zoología está equipada con aires acondicionados, deshumidificadores y sistemas de control de temperatura, que mantienen las condiciones ideales para su almacenamiento.

Además, cuenta con un área exterior especializada en la preparación y taxidermia de animales denominado “Taller de Taxidermia”, está equipado con instrumentos de disección y equipos de iluminación y secado, que facilitan la preparación de los especímenes, donde se utilizan técnicas especializadas para preservar y montar los ejemplares de manera adecuada.

4. Paleontología

Este espacio está dedicado al estudio de los fósiles y la historia geológica de El Salvador. Los paleontólogos trabajan en la identificación y análisis de restos fósiles de plantas y animales que habitaron el territorio en épocas pasadas. Esta área es fundamental para reconstruir los ecosistemas antiguos y comprender los cambios climáticos y geológicos que han ocurrido en la región.

El espacio cuenta con equipos especializados para la limpieza y al exterior cuenta con un “Taller de restauración de fósiles”. Además, Paleontología presenta áreas de almacenamiento con gabinetes diseñados para organizar los restos fósiles, los cuales están debidamente etiquetados y catalogados. También se dispone de literatura especializada en paleontología y herramientas específicas para la manipulación cuidadosa de las muestras.

5. Área Didáctica

Este es un espacio donde se resguardan las colecciones didácticas diseñadas para fomentar el aprendizaje y despertar la curiosidad sobre la naturaleza mediante una experiencia sensorial, dirigida a visitantes de todas las edades, desde los más jóvenes hasta los adultos. Aquí se resguardan colecciones zoológicas, geológicas y paleontológicas dedicadas a actividades educativas como talleres o exposiciones, que permiten a los niños y sus familias explorar conceptos relacionados con la biodiversidad, la geología y la conservación de las especies.

El área cuenta con espacios de almacenamiento equipados con estanterías y cajones especiales, donde se organizan las diferentes piezas que forman parte de la colección didáctica. Estas incluyen cajas entomológicas, cráneos, huesos, animales taxidermizados, pieles de estudio y fósiles, todos disponibles para ser utilizados en las diversas actividades educativas que se llevan a cabo en el museo.

5.1.2. Universidad de El Salvador

La Universidad de El Salvador (UES), se ubica en Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 julio", municipio de San Salvador Centro, distrito de Mejicanos, departamento de San Salvador, (**Figura 4**) (UES, 2024). Su extensión territorial es de 491,900 m² (70.3 manzanas aprox.), tiene una altitud de 700 msnm y sus coordenadas geográficas son: 13°43'05"N de latitud y 89°12'11"W de longitud (Google Earth, 2024).

Dentro de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática se encuentra la Escuela de Biología, donde se estudiaron las colecciones biológicas de esta investigación. Su extensión territorial es de 900 m², tiene una altitud de 700 msnm y sus coordenadas geográficas son: 13°43'11"N de latitud y 89°12'17"W de longitud (Google Earth, 2024).

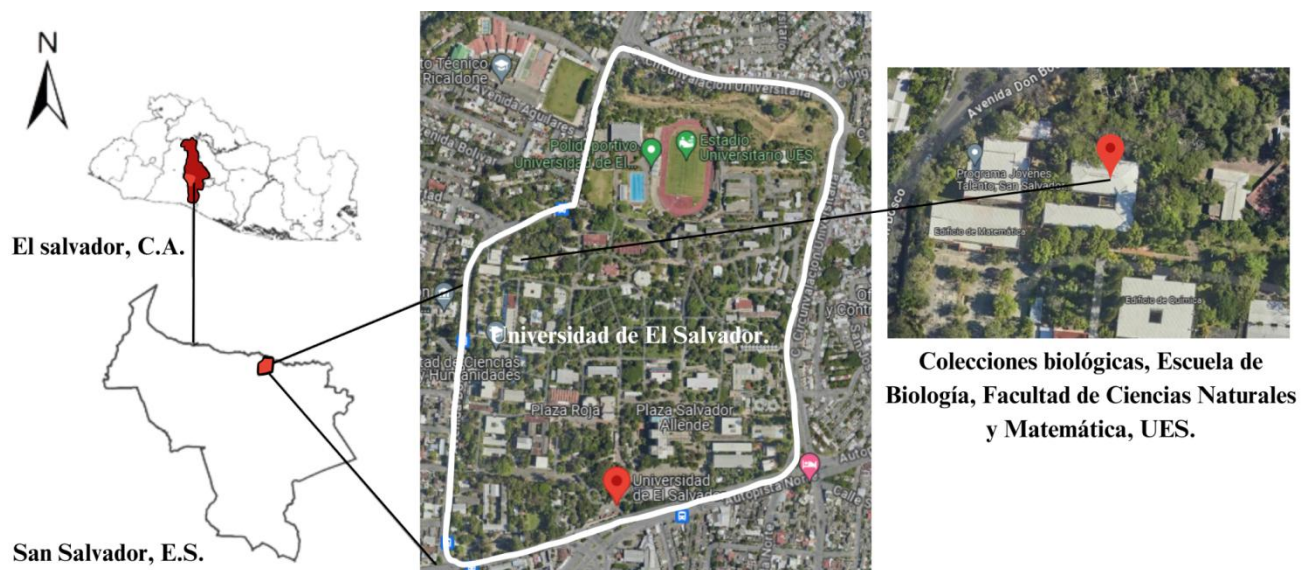


Figura 4. Ubicación de las colecciones biológicas de la Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática, Universidad de El Salvador (Georreferenciado de Google Maps, 2024).

Dentro de las instalaciones de la UES, se seleccionaron cinco sitios de muestreo que corresponden a diferentes colecciones biológicas:

1. Área de Trabajo del Herbario

El Área de Trabajo del Herbario está destinada al estudio y manejo de la colección botánica. En este espacio, docentes y estudiantes especializados en botánica llevan a cabo actividades de ordenamiento, identificación, clasificación y preservación de especímenes vegetales. Además, se realizan ingresos de nuevas especies a la colección, asegurando su adecuada documentación y conservación.

El área está equipada con mesas de trabajo, estantes para almacenamiento, una refrigeradora para la preservación de muestras y herramientas especializadas para el tratamiento de especímenes. Entre estos recursos se incluyen prensas botánicas, material didáctico y literatura científica. También cuenta con libros de registro donde se documenta la diversidad botánica albergada en la colección, facilitando su estudio y consulta.

2. Herbario

El Herbario alberga una colección de especímenes vegetales registrados por docentes y estudiantes de la Escuela de Biología. Estos se encuentran organizados en estantes cerrados que garantizan su conservación y protección. El espacio es amplio y cuenta con una mesa de trabajo destinada al ordenamiento y manejo de las muestras.

Las colecciones del Herbario constituyen una referencia invaluable para el estudio de la diversidad botánica. Son una herramienta esencial para docentes y estudiantes, ya que permiten la consulta de información taxonómica, la observación de características morfológicas específicas y el análisis comparativo de especies. Además, contribuyen a la investigación científica y a la enseñanza de la botánica, facilitando el reconocimiento y clasificación de la flora local y regional.

3. Museo de Vertebrados e Invertebrados

El Museo de Vertebrados e Invertebrados resguarda una colección diversa de especímenes de fauna, representando tanto grupos terrestres como acuáticos. Los ejemplares están organizados en estantes abiertos y cerrados, dependiendo de sus condiciones de preservación. Algunos se encuentran en frascos con soluciones líquidas para su conservación, otros han sido sometidos a procesos de taxidermia, y algunos están representados únicamente por sus estructuras óseas.

La mayoría de los especímenes provienen de donaciones realizadas por docentes y estudiantes, quienes también se encargan de su identificación, clasificación y mantenimiento. Este espacio cuenta con mesas de trabajo, herramientas de limpieza, una cámara de secado y un área específica para el manejo de las muestras.

El museo no solo contribuye a la preservación de la biodiversidad, sino que también brinda a los estudiantes la oportunidad de adquirir experiencia en el manejo de colecciones biológicas. Su acceso a materiales de referencia permite fortalecer conocimientos en zoología, anatomía comparada y técnicas de conservación, facilitando la investigación y el aprendizaje práctico.

4. Entomología

El área de Entomología alberga una colección de insectos preservados en cajas entomológicas, cada uno acompañado de su viñeta de identificación. Para garantizar su conservación, se utilizan bolas de naftalina como medida de protección contra plagas.

Aunque el espacio es reducido, cuenta con iluminación natural gracias a sus ventanas, así como con una mesa de trabajo, una computadora y estantes destinados al almacenamiento de los especímenes.

Este espacio brinda a los estudiantes interesados en entomología la oportunidad de desarrollar habilidades en el montaje, identificación, clasificación y manejo de insectos preservados. Además, facilita el registro de la diversidad entomológica a nivel local y regional, permitiendo su uso como referencia en estudios de biodiversidad y ecología. Docentes y estudiantes pueden consultar esta colección para apoyar investigaciones y fortalecer el aprendizaje en el campo de la entomología.

5. Ficología

El área de Ficología funciona como un laboratorio especializado en el estudio de algas, proporcionando un espacio amplio y equipado para su identificación, clasificación, preservación y manejo. Cuenta con mesas de trabajo y estantes cerrados destinados al resguardo de especímenes, asegurando su conservación adecuada.

Este laboratorio es un recurso fundamental para los estudiantes de la Escuela de Biología interesados en la ficología, ya que les permite complementar su aprendizaje a través de la práctica. Aquí pueden desarrollar habilidades en el análisis morfológico y taxonómico de algas, así como participar en investigaciones sobre su diversidad y ecología.

5.2. Metodología de campo

Para la colecta de esporas fúngicas en el aire al interior de las instalaciones del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), se realizaron en total doce muestreos durante un período de cuatro meses en el año 2024, en mayo se realizaron tres muestreos, en junio dos muestreos, en julio cuatro muestreos y en agosto tres muestreos.

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionaron cinco sitios de muestreo al interior de las instalaciones del Museo de Historia Natural de El Salvador (**Figura 5**) y cinco sitios de muestreo al interior de las instalaciones de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador (**Figura 6**), los cuales se detallan en el **Cuadro 2**:

Cuadro 2. Sitios de estudio en el Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y Universidad de El Salvador (UES).

Sitios de muestreo	
MUHNES	UES/Escuela de Biología
1. Área de Trabajo del Herbario	1. Área de Trabajo del Herbario
2. Herbario	2. Herbario
3. Zoología	3. Museo de Vertebrados e Invertebrados
4. Paleontología	4. Entomología
5. Área Didáctica	5. Ficología

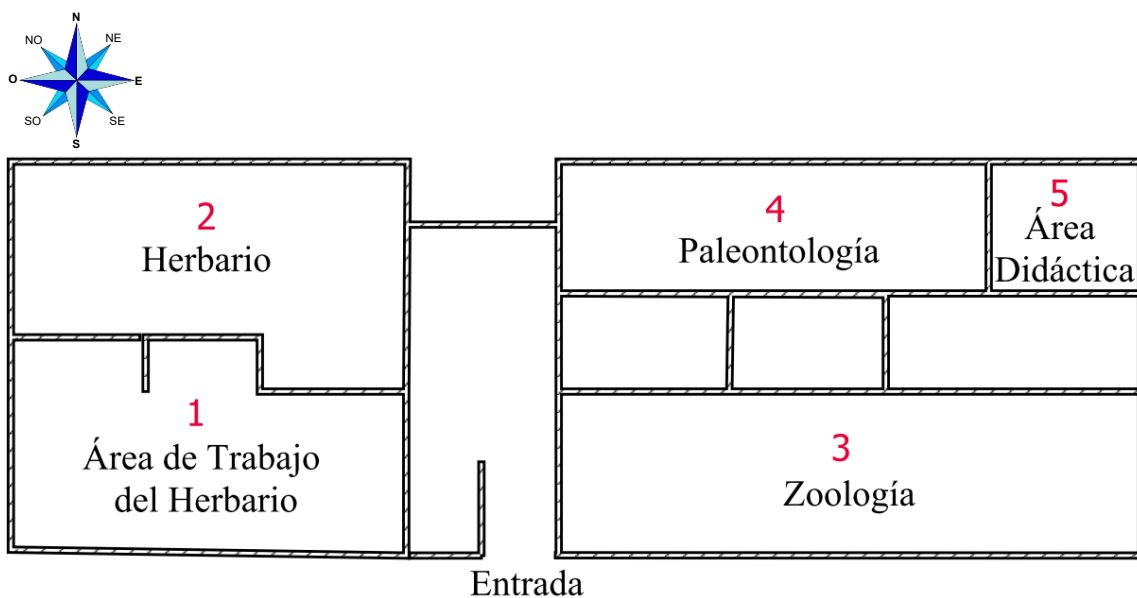


Figura 5. Croquis de los sitios de muestreo en el Museo de Historia Natural de El Salvador.

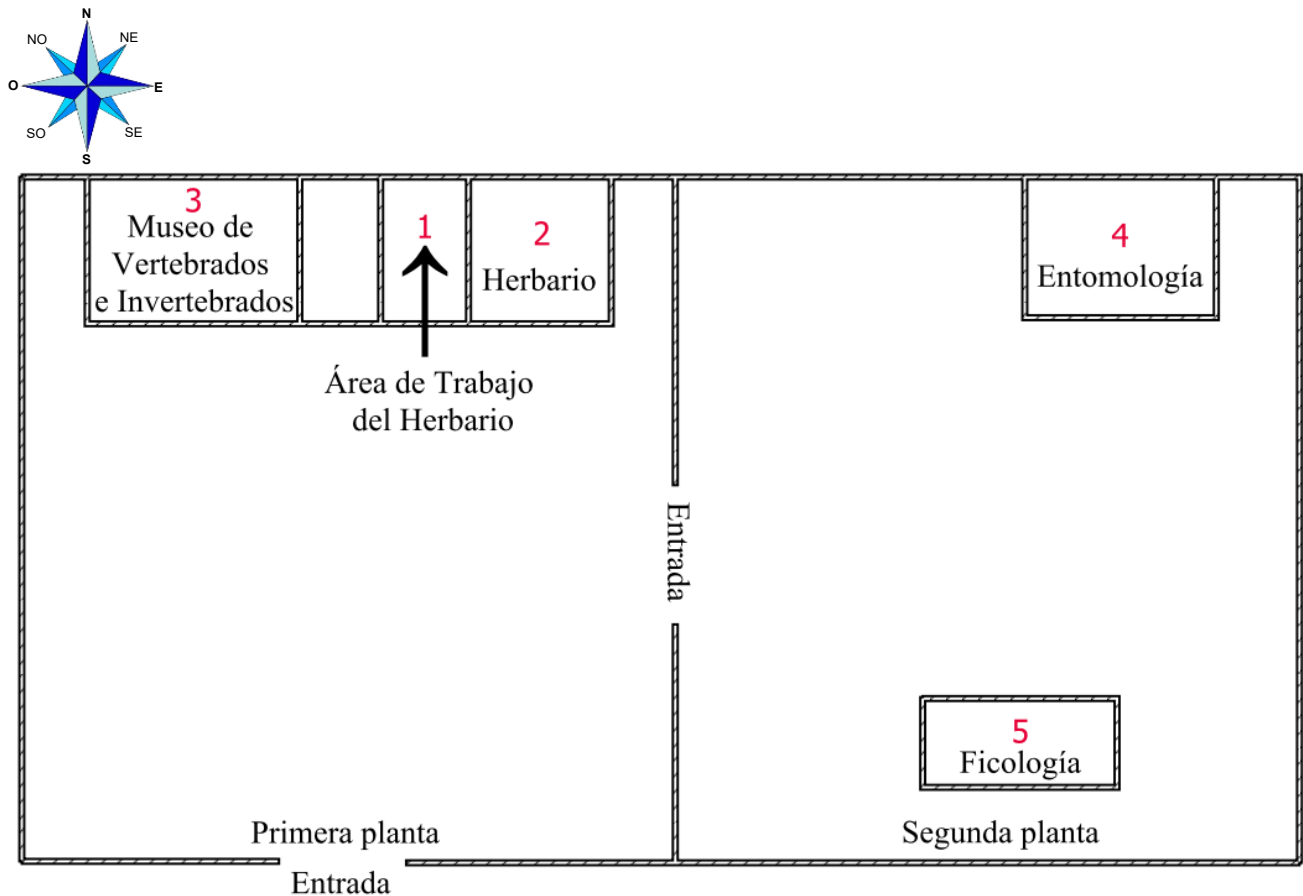


Figura 6. Croquis de los sitios de muestreo en la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador.

En este estudio, se empleó el método de exposición de cajas Petri al aire, siguiendo el protocolo utilizado por Frey y Durie (1962), Upsher y Griffiths (1973) citados por Granados y Parada (2023) para capturar esporas, determinar la cantidad de colonias fúngicas y la diversidad de especies. Se utilizó Papa Dextrosa Agar (PDA) como medio de cultivo. En cada sitio de muestreo, se colocaron dos cajas Petri a una altura aproximada de 1.50 m durante 10 minutos.

La exposición de las cajas Petri con medio de cultivo se realizó en horas de la mañana, entre las 9:00 a.m. y 11:00 a.m., en los sitios seleccionados al interior de las instalaciones del Museo de Historia Natural de El Salvador y de la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador, en cada muestreo y sitio de muestreo se registró la temperatura (°C) y Humedad Relativa (%).

Las cajas Petri expuestas fueron selladas y rotuladas, luego transportadas al laboratorio de Micología de la Escuela de Biología de la Universidad de El Salvador. Donde se incubaron a temperatura ambiente durante cinco días para detectar la presencia de colonias de hongos microscópicos.

5.3. Metodología de Laboratorio

5.3.1. Preparación de medios de cultivo

En este estudio, se aplicó la metodología citada por Granados y Parada (2023), la cual implica el uso del medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA). Para prepararlo, se mezcla el medio de cultivo PDA con agua destilada según las cantidades establecidas en la viñeta del frasco. Luego se calienta hasta que se diluya sin que llegue a ebullición. Posteriormente, el medio de cultivo preparado junto con la cristalería, se esteriliza en autoclave, mediante el método de calor latente a 121°C y 15 libras de presión durante 20 minutos.

Los medios de cultivo esterilizados se dejan enfriar; para inhibir el crecimiento bacteriano se les añade antibiótico, posteriormente se vierten en cajas Petri con un ángulo de inclinación de 45°. Esto se realiza en una cámara de flujo laminar, después las cajas Petri se sellan y rotulan para su posterior exposición en los sitios de estudio.

5.3.2. Identificación de microhongos

Las colonias de microhongos obtenidas se examinaron inicialmente utilizando un microscopio estereoscópico para observar la morfología, textura y color. Posteriormente, se realizaron preparaciones microscópicas de las colonias para ser observadas con un microscopio de campo claro y con ayuda de claves Taxonómicas disponibles en el laboratorio de Micología se determinaron las especies y contabilizaron las colonias.

Se tomaron fotografías del sitio de muestreo, cajas Petri, colonias de microhongos, y preparaciones microscópicas, para crear un registro fotográfico de los microhongos del aire presentes en las colecciones biológicas del MUHNES y la UES (**Anexo 1**), y se realizaron anotaciones detalladas para mantener un control preciso de lo muestreado.

Las claves Taxonómicas que se utilizaron fueron:

- "Géneros Comunes de Micromicetos en Cultivo" (Escobar, 1979).
- "Apuntes Básicos de Micología" (Escobar, 1985).
- "Illustrated Genera of Imperfect Fungi" (Barnett y Hunter, 1999).

La M.Sc. Rhina Esquivel brindó asesoría durante el proceso para garantizar una correcta identificación taxonómica de los hongos obtenidos.

5.4. Diseño estadístico

Para el ingreso y análisis de los datos se utilizaron los programas Excel y PAST 4.03. Los distintos parámetros, índices y sus respectivas fórmulas utilizadas se detallan a continuación:

- Densidad Relativa (D.R.%)

La Densidad Relativa es un parámetro ecológico que permite evaluar la abundancia de una especie en relación con el total de individuos registrados en una comunidad biológica. Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la fórmula:

$$D.R\% = \left(\frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Número total de individuos registrados}} \right) \times 100$$

Este índice proporciona información sobre la dominancia y distribución de las especies dentro de un ecosistema determinado (Magurran, 2004). En el caso de los hongos aerotransportados, la Densidad Relativa permite identificar las especies más prevalentes en el ambiente y su posible relación con factores ambientales (Vásquez, 2018).

- Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%)

La Frecuencia de Ocurrencia es un índice ecológico utilizado para medir la distribución espacial de una especie dentro de un área de estudio. Se refiere a la proporción de muestras o unidades de muestreo en las cuales una especie específica está presente. Este se calcula mediante la fórmula:

$$F.O. = \left(\frac{\text{Número de unidades de muestreo donde se encontró la especie}}{\text{Número total de unidades de muestreo}} \right) \times 100$$

La Frecuencia de Ocurrencia es útil para evaluar la distribución y la abundancia relativa de una especie en diferentes hábitats, lo cual ayuda a comprender su comportamiento en el entorno estudiado (Magurran, 2004). A su vez, permite inferir la constancia de la especie dentro de un ecosistema y su capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales (Vásquez, 2018).

- Índice de Diversidad de Shannon-Wiener (H')

El Índice de Diversidad de Shannon-Wiener es una medida utilizada para cuantificar la diversidad de especies en un ecosistema. Este índice tiene en cuenta tanto el número de especies presentes como la equidad en su distribución, es decir, la proporción de individuos de cada especie. La fórmula del índice es:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$$

Donde:

- H' es el índice de diversidad,
- S es el número total de especies,
- p_i es la proporción de individuos de la especie i en relación con el total de individuos,
- $\ln(p_i)$ es el logaritmo natural de p_i .

El Índice de Shannon-Wiener permite conocer la riqueza y la equidad de un ecosistema, y es particularmente útil para evaluar la diversidad de comunidades biológicas (Magurran, 2004). Este índice suele fluctuar entre 1 y 5, donde valores menores a 2 indican una diversidad baja, de 2 a 3.5 una diversidad media, y superiores a 3.5 una diversidad alta (Margalef, 1972).

- Índice de Equidad de Pielou (J')

El índice de Equidad de Pielou es una medida que complementa el Índice de Diversidad de Shannon-Wiener. Mientras que el Índice de Shannon-Wiener evalúa la diversidad total, el índice de equidad mide cómo se distribuyen los individuos entre las especies presentes en un ecosistema. Este índice varía entre 0 y 1, donde 1 indica una distribución completamente equitativa entre las especies y valores cercanos a 0 indican una dominancia de pocas especies (Pielou, 1966). La fórmula es:

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Donde:

- J' es el índice de equidad,
- H' es el índice de diversidad de Shannon-Wiener,
- S es el número total de especies en el ecosistema.

El índice de Equidad de Pielou se utiliza para evaluar la distribución de individuos entre las especies dentro de un ecosistema y es fundamental en estudios de biodiversidad, ya que permite identificar si la riqueza de especies está distribuida equitativamente o si existen especies dominantes (Marrugan, 2004). Este índice es especialmente útil cuando se combina con otros índices de diversidad para obtener una visión más completa de la estructura de una comunidad (Pielou, 1966).

- Índice de Dominancia de Simpson (D)

El Índice de Dominancia de Simpson es una medida utilizada para evaluar la dominancia de las especies en un ecosistema, indicando la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie (Moreno, 2001). Este índice tiene un rango entre 0 y 1, donde un valor cercano a 0 indica una alta diversidad (pocas especies dominantes) y un valor cercano a 1 indica que una o pocas especies dominan la comunidad. La fórmula más común para calcular el índice de Simpson es:

$$D = \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde:

- D es el índice de dominancia,
- S es el número total de especies,
- p_i es la proporción de individuos de la especie i en relación con el total de individuos.

El Índice de Dominancia de Simpson es útil para medir la concentración de individuos en unas pocas especies dentro de una comunidad, lo cual puede ser relevante en estudios de la estructura de la biodiversidad (Simpson, 1949).

- Índice de Diversidad de Simpson (1-D)

El Índice de Diversidad de Simpson es una medida de la diversidad de especies en un ecosistema, que se deriva del Índice de Dominancia de Simpson. A diferencia del índice de dominancia, que mide la probabilidad de que dos individuos sean de la misma especie, el índice de diversidad de Simpson evalúa la probabilidad de que dos individuos seleccionados al azar pertenezcan a especies diferentes. Este índice varía entre 0 y 1, donde 1 indica una diversidad infinita (sin dominancia) y valores cercanos a 0 sugieren una alta dominancia de pocas especies (Simpson, 1949). La fórmula es:

$$1 - D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde:

- $1 - D$ es el índice de diversidad de Simpson,
- S es el número total de especies,
- p_i es la proporción de individuos de la especie i en relación con el total de individuos.

- Índice de Similitud de Sorensen (S)

El Índice de Similitud de Sorensen es una medida que cuantifica la similitud en la composición de especies entre dos áreas o muestras. Este índice evalúa cuán similares son las comunidades en términos de las especies que comparten. Varía entre 0 y 1, donde 1 indica que las dos comunidades son idénticas en cuanto a sus especies, y 0 indica que no comparten ninguna especie (Sorensen, 1948). La fórmula es:

$$S = \frac{2C}{A + B}$$

Donde:

- S es el índice de similitud de Sorensen,
- C es el número de especies comunes a ambas muestras,
- A es el número de especies en la primera muestra,
- B es el número de especies en la segunda muestra.

Este índice es ampliamente utilizado en ecología para comparar la similitud entre comunidades biológicas en diferentes sitios o condiciones ambientales (Sorensen, 1948).

- Índice de similitud de Jaccard (J)

El Índice de similitud de Jaccard es una medida utilizada para evaluar la similitud entre dos comunidades biológicas, en función de las especies que comparten. A diferencia del índice de Sorensen, el índice de Jaccard considera únicamente la presencia o ausencia de especies en las dos áreas comparadas, sin tener en cuenta la cantidad de individuos de cada especie. El índice varía entre 0 y 1, donde 1 indica que las comunidades son idénticas en su composición de especies, y 0 significa que no comparten ninguna especie (Jaccard, 1901). La fórmula del índice es:

$$J = \frac{C}{A + B - C}$$

Donde:

- J es el índice de similitud de Jaccard,
- C es el número de especies comunes a ambas muestras,
- A es el número de especies en la primera muestra,
- B es el número de especies en la segunda muestra.

El Índice de similitud de Jaccard se utiliza comúnmente en estudios de ecología para comparar la biodiversidad de diferentes sitios o para evaluar la similitud entre comunidades a lo largo del tiempo. Este índice es especialmente útil cuando se desean comparar comunidades que presentan diferencias significativas en la riqueza de especies (Jaccard, 1901).

- Diversidad alfa y beta

La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje (Moreno, 2001). Los índices de diversidad alfa utilizados en esta investigación fueron: Índice de Diversidad de Shannon-Wiener, Índice de Equidad de Pielou e Índice de Dominancia y Diversidad de Simpson. Y los índices de diversidad beta fueron Índice de Similitud de Sorensen e Índice de Similitud de Jaccard.

- Concentración de Unidades Formadoras De Colonias por metro cúbico (UFC/m³)

El cálculo de la concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³) es una medida utilizada para estimar la cantidad de microorganismos, como hongos y bacterias, presentes en una muestra de aire. Las UFC/m³ se miden para el monitoreo de la calidad del aire, especialmente en estudios de contaminación microbiológica en ambientes interiores y exteriores (Rodríguez, 2016).

En este estudio la determinación de las UFC/m³ se llevó a cabo mediante la fórmula de Omeliansky, según lo descrito por Rodríguez (2016):

$$N = 5a \cdot 10^4 (b \cdot t)^{-1}$$

Donde:

N- concentración microbiana en ufc.m⁻³

a=número de colonias por placa Petri,

b= es la superficie de la placa ($r^2 \times \pi$) expresada en cm²

t=tiempo de exposición en minutos.

5 y 10⁴= constantes de calibración que se utilizan para los cálculos

Para determinar los niveles de contaminación, los valores de UFC/m³ se deben comparar con los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) bajo la Comisión de Comunidades Europeas (1993): “muy baja” (<25 UFC/m³), “baja” (25-100 UFC/m³), “intermedia” (100-500 UFC/m³), “alta” (500-2,000 UFC/m³) y “muy alta” (>2,000 UFC/m³).

6. RESULTADOS

En esta investigación se realizaron muestreos en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador; entre los meses de mayo a agosto del 2024.

En cada muestreo se registró la Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%) en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES).

En el **Cuadro 3** se muestran los valores de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y N° de colonias fúngicas registrados durante los doce muestreos realizados entre mayo y agosto de 2024 en las colecciones biológicas del **MUHNES**. La temperatura más alta fue de 28.4 °C, registrada en el Muestreo 8 (17/07/2024), mientras que la más baja correspondió a 24.4 °C en el Muestreo 5 (26/06/2024). En cuanto a la humedad relativa, el valor máximo fue de 85.8 % en el Muestreo 7 (10/07/2024) y el mínimo de 51.6 % en el Muestreo 1 (02/05/2024).

Cuadro 3. Cuadro de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y N° de colonias fúngicas durante los muestreos de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES).

Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%) durante los muestreos de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas del MUHNES				
N° de muestreo	Fecha	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	N° de colonias fúngicas
Muestreo 1	2/05/2024	24.8	51.6	16
Muestreo 2	15/05/2024	26.9	71.8	59
Muestreo 3	29/05/2024	27.6	75.6	47
Muestreo 4	13/06/2024	25.7	77.2	38
Muestreo 5	26/06/2024	24.4	72.4	70
Muestreo 6	2/07/2024	25.9	79.4	69
Muestreo 7	10/07/2024	24.8	85.8	37
Muestreo 8	17/07/2024	28.4	67.0	38
Muestreo 9	24/07/2024	26.3	76.2	33
Muestreo 10	7/08/2024	26.4	79.2	58
Muestreo 11	14/08/2024	26.9	79.2	53
Muestreo 12	21/08/2024	27.4	79.8	33
Total:				551

En el **Cuadro 4** se muestran los valores de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y Número de colonias fúngicas registrados durante los doce muestreos realizados entre mayo y agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la UES. La temperatura más alta fue de 28.3 °C, registrada en el Muestreo 2 (15/05/2024), mientras que la más baja correspondió a 24.0 °C en el Muestreo 7 (10/07/2024). En cuanto a la humedad relativa, el valor máximo fue de 90.0 % en el Muestreo 5 (26/06/2024) y el mínimo de 71.0 % en el Muestreo 1 (02/05/2024).

Cuadro 4. Cuadro de Temperatura (°C), Humedad Relativa (%) y N° de colonias fúngicas durante los muestreos de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES).

Temperatura (°C) y Humedad Relativa (%) durante los muestreos de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la UES				
N° de muestreo	Fecha	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	N° de colonias fúngicas
Muestreo 1	2/05/2024	26.0	71.0	305
Muestreo 2	15/05/2024	28.3	72.6	97
Muestreo 3	29/05/2024	27.7	84.6	425
Muestreo 4	13/06/2024	25.7	88.8	163
Muestreo 5	26/06/2024	25.4	90.0	173
Muestreo 6	2/07/2024	27.9	88.7	185
Muestreo 7	10/07/2024	24.0	84.2	200
Muestreo 8	17/07/2024	26.6	74.4	126
Muestreo 9	24/07/2024	26.3	79.4	86
Muestreo 10	7/08/2024	25.4	83.0	182
Muestreo 11	14/08/2024	28.0	76.2	167
Muestreo 12	21/08/2024	25.7	79.6	100
Total:				2,209

En las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**) se registraron **551** colonias de microhongos del aire, correspondientes a **23** especies diferentes y dos Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado).

En el **Cuadro 5** se presenta los muestreos realizados en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**), donde se encontraron las especies que tuvieron mayor número de colonias en el siguiente orden: **Micelio Estéril Cristalino** con 324 colonias, una D.R.=58.80% y una F.O.=100%; seguidamente *Cladosporium herbarum* con 95 colonias, una D.R.=17.24% y una F.O.=91.67%; *Geotrichum sp.* con 25 colonias, una D.R.=4.54% y una F.O.=50.00%; **Micelio Estéril Pigmentado** con 19 colonias, una D.R.=3.45% y una F.O.=91.67%; *Penicillium sp.* con 16 colonias, una D.R.=2.90% y una F.O.=50.00%; *Rhizoctonia sp.* con 14 colonias, una D.R.=2.54% y una F.O.=16.67%; y *Candida sp.* con 13 colonias, una D.R.=2.36% y una F.O.=66.67%. Las demás especies presentaron números de colonias inferiores, que oscilaron entre 1 y 9; la D.R. osciló entre 0.18% y 1.63% y la F.O. entre 8.33% y 50.00%.

Cuadro 5. Número total de colonias fúngicas por fechas de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

MUESTREOS EN EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE EL SALVADOR (MUHNES)																
División	Especies	02/05/24	15/05/24	29/05/24	13/06/24	26/06/24	02/07/24	10/07/24	17/07/24	24/07/24	07/08/24	14/08/24	21/08/24	Σ	D.R. (%)	F.O. (%)
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12			
Zygomycota	<i>Mortierella</i> sp.	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Aspergillus glaucus</i>	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	7	1.27	33.33
	<i>Aspergillus oryzae</i>	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.36	16.67
	<i>Aspergillus versicolor</i>	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.73	16.67
	<i>Candida</i> sp.	0	2	1	1	1	0	0	1	5	1	1	0	13	2.36	66.67
	<i>Chrysosporium</i> sp.	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0.36	16.67
	<i>Cladosporium fulvum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	3	0.54	16.67
	<i>Cladosporium herbarum</i>	3	30	13	6	4	15	6	10	2	0	2	4	95	17.24	91.67
Deuteromycota/ Ascomycota	<i>Fusarium</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0.36	16.67
	<i>Geotrichum</i> sp.	0	0	0	0	0	2	0	1	5	5	6	6	25	4.54	50.00
	<i>Gliocladium penicilloides</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Paecilomyces</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Penicillium citreoviride</i>	0	2	0	0	1	2	0	2	0	0	1	1	9	1.63	50.00
	<i>Penicillium granulatum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Penicillium spinulosum</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Penicillium</i> sp.	1	6	4	1	0	1	3	0	0	0	0	0	16	2.90	50.00
	<i>Scopulariopsis constantini</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Trichoderma</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Cryptococcus</i> sp.	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	1	0	5	0.91	33.33
Deuteromycota/ Basidiomycota	<i>Rhizoctonia</i> sp.	0	2	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	2.54	16.67
	<i>Rhodotorula</i> sp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.18	8.33
	<i>Tilletopsis</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0.36	16.67
Deuteromycota	Micelio Estéril Cristalino	7	8	13	26	54	44	23	19	18	51	40	21	324	58.80	100.00
	Micelio Estéril Pigmentado	1	1	1	2	5	3	2	0	1	1	1	1	19	3.45	91.67
TOTAL	25	16	59	47	38	70	69	37	38	33	58	53	33	551		

En la **Figura 7** se presentan los 12 muestreos realizados en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), los muestreos que registraron la mayor cantidad de colonias de hongos del aire fueron: el **M5**, con un total de **70** colonias, de las cuales 54 colonias correspondieron a Micelio Estéril Cristalino; seguido de **M6**, con **69** colonias, de las cuales 44 fueron de Micelio Estéril Cristalino; y **M2**, con **59** colonias, de las cuales 30 pertenecieron a *Cladosporium herbarum*. Los demás muestreos oscilaron entre **16** y **58** colonias, siendo **M1**, **M9** y **M12** los que registraron el menor número de colonias fúngicas.

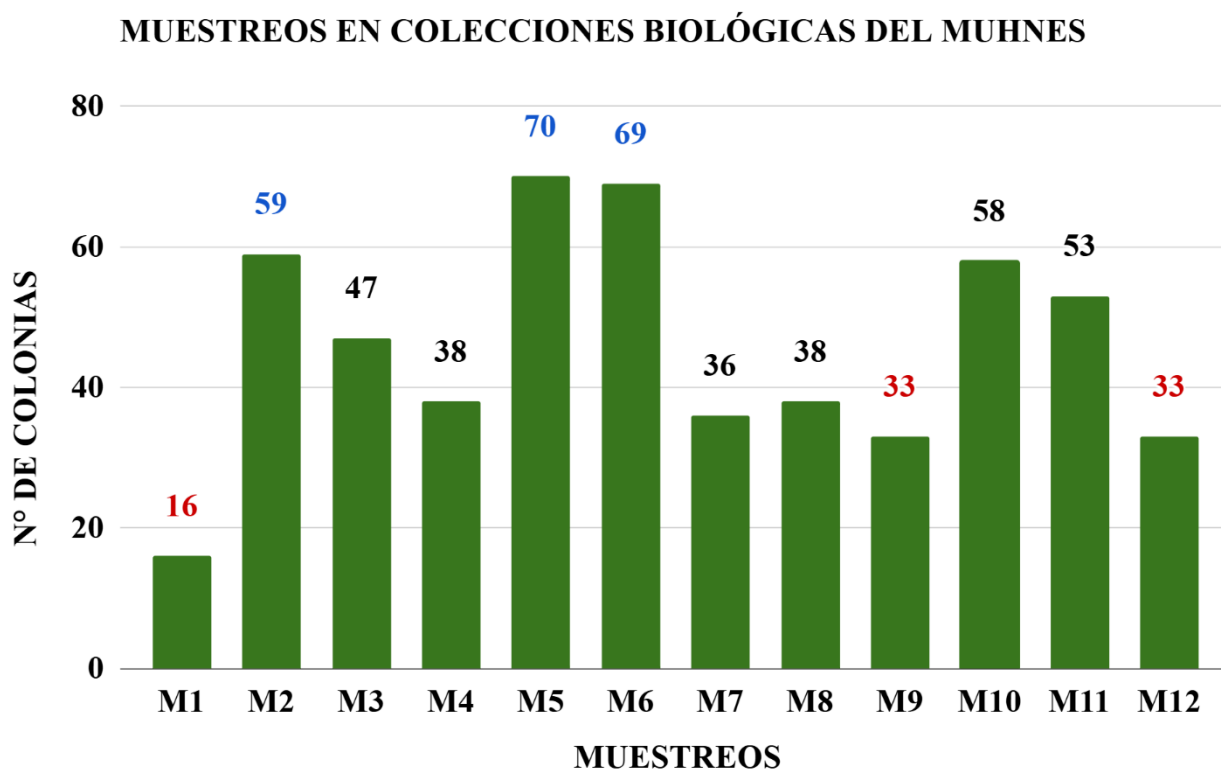


Figura 7. Número total de colonias fúngicas por muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

En las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES) se presentó un número total de **2,209** colonias de hongos del aire, correspondientes a **28** especies diferentes y dos Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado).

En el **Cuadro 6** se presenta los muestreos de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), donde se encontraron las especies que tuvieron mayor número de colonias en el siguiente orden: ***Cladosporium herbarum*** con 929 colonias, una D.R.=42.06% y una F.O.=100%; seguidamente **Micelio Estéril Cristalino** con 873 colonias, una D.R.=39.52% y una F.O.=100%; **Micelio Estéril Pigmentado** con 83 colonias, una D.R.=3.76% y una F.O.=91.67%; ***Penicillium citreoviride*** con 53 colonias, una D.R.=2.40% y una F.O.=83.33%; ***Penicillium sp.*** con 44 colonias, una D.R.=1.99% y una F.O.=83.33%; ***Candida sp. 1*** con 35 colonias, una D.R.=1.58% y una F.O.=83.33%; y ***Cryptococcus sp.*** con 34 colonias, una D.R.=1.54% y una F.O.=91.67%. Las demás especies presentaron números de colonias inferiores, que oscilaron entre 1 y 27; la D.R. osciló entre 0.05% y 1.22%, y la F.O. entre 8.33% y 66.67%.

Cuadro 6. Número total de colonias fúngicas por fechas de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

División	Especies	MUESTREOS EN LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR (UES)												Σ	D.R. (%)	F.O. (%)		
		02/05/24	15/05/24	29/05/24	13/06/24	26/06/24	02/07/24	10/07/24	17/07/24	24/07/24	07/08/24	14/08/24	21/08/24					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12					
Zygomycota	<i>Mortierella</i> sp.	0	3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6	0.27	33.33
	<i>Acremonium</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.05	8.33
	<i>Aspergillus candidus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	4	0.18	25.00
	<i>Aspergillus glaucus</i>	6	4	1	0	0	0	0	1	2	0	0	2	1	1	17	0.77	58.33
	<i>Aspergillus oryzae</i>	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	0.27	41.67
	<i>Aspergillus ustus</i>	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0.27	8.33
	<i>Aspergillus versicolor</i>	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0.72	8.33
	Candida sp. 1	3	0	4	6	7	3	5	1	1	1	1	0	4	4	35	1.58	83.33
	<i>Candida</i> sp. 2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0.09	8.33
	<i>Cladosporium fulvum</i>	0	0	0	0	1	1	3	2	3	3	1	1	1	1	15	0.68	66.67
	Cladosporium herbarum	171	52	375	79	44	28	46	23	20	43	31	17	17	17	929	42.06	100.00
	<i>Fusarium</i> sp.	1	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	1	0	0	7	0.32	50.00
<i>Geotrichum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	5	2	9	5	4	4	4	27	1.22	50.00	
<i>Gliocladium penicilloides</i>	0	0	0	0	0	2	6	1	2	1	0	1	1	1	13	0.59	50.00	
<i>Hemicola</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
<i>Lumulospora</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
<i>Paecilomyces</i> sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.09	8.33	
Penicillium citreoviride	0	4	1	3	5	5	20	2	3	8	2	0	0	0	53	2.40	83.33	
Penicillium sp.	6	12	0	4	6	5	5	1	2	2	1	0	0	0	44	1.99	83.33	
<i>Scopulariopsis communis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
<i>Scopulariopsis constantini</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
<i>Synnematium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
<i>Trichoderma</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
<i>Verticillium</i> sp.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.05	8.33	
Cryptococcus sp.	2	2	0	5	4	5	3	5	1	5	1	1	1	1	34	1.54	91.67	
<i>Rhizoctonia</i> sp.	0	0	0	4	0	0	10	2	1	1	0	1	1	1	19	0.86	50.00	
<i>Rhodotorula</i> sp.	1	0	1	4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0.36	41.67	
<i>Tilletiopsis</i> sp.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.09	8.33	
Deuteromycota/ Basidiomycota	Micelio Estéril Cristalino	84	16	31	44	90	112	86	82	46	99	115	68	68	873	39.52	100.00	
Deuteromycota	Micelio Estéril Pigmentado	6	2	9	12	14	14	10	0	2	7	5	2	2	83	3.76	91.67	
TOTAL	30	305	97	425	163	185	200	126	86	182	167	100	2,209	2,209				

En la **Figura 8** se presentan los 12 muestreos realizados en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), los muestreos que registraron la mayor cantidad de colonias de hongos del aire fueron: el **M3**, con un total de **425** colonias, de las cuales 375 correspondieron a *Cladosporium herbarum*; seguidamente el **M1**, con **305** colonias, de las cuales 171 fueron de *Cladosporium herbarum*; y el **M7**, con un total de **200** colonias, de las cuales 46 pertenecieron a *Cladosporium herbarum*. Los demás muestreos presentaron valores entre **86** y **185** colonias, siendo **M9**, **M2** y **M12** los que registraron el menor número de colonias fúngicas.

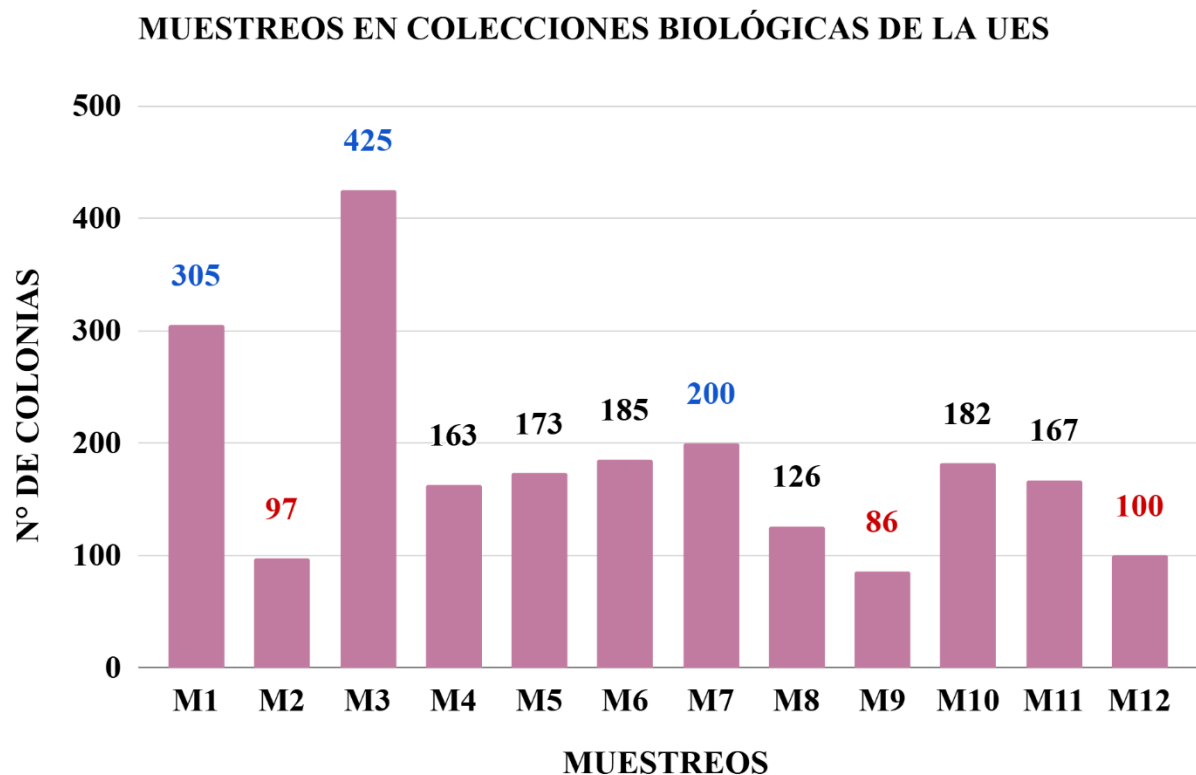


Figura 8. Número total de colonias fúngicas por muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

En el **Cuadro 7** se presenta las especies de hongos del aire encontradas en las colecciones biológicas del MUHNES y UES, de acuerdo a la categoría taxonómica. En el MUHNES se encontraron 4 especies, que no fueron registradas en la UES, mientras que en la UES se presentaron 9 especies que no fueron observadas en el MUHNES. Las especies exclusivas del MUHNES fueron: *Aspergillus fumigatus*, *Chrysosporium* sp., *Penicillium granulatum* y *Penicillium spinulosum*; Y las especies encontradas únicamente en la UES fueron: *Acremonium* sp., *Aspergillus candidus*, *Aspergillus ustus*, *Candida* sp. 2, *Humicola* sp., *Lunulospora* sp., *Scopulariopsis communis*, *Synnematium* sp. y *Verticillium* sp. En ambos casos, todas las especies pertenecen a la División Deuteromycota/Ascomycota

Cuadro 7. Número de especies de hongos del aire de acuerdo a su categoría taxonómica, encontradas en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

División taxonómica	Especies	Nº de especies (MUHNES)	Nº de especies (UES)
Zygomycota	<i>Mortierella</i> sp.	*	*
	Σ Zygomycota	1	1
Deuteromycota/ Ascomycota	<i>Acremonium</i> sp.	-	*
	<i>Aspergillus candidus</i>	-	*
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	*	-
	<i>Aspergillus glaucus</i>	*	*
	<i>Aspergillus oryzae</i>	*	*
	<i>Aspergillus ustus</i>	-	*
	<i>Aspergillus versicolor</i>	*	*
	<i>Candida</i> sp. 1	*	*
	<i>Candida</i> sp. 2	-	*
	<i>Chrysosporium</i> sp.	*	-
	<i>Cladosporium fulvum</i>	*	*
	<i>Cladosporium herbarum</i>	*	*
	<i>Fusarium</i> sp.	*	*
	<i>Geotrichum</i> sp.	*	*
	<i>Gliocladium penicilloides</i>	*	*
	<i>Humicola</i> sp.	-	*
	<i>Lunulospora</i> sp.	-	*
	<i>Paecilomyces</i> sp.	*	*
	<i>Penicillium citreoviride</i>	*	*
	<i>Penicillium granulatum</i>	*	-
	<i>Penicillium spinulosum</i>	*	-
	<i>Penicillium</i> sp.	*	*
	<i>Scopulariopsis communis</i>	-	*
	<i>Scopulariopsis constantini</i>	*	*
	<i>Synnematium</i> sp.	-	*
	<i>Trichoderma</i> sp.	*	*
<i>Verticillium</i> sp.	-	*	
	Σ Deuteromycota/ Ascomycota	18	23
Deuteromycota/ Basidiomycota	<i>Cryptococcus</i> sp.	*	*
	<i>Rhizoctonia</i> sp.	*	*
	<i>Rhodotorula</i> sp.	*	*
	<i>Tilletiopsis</i> sp.	*	*
	Σ Deuteromycota/ Basidiomycota	4	4
Deuteromycota	Micelio Estéril Cristalino	*	*
	Micelio Estéril Pigmentado	*	*
	Σ Deuteromycota	2	2
TOTAL	34	25	30
	* : Presencia - : Ausencia	* : Especies registradas solo en el MUHNES * : Especies registradas solo en la UES	

La **Figura 9**, muestra gráficamente el número de especies de hongos del aire en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de acuerdo a las Divisiones Taxonómicas, donde se observa que la División Deuteromycota/Ascomycota presenta la mayor cantidad de especies fúngicas (18 especies para MUHNES y 23 especies para UES); seguido de la División Deuteromycota/Basidiomycota (4 especies para MUHNES y 4 especies para UES); la División Zygomycota presenta la menor cantidad de especies fúngicas con 1 especie para MUHNES y 1 especie para UES, y 2 Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado) para el MUHNES y la UES.

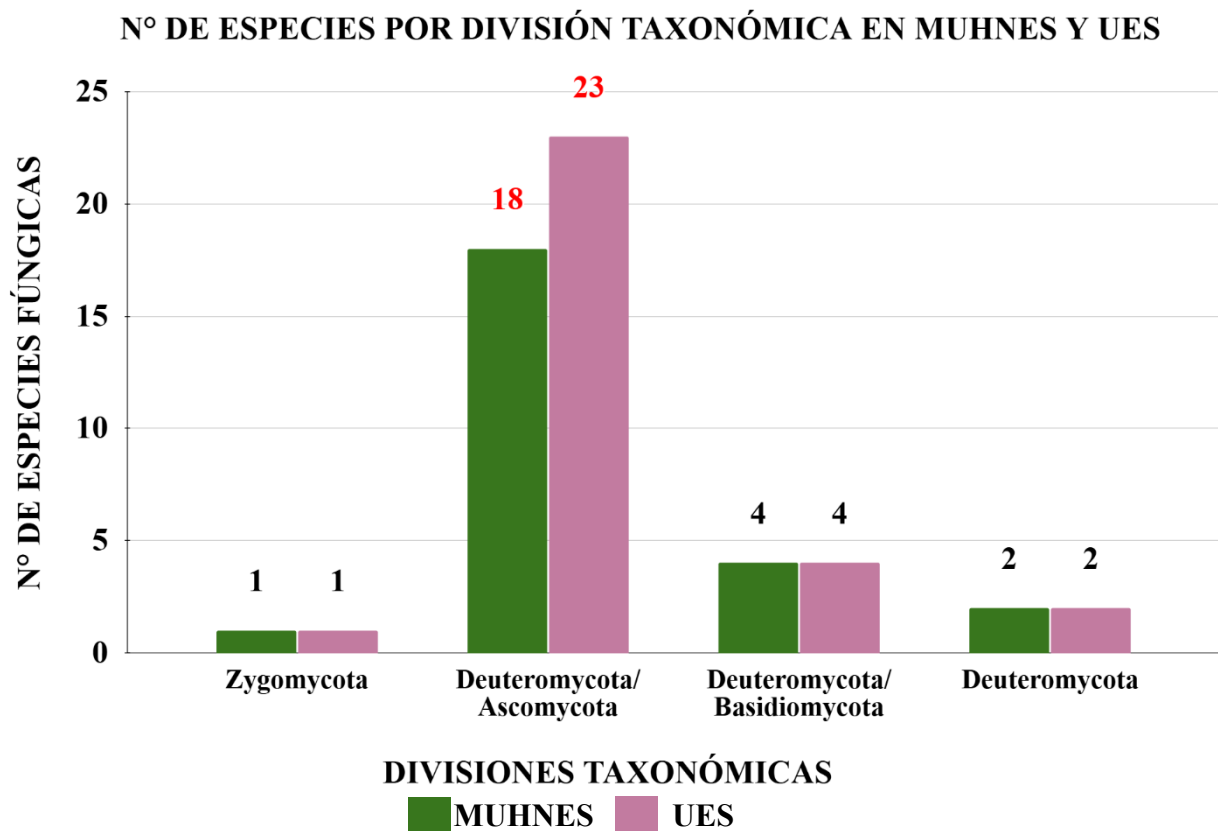


Figura 9. Número de especies fúngicas aéreas de acuerdo a las Divisiones Taxonómicas, encontradas en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

En el **Cuadro 8** se presentan los rangos de D.R. (%) de las especies de hongos del aire identificadas en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES). El rango A incluye las especies con una D.R.= 0.18% a 0.36% (13 especies); el rango B agrupa las especies con una D.R.= 0.54% a 1.63% (5 especies); el rango C corresponde a las especies con una D.R.= 2.36% a 4.54% (4 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado); y el rango D abarca las especies con una D.R.= 17.24% a 58.80% (1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino).

Cuadro 8. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de Densidad Relativa (D.R. %), en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

Especies	D.R. (%)	RANGO MUHNES	D.R. (%)	Nº de Especies
<i>Mortierella</i> sp.	0.18	RANGO A	0.18% - 0.36%	13
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0.18			
<i>Gliocladium penicilloides</i>	0.18			
<i>Paecilomyces</i> sp.	0.18			
<i>Penicillium granulatum</i>	0.18			
<i>Penicillium spinulosum</i>	0.18			
<i>Scopulariopsis constantini</i>	0.18			
<i>Trichoderma</i> sp.	0.18			
<i>Rhodotorula</i> sp.	0.18			
<i>Aspergillus oryzae</i>	0.36			
<i>Chrysosporium</i> sp.	0.36			
<i>Fusarium</i> sp.	0.36			
<i>Tilletiopsis</i> sp.	0.36			
<i>Cladosporium fulvum</i>	0.54	RANGO B	0.54% - 1.63%	5
<i>Aspergillus versicolor</i>	0.73			
<i>Cryptococcus</i> sp.	0.91			
<i>Aspergillus glaucus</i>	1.27			
<i>Penicillium citreoviride</i>	1.63			
<i>Candida</i> sp.	2.36	RANGO C	2.36% - 4.54%	5
<i>Rhizoctonia</i> sp.	2.54			
<i>Penicillium</i> sp.	2.90			
Micelio Estéril Pigmentado	3.45			
<i>Geotrichum</i> sp.	4.54			
<i>Cladosporium herbarum</i>	17.24	RANGO D	17.24% - 58.80%	2
Micelio Estéril Cristalino	58.80			
25				25

La **Figura 10** representa de manera gráfica los rangos de la Densidad Relativa (%) de las 28 especies y los 2 tipos de Micelios Estériles encontrados en el Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES). Estas especies se agrupan en cuatro rangos: el rango A incluye especies con una D.R. entre 0.18% a 0.36% (13 especies); el rango B abarca aquellas con una D.R.=0.54% a 1.63% (5 especies); el rango C agrupa las especies con una D.R.=2.36% a 4.54% (4 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado); y el rango D incluye las especies con una D.R.=17.24% a 58.80% (1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino).

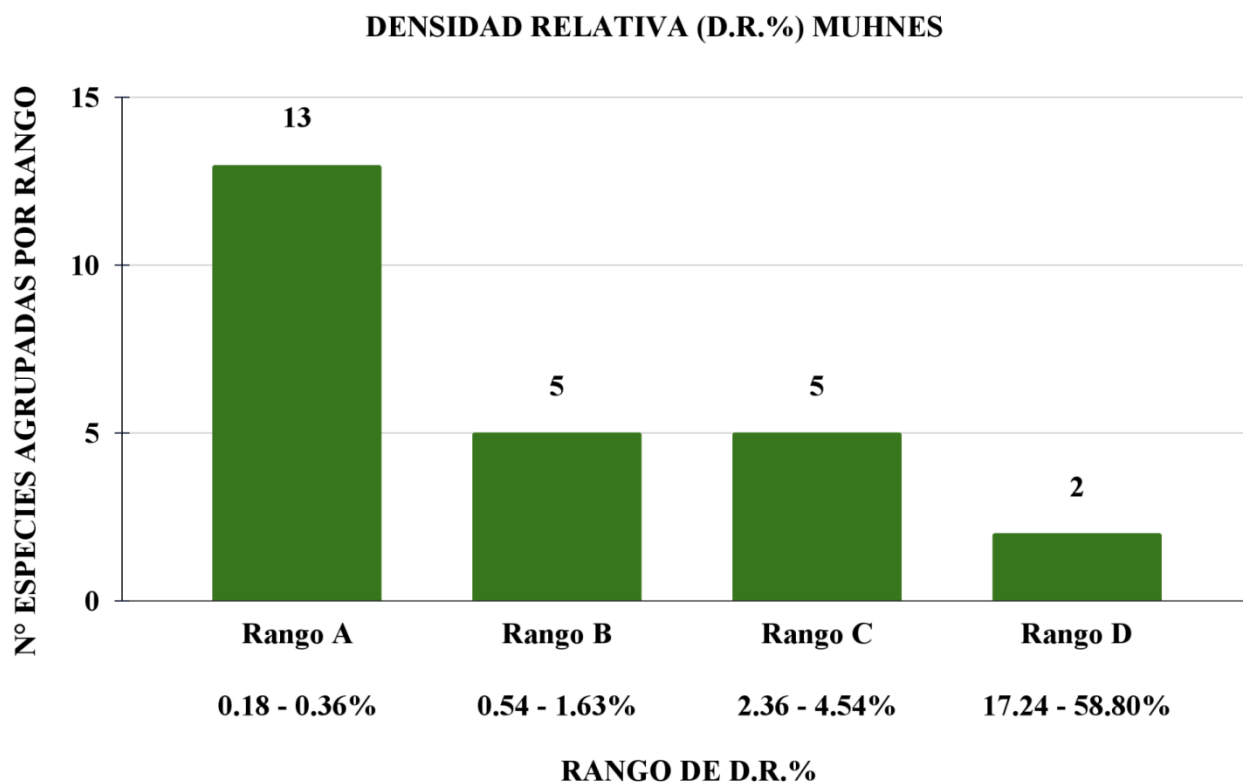


Figura 10. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Densidad Relativa (D.R.%), en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 9**, muestra a las especies fúngicas aéreas en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES) agrupadas por rangos de Densidad Relativa (%), donde el rango A, representa las especies que están entre una D.R.= 0.05% a 0.09% (11 especies); el rango B, las especies que presentaron una D.R.=0.18% a 0.86% (11 especies); el rango C, las especies que presentaron una D.R.=1.22% a 3.76% (5 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado) y el rango D, las especies que presentaron una D.R.=39.52% a 42.06% (1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino).

Cuadro 9. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de Densidad Relativa (D.R.%), en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Especies	D.R. (%)	RANGO UES	D.R. (%)	N° de Especies
<i>Acremonium</i> sp.	0.05	RANGO A	0.05% - 0.09%	11
<i>Humicola</i> sp.	0.05			
<i>Lunulospora</i> sp.	0.05			
<i>Scopulariopsis communis</i>	0.05			
<i>Scopulariopsis constantini</i>	0.05			
<i>Synnematium</i> sp.	0.05			
<i>Trichoderma</i> sp.	0.05			
<i>Verticillium</i> sp.	0.05			
<i>Candida</i> sp. 2	0.09			
<i>Paecilomyces</i> sp.	0.09			
<i>Tilletiopsis</i> sp.	0.09			
<i>Aspergillus candidus</i>	0.18	RANGO B	0.18% - 0.86%	11
<i>Mortierella</i> sp.	0.27			
<i>Aspergillus oryzae</i>	0.27			
<i>Aspergillus ustus</i>	0.27			
<i>Fusarium</i> sp.	0.32			
<i>Rhodotorula</i> sp.	0.36			
<i>Gliocladium penicilloides</i>	0.59			
<i>Cladosporium fulvum</i>	0.68			
<i>Aspergillus versicolor</i>	0.72			
<i>Aspergillus glaucus</i>	0.77			
<i>Rhizoctonia</i> sp.	0.86			
<i>Geotrichum</i> sp.	1.22	RANGO C	1.22% - 3.76%	6
<i>Cryptococcus</i> sp.	1.54			
<i>Candida</i> sp. 1	1.58			
<i>Penicillium</i> sp.	1.99			
<i>Penicillium citreoviride</i>	2.40			
Micelio Estéril Pigmentado	3.76			
Micelio Estéril Cristalino	39.52	RANGO D	39.52% - 42.06%	2
<i>Cladosporium herbarum</i>	42.06			
30				30

La **Figura 11**, muestra gráficamente los rangos de la Densidad Relativa (%) de las 28 especies y los 2 Micelios Estériles encontrados en la Universidad de El Salvador (UES). Estas especies se presentan en 4 rangos: el rango A, agrupa las especies que tienen una D.R.=0.05% a 0.09% (11 especies); el rango B, las especies que presentaron una D.R.=0.18% a 0.86% (11 especies); el rango C, las especies que presentaron D.R.=1.22% a 3.76% (5 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado) y el rango D, las especies que presentaron D.R.=39.52% a 42.06% (1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino).

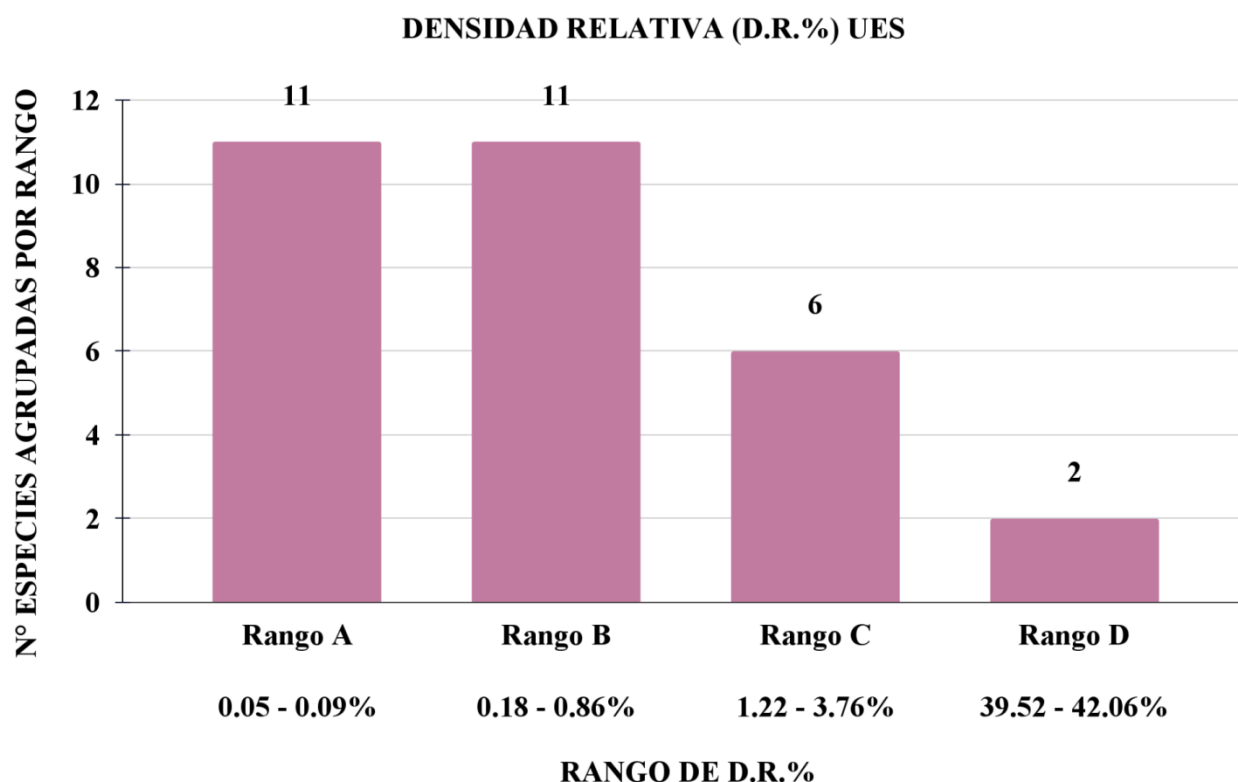


Figura 11. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Densidad Relativa (D.R.%), en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 10**, presenta el número de especies de hongos del aire agrupadas por rangos de Frecuencia de Ocurrencia (%) en cada muestreo realizado en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES). En el rango A se agrupan las especies con una F.O.= 8.33%-16.17% (16 especies); el rango B incluye las especies con una F.O.=33.33%-50% (5 especies); el rango C abarca aquellas con una F.O.= 66.67%-91.67% (2 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado); y el rango D está compuesto por el Micelio Estéril Cristalino con una F.O. del 100%.

Cuadro 10. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas de acuerdo a los rangos de Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

Especies	F.O. (%)	RANGO MUHNES	F.O. (%) por muestreos	N° de Especies
<i>Mortierella</i> sp.	8.33	RANGO A	8.33% - 16.67%	16
<i>Aspergillus fumigatus</i>	8.33			
<i>Gliocladium penicilloides</i>	8.33			
<i>Paecilomyces</i> sp.	8.33			
<i>Penicillium granulatum</i>	8.33			
<i>Penicillium spinulosum</i>	8.33			
<i>Scopulariopsis constantini</i>	8.33			
<i>Trichoderma</i> sp.	8.33			
<i>Rhodotorula</i> sp.	8.33			
<i>Aspergillus oryzae</i>	16.67			
<i>Aspergillus versicolor</i>	16.67			
<i>Chrysosporium</i> sp.	16.67			
<i>Cladosporium fulvum</i>	16.67			
<i>Fusarium</i> sp.	16.67			
<i>Rhizoctonia</i> sp.	16.67			
<i>Tilletiopsis</i> sp.	16.67			
<i>Aspergillus glaucus</i>	33.33	RANGO B	33.33% - 50.00%	5
<i>Cryptococcus</i> sp.	33.33			
<i>Geotrichum</i> sp.	50.00			
<i>Penicillium citreoviride</i>	50.00			
<i>Penicillium</i> sp.	50.00	RANGO C	66.67% - 91.67%	3
<i>Candida</i> sp.	66.67			
<i>Cladosporium herbarum</i>	91.67	RANGO D	100%	1
Micelio Estéril Pigmentado	91.67			
Micelio Estéril Cristalino	100.00			
25				25

La **Figura 12**, representa gráficamente la Frecuencia de Ocurrencia (%) de las 23 especies y los 2 tipos de Micelios Estériles encontrados en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**). Estas especies están distribuidas en cuatro rangos: el rango A agrupa las especies con una F.O. entre 8.33%-16.17% (16 especies); el rango B incluye las especies con una F.O.=33.33%-50% (5 especies); el rango C corresponde a las especies con una F.O.=66,67%-91,67% (2 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado); y el rango D está compuesto por el Micelio Estéril Cristalino con una F.O. del 100%.

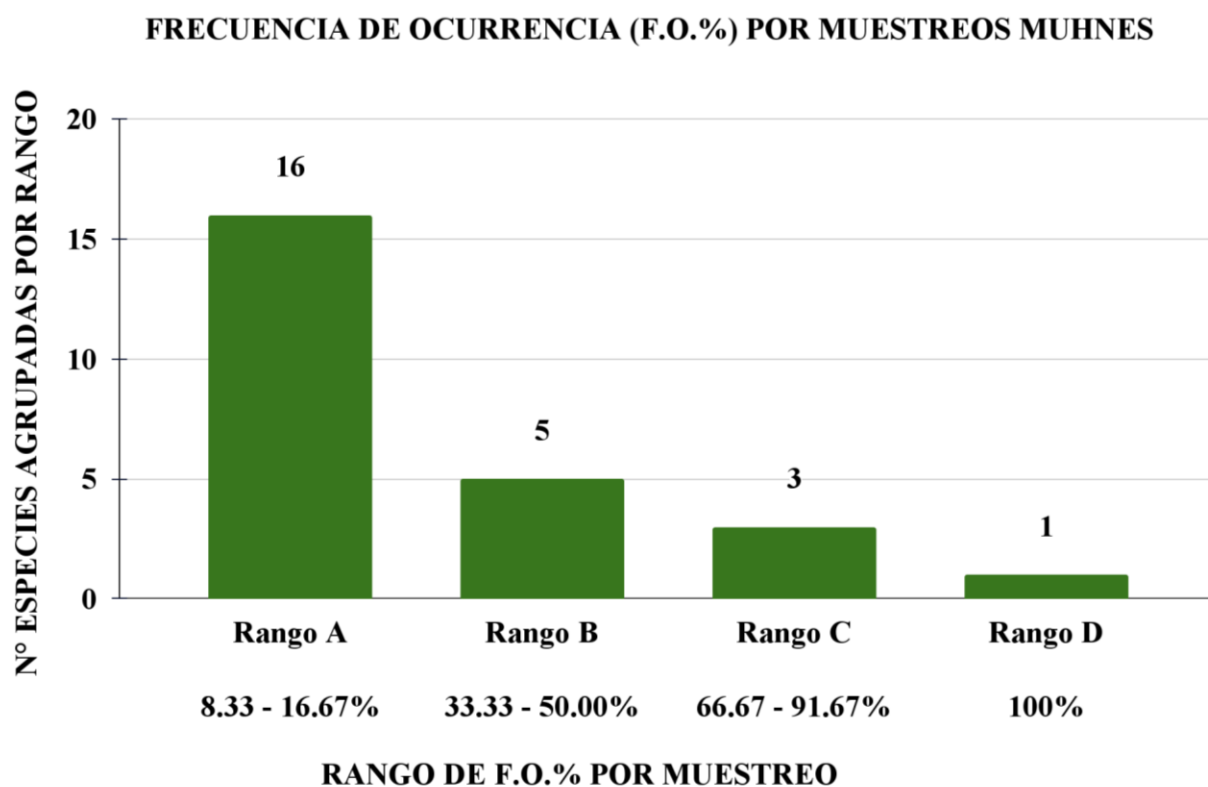


Figura 12. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 11**, muestra el número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rangos de Frecuencia de Ocurrencia (%) por muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES) donde, en el rango A, se encuentran las especies que presentaron una F.O.= 8.33% (13 especies); el rango B, las especies que presentaron una F.O.=25.00%-58.33% (9 especies); el rango C, las especies que presentaron una F.O.= 66.67%-91.67% (5 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado) y el rango D, las especies que presentaron una F.O.= 100% (1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino).

Cuadro 11. Número de especies fúngicas agrupadas por rangos de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Especies	F.O. (%)	RANGO UES	F.O. (%) por muestreos	N° de Especies
<i>Acremonium</i> sp.	8.33	RANGO A	8.33%	13
<i>Aspergillus ustus</i>	8.33			
<i>Aspergillus versicolor</i>	8.33			
<i>Candida</i> sp. 2	8.33			
<i>Humicola</i> sp.	8.33			
<i>Lunulospora</i> sp.	8.33			
<i>Paecilomyces</i> sp.	8.33			
<i>Scopulariopsis communis</i>	8.33			
<i>Scopulariopsis constantini</i>	8.33			
<i>Synnematium</i> sp.	8.33			
<i>Trichoderma</i> sp.	8.33			
<i>Verticillium</i> sp.	8.33			
<i>Tilletiopsis</i> sp.	8.33			
<i>Aspergillus candidus</i>	25.00	RANGO B	25.00% - 58.33%	9
<i>Mortierella</i> sp.	33.33			
<i>Aspergillus oryzae</i>	41.67			
<i>Rhodotorula</i> sp.	41.67			
<i>Fusarium</i> sp.	50.00			
<i>Geotrichum</i> sp.	50.00			
<i>Gliocladium penicilloides</i>	50.00			
<i>Rhizoctonia</i> sp.	50.00			
<i>Aspergillus glaucus</i>	58.33			
<i>Cladosporium fulvum</i>	66.67	RANGO C	66.67% - 91.67%	6
<i>Candida</i> sp. 1	83.33			
<i>Penicillium citreoviride</i>	83.33			
<i>Penicillium</i> sp.	83.33			
<i>Cryptococcus</i> sp.	91.67			
Micelio Estéril Pigmentado	91.67			
<i>Cladosporium herbarum</i>	100.00	RANGO D	100%	2
Micelio Estéril Cristalino	100.00			
30				30

La **Figura 13**, muestra gráficamente el número de especies agrupados por rangos de Frecuencia de Ocurrencia (%) por muestreo de las 28 especies y los 2 Micelios Estériles encontrados en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES). Estas especies se presentan en 4 rangos: el rango A, agrupa las especies que tienen una F.O.=8.33% (13 especies); el rango B, las especies que presentaron F.O.=25.00%-58.33% (9 especies); el rango C, las especies que presentaron F.O.= 66.67%-91.67% (5 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado) y el rango D, las especies con F.O. de 100% (1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino).

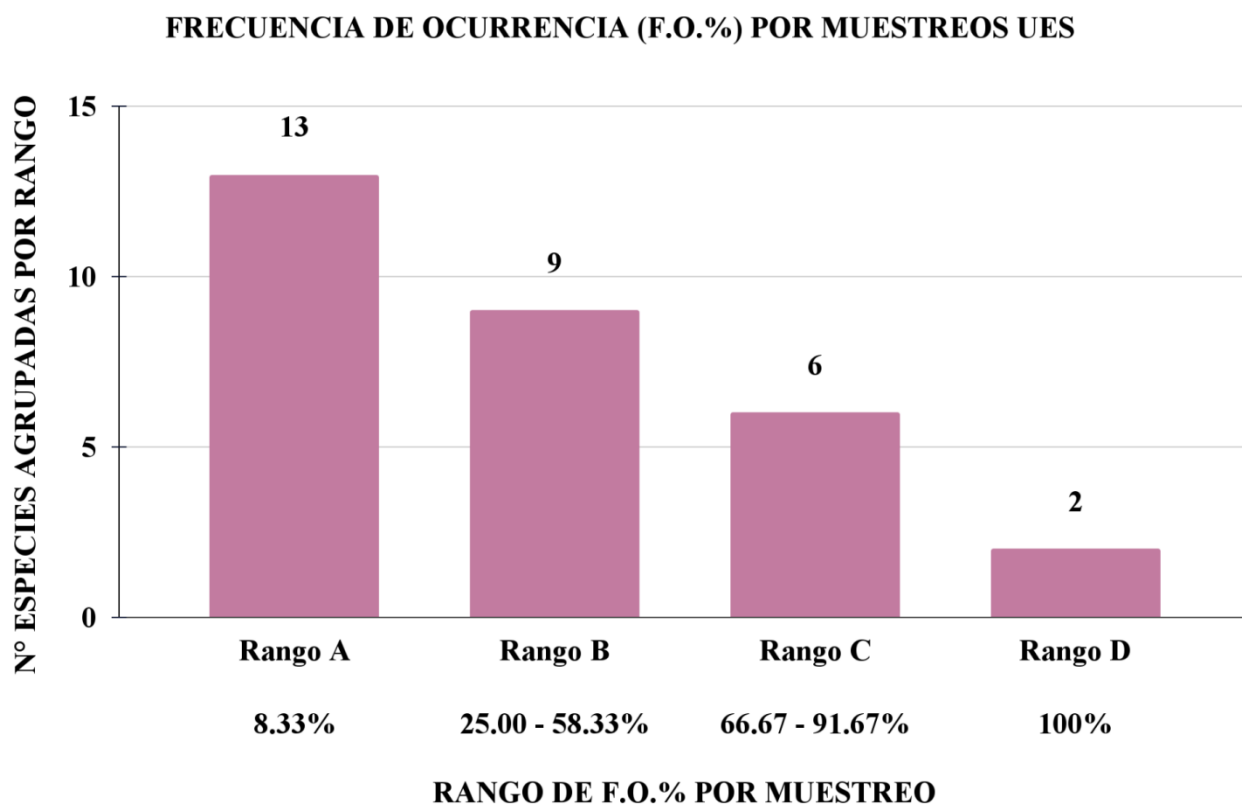


Figura 13. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por muestreos, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 12**, presenta el número total de colonias fúngicas registradas por sitios de muestreo en el Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES). Las especies con una F.O.=100% y mayor cantidad de colonias fue del **Micelio Estéril Cristalino**, con un total de 324 colonias y una D.R.=58.80%. Le sigue *Cladosporium herbarum* con 95 colonias y una D.R.=17.24%; *Geotrichum sp.* con 25 colonias y una D.R.=4.54%; **Micelio Estéril Pigmentado** con 19 colonias y una D.R.=3.45%; *Penicillium sp.* con 16 colonias y una D.R.=2.90%; *Rhizoctonia sp.* con 14 colonias y una D.R.=2.54%; y *Candida sp.* con 13 colonias y una D.R.=2.36%. Las especies menos representativas, se encontraron entre 1 y 9 colonias, las cuales presentaron una Densidad Relativa entre 0.18% y 1.63% y una Frecuencia de Ocurrencia entre el 20.00% y 80.00%.

Cuadro 12. Número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

División	Especies	MUHNES					Σ	D.R. (%)	F.O. (%) por sitios
		Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5			
		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ			
Zygomycota	<i>Mortierella sp.</i>	0	0	1	0	0	1	0.18	20.00
Deuteromycota/ Ascomycota	<i>Aspergillus fumigatus</i>	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00
	<i>Aspergillus glaucus</i>	1	3	3	0	0	7	1.27	60.00
	<i>Aspergillus oryzae</i>	1	0	0	1	0	2	0.36	40.00
	<i>Aspergillus versicolor</i>	4	0	0	0	0	4	0.73	20.00
	<i>Candida sp.</i>	5	3	3	2	0	13	2.36	80.00
	<i>Chrysosporium sp.</i>	0	1	1	0	0	2	0.36	40.00
	<i>Cladosporium fulvum</i>	1	1	0	0	1	3	0.54	60.00
	<i>Cladosporium herbarum</i>	22	11	29	8	25	95	17.24	100.00
	<i>Fusarium sp.</i>	1	0	0	1	0	2	0.36	40.00
	<i>Geotrichum sp.</i>	5	5	6	3	6	25	4.54	100.00
	<i>Gliocladium penicilloides</i>	0	0	1	0	0	1	0.18	20.00
	<i>Paecilomyces sp.</i>	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00
	<i>Penicillium citreoviride</i>	5	1	2	1	0	9	1.63	80.00
	<i>Penicillium granulatum</i>	0	0	0	0	1	1	0.18	20.00
	<i>Penicillium spinulosum</i>	0	0	1	0	0	1	0.18	20.00
	<i>Penicillium sp.</i>	5	4	1	1	5	16	2.90	100.00
	<i>Scopulariopsis constantini</i>	0	1	0	0	0	1	0.18	20.00
	<i>Trichoderma sp.</i>	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00
Deuteromycota/ Basidiomycota	<i>Cryptococcus sp.</i>	1	1	2	1	0	5	0.91	80.00
	<i>Rhizoctonia sp.</i>	0	1	0	0	13	14	2.54	40.00
	<i>Rhodotorula sp.</i>	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00
	<i>Tilletiopsis sp.</i>	1	1	0	0	0	2	0.36	40.00
Deuteromycota	Micelio Estéril Cristalino	84	48	60	62	70	324	58.80	100.00
	Micelio Estéril Pigmentado	4	2	3	5	5	19	3.45	100.00
TOTAL	25	144	83	113	85	126	551		

La **Figura 14** es la Distribución del número total de colonias fúngicas en los 5 sitios muestreados en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**) realizados entre mayo y agosto de 2024. Los sitios que registraron el mayor número de colonias de hongos del aire fueron: el **S1** (Área de Trabajo del Herbario), con un total de 144 colonias; seguido del **S5** (Área Didáctica), con 126 colonias; y el **S3** (Zoología), con 113 colonias. Los sitios con menor cantidad de colonias fúngicas aéreas fueron el **S4** (Paleontología), con 85 colonias, y el **S2** (Herbario), con 83 colonias.

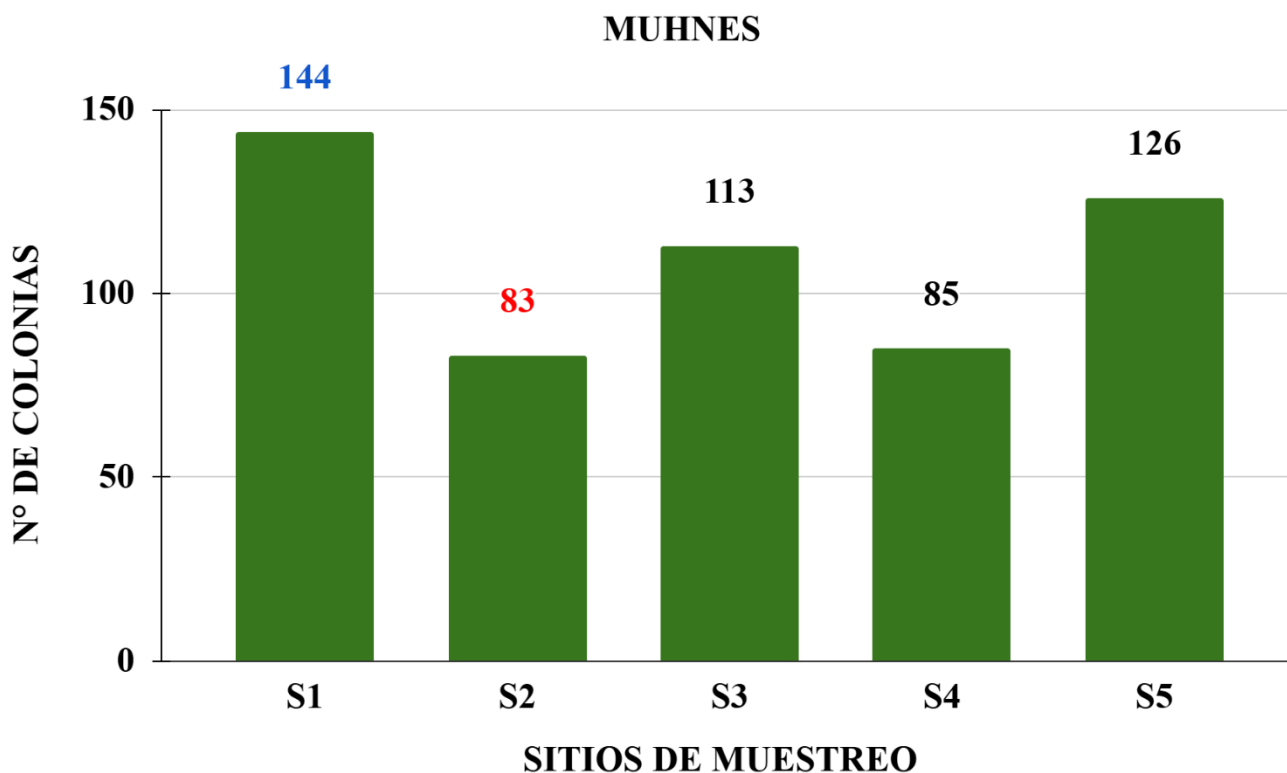


Figura 14. Número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 13**, presenta el número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo en la Universidad de El Salvador (UES), de las cuales la especie con mayor número de colonias fue *Cladosporium herbarum*, presentó un número total de 929 colonias con una D.R.=42.06%; seguido del **Micelio Estéril Cristalino**, que presentó un número total de 873 colonias, con una D.R.= 39.52%; **Micelio Estéril Pigmentado** con 83 colonias, con una D.R.=3.76%; *Penicillium citreoviride* con 53 colonias, con una D.R.=2.40%; *Penicillium sp.* con 44 colonias, con una D.R.=1.99%; *Candida sp. 1* con 35 colonias, con una D.R.=1.58%; *Cryptococcus sp.* con 34 colonias, con una D.R.=1.54%; *Geotrichum sp.* con 27 colonias, con una D.R.=1.22%; *Rhizoctonia sp.* con 19 colonias, con una D.R.=0.86%; *Aspergillus glaucus* con 17 colonias, con una D.R.=0.77%; *Aspergillus versicolor* con 16 colonias, con una D.R.=0.72%; y *Cladosporium fulvum* con 15 colonias, y una D.R.=0.68%. Todas estas especies presentaron una F.O.=100%. Las especies restantes y menos representativas, se encontraron entre 1 a 13 colonias, estas especies tuvieron una Densidad Relativa entre 0.05% a 0.59% y una Frecuencia de Ocurrencia entre 20.00% a 100.00%.

Cuadro 13. Número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

División	Especies	UES					Σ	D.R. (%)	F.O. (%) por sitios
		Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5			
		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ			
Zygomycota	Mortierella sp.	1	1	2	1	1	6	0.27	100.00
Deuteromycota/ Ascomycota	<i>Acremonium sp.</i>	0	0	0	0	1	1	0.05	20.00
	<i>Aspergillus candidus</i>	0	1	1	1	1	4	0.18	80.00
	<i>Aspergillus glaucus</i>	5	0	9	0	3	17	0.77	60.00
	<i>Aspergillus oryzae</i>	1	0	4	0	1	6	0.27	60.00
	<i>Aspergillus ustus</i>	6	0	0	0	0	6	0.27	20.00
	<i>Aspergillus versicolor</i>	0	0	0	13	3	16	0.72	40.00
	Candida sp. 1	5	5	11	12	2	35	1.58	100.00
	<i>Candida sp. 2</i>	1	0	0	0	1	2	0.09	40.00
	<i>Cladosporium fulvum</i>	2	4	0	1	8	15	0.68	80.00
	Cladosporium herbarum	160	223	309	89	148	929	42.06	100.00
	<i>Fusarium sp.</i>	0	3	2	0	2	7	0.32	60.00
	Geotrichum sp.	11	4	1	3	8	27	1.22	100.00
	<i>Gliocladium penicilloides</i>	0	0	2	11	0	13	0.59	40.00
	<i>Humicola sp.</i>	0	0	0	0	1	1	0.05	20.00
	<i>Lunulospora sp.</i>	1	0	0	0	0	1	0.05	20.00
	<i>Paecilomyces sp.</i>	0	0	1	1	0	2	0.09	40.00
	Penicillium citreoviride	12	4	4	30	3	53	2.40	100.00
	Penicillium sp.	6	9	8	15	6	44	1.99	100.00
	<i>Scopulariopsis communis</i>	1	0	0	0	0	1	0.05	20.00
	<i>Scopulariopsis constantini</i>	0	0	0	1	0	1	0.05	20.00
<i>Synnematium sp.</i>	0	0	0	1	0	1	0.05	20.00	
<i>Trichoderma sp.</i>	0	0	1	0	0	1	0.05	20.00	
<i>Verticillium sp.</i>	0	1	0	0	0	1	0.05	20.00	
Deuteromycota/ Basidiomycota	Cryptococcus sp.	8	6	12	2	6	34	1.54	100.00
	Rhizoctonia sp.	1	5	5	4	4	19	0.86	100.00
	<i>Rhodotorula sp.</i>	3	3	1	0	1	8	0.36	80.00
	<i>Tilletiopsis sp.</i>	0	2	0	0	0	2	0.09	20.00
Deuteromycota	Micelio Estéril Cristalino	149	227	189	114	194	873	39.52	100.00
	Micelio Estéril Pigmentado	30	19	13	6	15	83	3.76	100.00
TOTAL	30	403	517	575	305	409	2,209		

La **Figura 15** es la Distribución del número total de colonias fúngicas por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), realizados de mayo a agosto de 2024. Se refleja que el **S3** (Museo de Vertebrados e Invertebrados) presentó el mayor número de colonias fúngicas con un total de 575; seguido del **S2** (Herbario), con 517 colonias; el **S5** (Ficología) con 409 colonias; y el **S1** (Área de Trabajo del Herbario), con 403 colonias. El sitio con menor número de colonias fúngicas fue el **S4** (Entomología), con un total de 305 colonias.

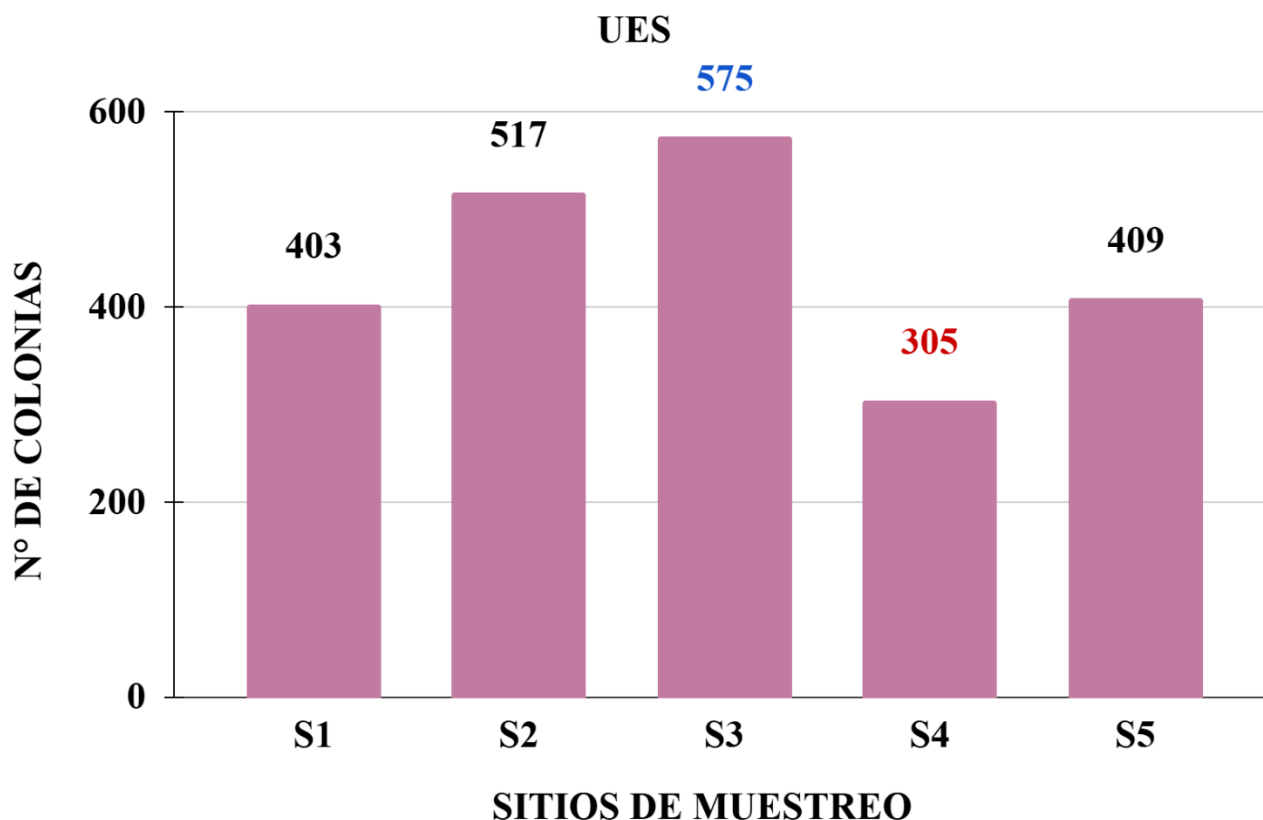


Figura 15. Número total de colonias fúngicas aéreas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 14**, muestra a las especies fúngicas aéreas agrupadas por rangos de Frecuencia de Ocurrencia (%) en los sitios de muestreo de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES). En el rango A se encuentran las especies con una F.O.= 20%-40% (15 especies); mientras que el rango B abarca las especies con una F.O.=60%-80% (5 especies); el rango C incluye aquellas con una F.O.=100% (3 especies), y el rango D también comprende los Micelios Estériles con una F.O.=100% (2).

Cuadro 14. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas de acuerdo a los rangos de Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

Especies	F.O. (%)	RANGO MUHNES	F.O. (%) por sitios	Nº de Especies
<i>Mortierella</i> sp.	20.00	RANGO A	20% - 40%	15
<i>Aspergillus fumigatus</i>	20.00			
<i>Aspergillus versicolor</i>	20.00			
<i>Gliocladium penicilloides</i>	20.00			
<i>Paecilomyces</i> sp.	20.00			
<i>Penicillium granulatum</i>	20.00			
<i>Penicillium spinulosum</i>	20.00			
<i>Scopulariopsis constantini</i>	20.00			
<i>Trichoderma</i> sp.	20.00			
<i>Rhodotorula</i> sp.	20.00			
<i>Aspergillus oryzae</i>	40.00			
<i>Chrysosporium</i> sp.	40.00			
<i>Fusarium</i> sp.	40.00			
<i>Rhizoctonia</i> sp.	40.00			
<i>Tilletiopsis</i> sp.	40.00			
<i>Aspergillus glaucus</i>	60.00	RANGO B	60% - 80%	5
<i>Cladosporium fulvum</i>	60.00			
<i>Candida</i> sp.	80.00			
<i>Penicillium citreoviride</i>	80.00			
<i>Cryptococcus</i> sp.	80.00			
<i>Cladosporium herbarum</i>	100.00	RANGO C	100%	3
<i>Geotrichum</i> sp.	100.00			
<i>Penicillium</i> sp.	100.00			
Micelio Estéril Cristalino	100.00	RANGO D	100%	2
Micelio Estéril Pigmentado	100.00			
25				25

La **Figura 16**, presenta de forma gráfica la Frecuencia de Ocurrencia (%) de las 23 especies y los 2 Micelios Estériles identificados en diferentes sitios de muestreo de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES). Las especies se organizan en cuatro rangos: el rango A agrupa las especies con una F.O.=20%-40% (15 especies); el rango B incluye las especies con una F.O.=60%-80% (5 especies); el rango C abarca aquellas con una F.O.=100% (3 especies); y el rango D comprende los Micelios Estériles con una F.O.=100% (2).

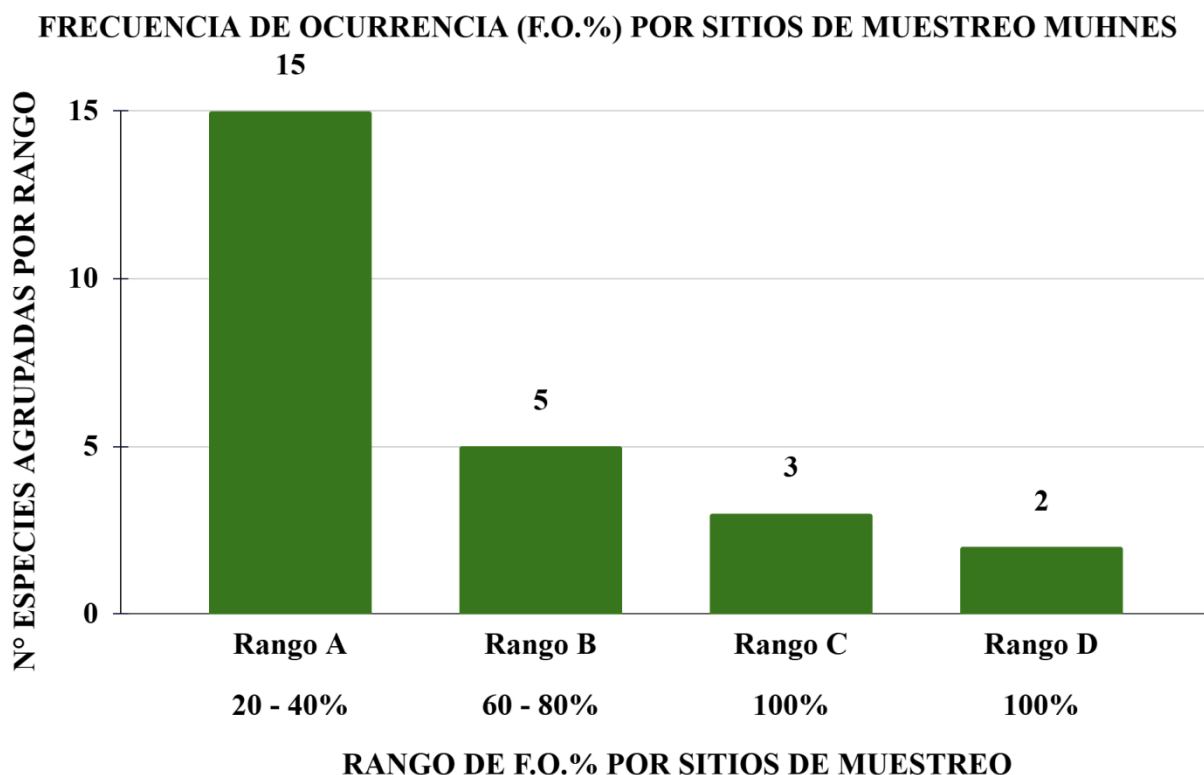


Figura 16. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 15**, muestra las especies fúngicas agrupadas por rangos de Frecuencia de Ocurrencia (%) por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), donde, en el rango A, se encuentran las especies que presentaron una F.O.=20% -40% (14 especies); el rango B, las especies que presentaron F.O.=60%-80% (6 especies); el rango C, las especies que presentaron F.O.=100% (8 especies) y el rango D, los Micelios Estériles que presentaron una F.O.=100% (2).

Cuadro 15. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas de acuerdo a los rangos de Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Especies	F.O. (%)	RANGO UES	F.O. (%) por sitios	Nº de Especies
<i>Acremonium</i> sp.	20.00	RANGO A	20% - 40%	14
<i>Aspergillus ustus</i>	20.00			
<i>Humicola</i> sp.	20.00			
<i>Lunulospora</i> sp.	20.00			
<i>Scopulariopsis communis</i>	20.00			
<i>Scopulariopsis constantini</i>	20.00			
<i>Synnematium</i> sp.	20.00			
<i>Trichoderma</i> sp.	20.00			
<i>Verticillium</i> sp.	20.00			
<i>Tilletiopsis</i> sp.	20.00			
<i>Aspergillus versicolor</i>	40.00			
<i>Candida</i> sp. 2	40.00			
<i>Gliocladium penicilloides</i>	40.00			
<i>Paecilomyces</i> sp.	40.00			
<i>Aspergillus glaucus</i>	60.00	RANGO B	60% - 80%	6
<i>Aspergillus oryzae</i>	60.00			
<i>Fusarium</i> sp.	60.00			
<i>Aspergillus candidus</i>	80.00			
<i>Cladosporium fulvum</i>	80.00			
<i>Rhodotorula</i> sp.	80.00			
<i>Mortierella</i> sp.	100.00	RANGO C	100%	8
<i>Candida</i> sp. 1	100.00			
<i>Cladosporium herbarum</i>	100.00			
<i>Geotrichum</i> sp.	100.00			
<i>Penicillium citreoviride</i>	100.00			
<i>Penicillium</i> sp.	100.00			
<i>Cryptococcus</i> sp.	100.00			
<i>Rhizoctonia</i> sp.	100.00			
Micelio Estéril Cristalino	100.00	RANGO D	100%	2
Micelio Estéril Pigmentado	100.00			
30				30

La **Figura 17**, muestra gráficamente la Frecuencia de Ocurrencia (%) de las 28 especies y los 2 Micelios Estériles encontrados por sitios de muestreo en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES). Estas especies se presentan en 4 rangos: el rango A, agrupa las especies que presentaron una F.O.=20%-40% (14 especies); el rango B, las especies que presentaron F.O.=60%-80% (6 especies); el rango C, las especies que presentaron F.O.=100% (8 especies) y el rango D, los Micelios Estériles con F.O.=100% (2).

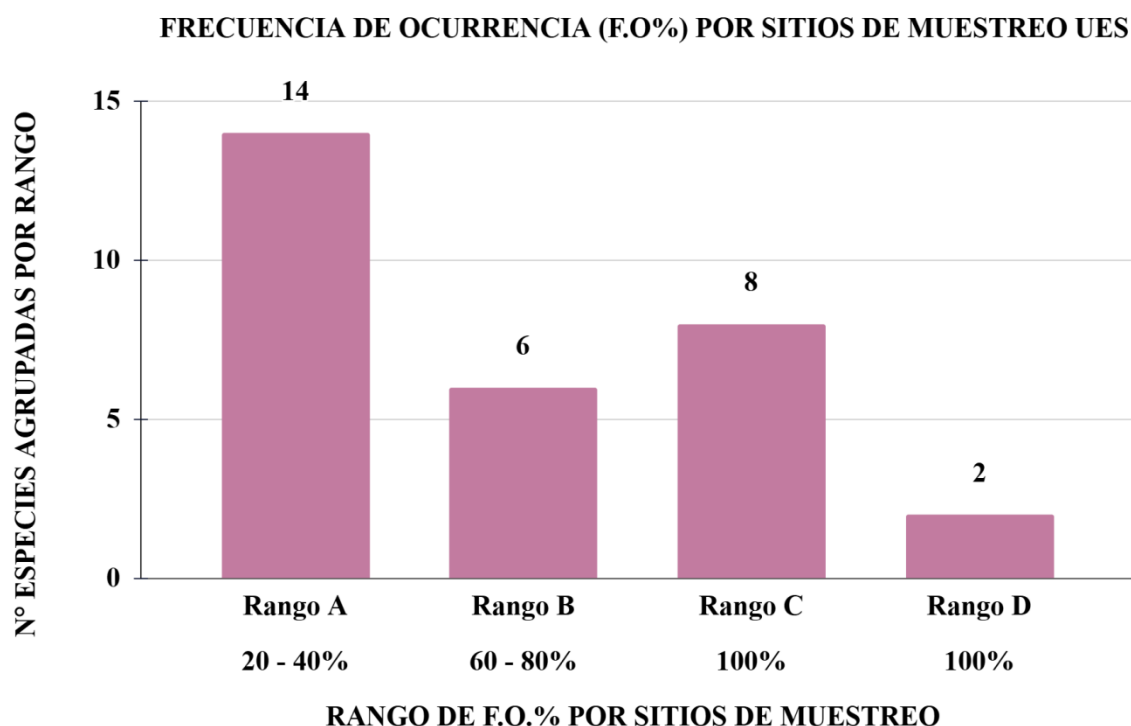


Figura 17. Número de especies fúngicas aéreas agrupadas por rango de acuerdo a la Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 16** muestra el número total de colonias fúngicas registradas por sitios de muestreo en el Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**) y en la Universidad de El Salvador (**UES**). Las especies con mayor cantidad de colonias en ambos lugares fueron: el **Micelio Estéril Cristalino**, con un total de 1,197 colonias (324 en el MUHNES y 873 en la UES) y una D.R.=43.37%.

Le sigue *Cladosporium herbarum*, con un total de 1,024 colonias (95 en el MUHNES y 929 en la UES) y una D.R.=37.10%. Luego, el **Micelio Estéril Pigmentado**, con 102 colonias (19 en el MUHNES y 83 en la UES) y una D.R.=3.70%; le sigue *Penicillium citreoviride* con 62 colonias (9 en el MUHNES y 53 en la UES) y una D.R.=2.25%; *Penicillium sp.*, con 60 colonias (16 en el MUHNES y 44 en la UES) y una D.R.=2.17%; *Geotrichum sp.*, con un total de 52 colonias (25 en el MUHNES y 27 en la UES) y una D.R.=1.88%; *Candida sp. 1*, con un total de 48 colonias (13 en el MUHNES y 35 en la UES) y una D.R.=1.74%; y *Cryptococcus sp.*, con un total de 39 colonias (5 en el MUHNES y 34 en la UES) y una D.R.=1.41%.

Todas estas especies presentaron una Frecuencia de Ocurrencia (F.O.) del 90.00% y 100.00%. Las especies menos representativas se registraron entre 1 y 33 colonias, las cuales presentaron una Densidad Relativa entre 0.04% y 1.20% y una Frecuencia de Ocurrencia entre el 10.00% y 70.00%.

Cuadro 16. Comparación del número total de colonias fúngicas aéreas por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

División	Especies	MUHNES					Σ	D.R. (%)	F.O. (%)	UES					Σ	D.R. (%)	F.O. (%)	Σ	D.R. (%)	F.O. (%)
		Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5				Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitio 4	Sitio 5						
		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ				Σ	Σ	Σ	Σ	Σ						
Zygomycota	<i>Mortierella</i> sp.	0	0	1	0	0	1	0.18	20.00	1	1	2	1	1	6	0.27	100.00	7	0.25	60.00
Deuteromycota/ Ascomycota	<i>Acremonium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	1	1	0.05	20.00	1	0.04	10.00
	<i>Aspergillus candidus</i>	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	1	1	1	1	4	0.18	80.00	4	0.14	40.00
	<i>Aspergillus fumigatus</i>	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	1	0.04	10.00
	<i>Aspergillus glaucus</i>	1	3	3	0	0	7	1.27	60.00	5	0	9	0	3	17	0.77	60.00	24	0.87	60.00
	<i>Aspergillus oryzae</i>	1	0	0	1	0	2	0.36	40.00	1	0	4	0	1	6	0.27	60.00	8	0.29	50.00
	<i>Aspergillus ustus</i>	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	6	0	0	0	0	6	0.27	20.00	6	0.22	10.00
	<i>Aspergillus versicolor</i>	4	0	0	0	0	4	0.73	20.00	0	0	0	13	3	16	0.72	40.00	20	0.72	30.00
	<i>Candida</i> sp.1	5	3	3	2	0	13	2.36	80.00	5	5	11	12	2	35	1.58	100.00	48	1.74	90.00
	<i>Candida</i> sp. 2	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	1	0	0	0	1	2	0.09	40.00	2	0.07	20.00
	<i>Chrysosporium</i> sp.	0	1	1	0	0	2	0.36	40.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	2	0.07	20.00
	<i>Cladosporium fulvum</i>	1	1	0	0	1	3	0.54	60.00	2	4	0	1	8	15	0.68	80.00	18	0.65	70.00
	<i>Cladosporium herbarum</i>	22	11	29	8	25	95	17.24	100.00	160	223	309	89	148	929	42.06	100.00	1,024	37.10	100.00
	<i>Fusarium</i> sp.	1	0	0	1	0	2	0.36	40.00	0	3	2	0	2	7	0.32	60.00	9	0.33	50.00
	<i>Geotrichum</i> sp.	5	5	6	3	6	25	4.54	100.00	11	4	1	3	8	27	1.22	100.00	52	1.88	100.00
	<i>Gliocladium penicilloides</i>	0	0	1	0	0	1	0.18	20.00	0	0	2	11	0	13	0.59	40.00	14	0.51	30.00
	<i>Humicola</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	1	1	0.05	20.00	1	0.04	10.00
	<i>Lunulospora</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	1	0	0	0	0	1	0.05	20.00	1	0.04	10.00
	<i>Paecilomyces</i> sp.	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00	0	0	1	1	0	2	0.09	40.00	3	0.11	30.00
	<i>Penicillium citreoviride</i>	5	1	2	1	0	9	1.63	80.00	12	4	4	30	3	53	2.40	100.00	62	2.25	90.00
	<i>Penicillium granulatum</i>	0	0	0	0	1	1	0.18	20.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	1	0.04	10.00
	<i>Penicillium spinulosum</i>	0	0	1	0	0	1	0.18	20.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	1	0.04	10.00
	<i>Penicillium</i> sp.	5	4	1	1	5	16	2.90	100.00	6	9	8	15	6	44	1.99	100.00	60	2.17	100.00
	<i>Scopulariopsis communis</i>	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	1	0	0	0	0	1	0.05	20.00	1	0.04	10.00
	<i>Scopulariopsis constantini</i>	0	1	0	0	0	1	0.18	20.00	0	0	0	1	0	1	0.05	20.00	2	0.07	20.00
	<i>Synnematum</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	1	0	1	0.05	20.00	1	0.04	10.00
	<i>Trichoderma</i> sp.	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00	0	0	1	0	0	1	0.05	20.00	2	0.07	20.00
<i>Verticillium</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	1	0	0	0	1	0.05	20.00	1	0.04	10.00	
Deuteromycota/ Basidiomycota	<i>Cryptococcus</i> sp.	1	1	2	1	0	5	0.91	80.00	8	6	12	2	6	34	1.54	100.00	39	1.41	90.00
	<i>Rhizoctonia</i> sp.	0	1	0	0	13	14	2.54	40.00	1	5	5	4	4	19	0.86	100.00	33	1.20	70.00
	<i>Rhodotorula</i> sp.	1	0	0	0	0	1	0.18	20.00	3	3	1	0	1	8	0.36	80.00	9	0.33	50.00
	<i>Tilletiopsis</i> sp.	1	1	0	0	0	2	0.36	40.00	0	2	0	0	0	2	0.09	20.00	4	0.14	30.00
Deuteromycota	Micelio Estéril Cristalino	84	48	60	62	70	324	58.80	100.00	149	227	189	114	194	873	39.52	100.00	1,197	43.37	100.00
	Micelio Estéril Pigmentado	4	2	3	5	5	19	3.45	100.00	30	19	13	6	15	83	3.76	100.00	102	3.70	100.00
TOTAL	34	144	83	113	85	126	551			403	517	575	305	409	2,209			2,760		
MUHNES: S1 = Área de Trabajo del Herbario, S2 = Herbario, S3 = Zoología, S4 = Paleontología, S5 = Área Didáctica.									UES: S1 = Área de Trabajo del Herbario, S2 = Herbario, S3 = Museo de Vertebrados e Invertebrados, S4 = Entomología, S5 = Ficología.											

En el **Cuadro 17**, se presentan los valores estimados de los índices que miden la biodiversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del **MUHNES**, registrados entre mayo y agosto de 2024. La diversidad se midió a partir de los doce muestreos realizados en los cinco sitios: Área de Trabajo del Herbario (S1), Herbario (S2), Zoología (S3), Paleontología (S4) y Área Didáctica (S5). Los índices presentados permiten medir, tanto la riqueza y abundancia de las especies dentro de cada sitio (diversidad alfa), como la similitud entre las diferentes colecciones (diversidad beta).

En el S1, Shannon-Wiener fue de 1.61; Pielou fue de 0.75; Dominancia de Simpson fue de 0.37 y Diversidad de Simpson fue de 0.63. En el S2, el Shannon-Wiener fue de 1.60; Pielou fue de 0.83; Dominancia de Simpson fue de 0.36 y Diversidad de Simpson fue de 0.64. En el S3, Shannon-Wiener fue de 1.48; Pielou fue de 0.72; Dominancia de Simpson fue de 0.35 y Diversidad de Simpson fue de 0.65. Para el S4, Shannon-Wiener fue de 1.09; Pielou fue de 0.56; Dominancia de Simpson fue de 0.55 y Diversidad de Simpson fue de 0.45. Y en el S5, Shannon-Wiener fue de 1.36; Pielou fue de 0.65; Dominancia de Simpson fue de 0.36 y Diversidad de Simpson fue de 0.64.

Entre todos los sitios de muestreo se obtuvo un índice de similitud de Sorensen de 0.23 y un índice de similitud de Jaccard de 0.13.

Cuadro 17. Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES)						
Sitios de muestreo	Índice de Diversidad de Shannon-Wiener	Índice de Equidad de Pielou	Índice de Dominancia de Simpson (D)	Índice de Diversidad de Simpson (1 - D)	Índice de Similitud de Sorensen	Índice de Similitud de Jaccard
	$H' = -\sum (P_i \ln p_i)$	$J' = (H'/H' \max)$	$\sum P_i^2$	$1 - \sum P_i^2$	$(2pN)/(aN+bN)$	$(c)/(a+b-c)$
Área de Trabajo del Herbario (S1)	1.61	0.75	0.37	0.63	0.23	0.13
Herbario (S2)	1.60	0.83	0.36	0.64		
Zoología (S3)	1.48	0.72	0.35	0.65		
Paleontología (S4)	1.09	0.56	0.55	0.45		
Área Didáctica (S5)	1.36	0.65	0.36	0.64		

En la **Figura 18**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por sitios de muestreo de las colecciones biológicas del **MUHNES**. El S1 (Área de Trabajo del Herbario) y el S4 (Paleontología) fueron similares entre ellos, así como el S2 (Herbario) y el S3 (Zoología). El S5 (Área Didáctica) fue el menos similar con los demás sitios de muestreo.



Figura 18. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por sitios de muestreo de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

En la **Figura 19**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por muestreos, de las colecciones biológicas del **MUHNES** realizados entre mayo y agosto del año 2024. El M9 (24/07/24) y el M10 (07/08/24) fueron los más similares entre ellos, después siguen el M6 (02/07/24) y el M12 (21/08/24) que se asimilaron entre ellos, luego siguen el M5 (26/06/24) y M11 (14/08/24), seguido del M8 (17/07/24). En otro agrupamiento están los muestreos M1 (02/05/24), M2 (15/05/24), y M3 (29/05/24) como los más similares, seguido del M4 (13/06/24). El M7 (10/07/24) fue el más diferente en cuanto a los demás muestreos antes mencionados.

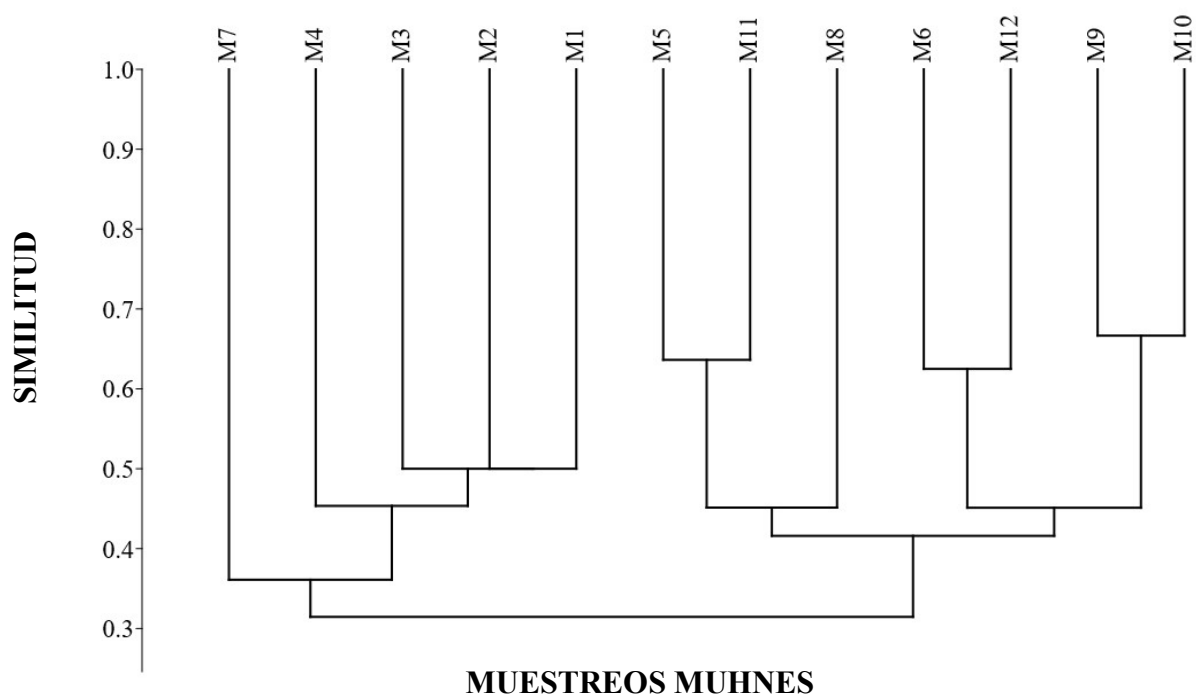


Figura 19. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por muestreos de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

En la **Figura 20**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por sitios de muestreo de las colecciones biológicas del **MUHNES**. El S1 (Área de Trabajo del Herbario) y el S4 (Paleontología) fueron iguales en cuanto a la dominancia de especies, seguido del S3 (Zoología). El S2 (Herbario) y S5 (Área Didáctica) se diferenciaron de los sitios antes mencionados y tuvieron similitud en cuanto a la dominancia de sus especies.



Figura 20. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por sitios de muestreo de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

En la **Figura 21**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por muestreos de las colecciones biológicas del **MUHNES** realizados entre mayo y agosto del año 2024. El M9 (24/07/24) y el M10 (07/08/24) fueron iguales entre ellos, así como el M6 (02/07/24) y el M12 (21/08/24). Luego siguen el M11 (14/08/24) y el M5 (26/06/24), seguido del M8 (17/07/24). En otro agrupamiento están los muestreos M1 (02/05/24) y M2 (15/05/24) como los más iguales entre ellos, seguido del M3 (29/05/24), seguido del M4 (13/06/24). El M7 (10/07/24) fue el más diferente en cuanto a todos los demás muestreos.

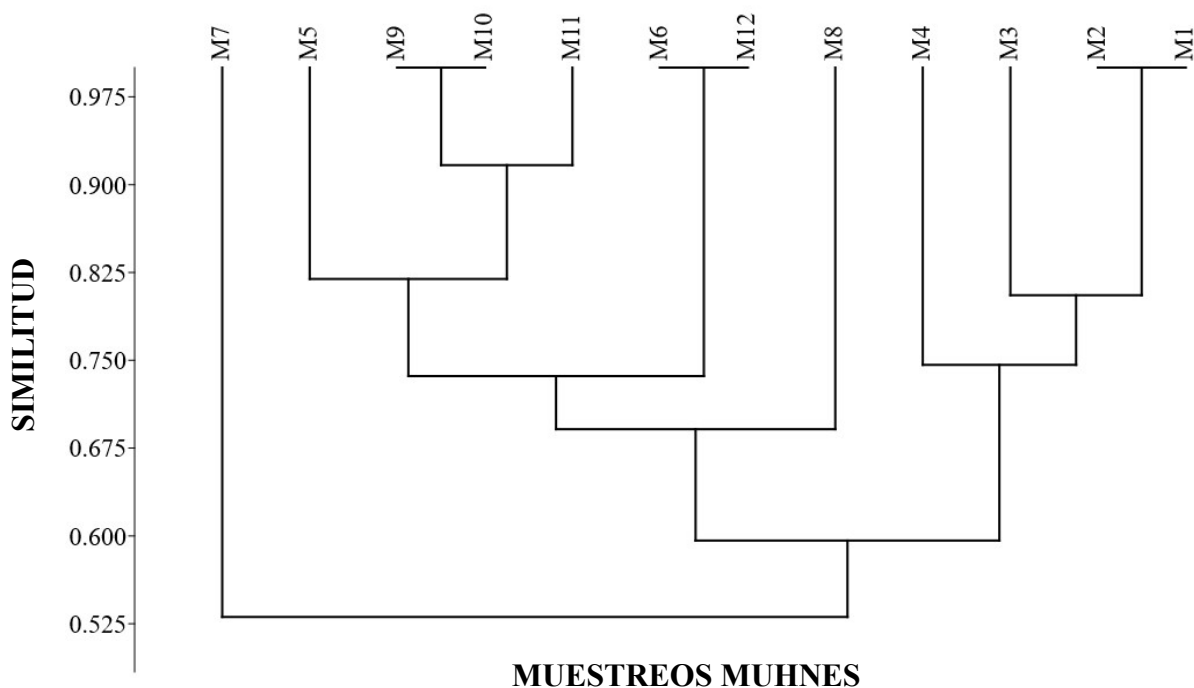


Figura 21. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por muestreos de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), de mayo a agosto de 2024.

En el **Cuadro 18**, se presentan los valores estimados de los índices que miden la biodiversidad alfa y beta de las colecciones biológicas de la UES, registrados entre mayo y agosto de 2024. La diversidad se midió a partir de los doce muestreos realizados en los cinco sitios: Área de Trabajo del Herbario (S1), Herbario (S2), Museo de Vertebrados e Invertebrados (S3), Entomología (S4) y Ficología (S5). Los índices presentados permiten medir, tanto la riqueza y abundancia de las especies dentro de cada sitio, como la similitud entre las diferentes colecciones.

En el S1 Shannon-Wiener fue de 1.60; Pielou fue de 0.61; Dominancia de Simpson fue de 0.30 y Diversidad de Simpson fue de 0.70. En el S2, Shannon-Wiener fue de 1.29; Pielou fue de 0.47; Dominancia de Simpson fue de 0.38 y Diversidad Simpson fue de 0.62. En el S3, Shannon-Wiener fue de 1.29; Pielou fue de 0.47; Dominancia de Simpson fue de 0.40 y Diversidad Simpson fue de 0.60. Para el S4, Shannon-Wiener fue de 1.81; Pielou fue de 0.73; Dominancia de Simpson fue de 0.24 y Diversidad Simpson fue de 0.76. Y en el S5, Shannon-Wiener fue de 1.43; Pielou fue de 0.55; Dominancia de Simpson fue de 0.36 y Diversidad Simpson fue de 0.64.

Entre todos los sitios de muestreo se obtuvo un índice de similitud de Sorensen de 0.20 y un índice de similitud de Jaccard de 0.11.

Cuadro 18. Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES)						
Sitios de muestreo	Índice de Diversidad de Shannon-Wiener	Índice de Equidad de Pielou	Índice de Dominancia de Simpson (D)	Índice de Diversidad de Simpson (1 - D)	Índice de Similitud de Sorensen	Índice de Similitud de Jaccard
	$H' = -\sum (P_i \ln p_i)$	$J': (H'/H' \max)$	$\sum P_i^2$	$1 - \sum P_i^2$	$(2pN)/(aN+bN)$	$(c)/(a+b-c)$
Área de Trabajo del Herbario (S1)	1.60	0.61	0.30	0.70	0.20	0.11
Herbario (S2)	1.29	0.47	0.38	0.62		
Museo de Vertebrados e Invertebrados (S3)	1.29	0.47	0.40	0.60		
Entomología (S4)	1.81	0.73	0.24	0.76		
Ficología (S5)	1.43	0.55	0.36	0.64		

En la **Figura 22**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la **UES**. El S3 (Museo de Vertebrados e Invertebrados) y el S5 (Ficología) fueron los más similares, seguido del S2 (Herbario). Y el S1 (Área de Trabajo del Herbario) y el S4 (Entomología) fueron los menos similares con los demás sitios de muestreo.

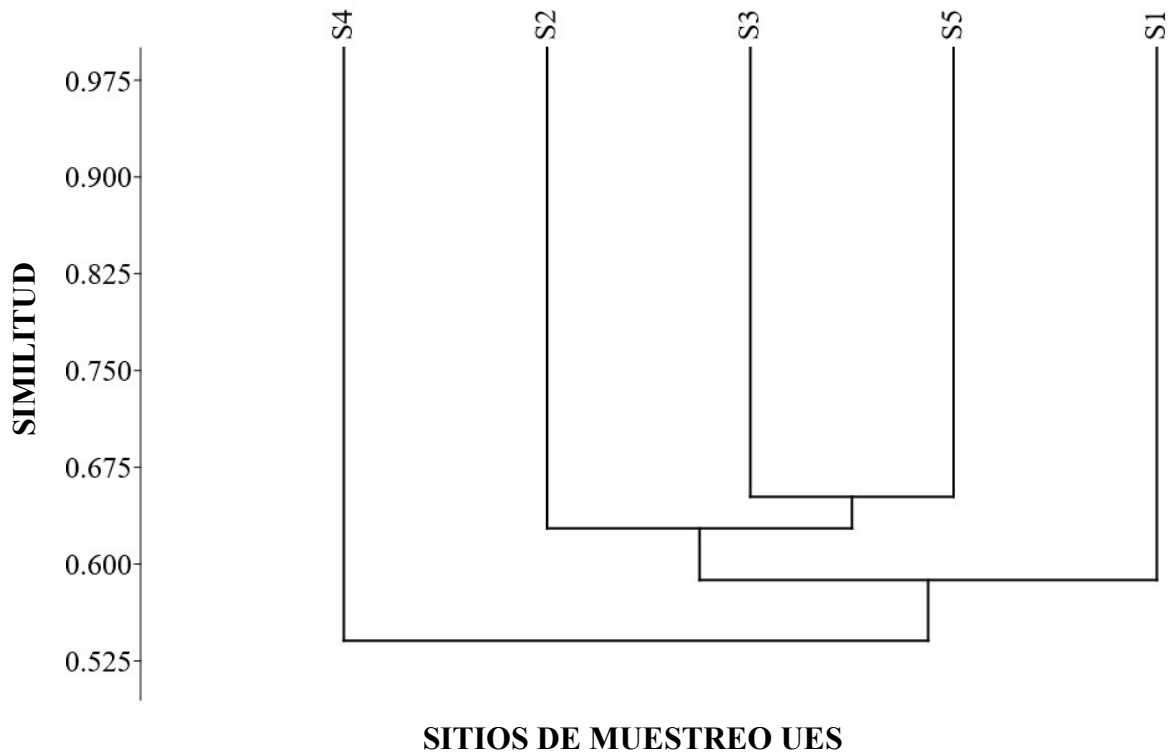


Figura 22. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

En la **Figura 23**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por muestreos de las colecciones biológicas de la **UES**, realizados entre mayo y agosto del año 2024. El M8 (17/07/24) y M9 (24/07/24) fueron los más similares, seguido del M12 (21/08/24). Después siguen el M7 (10/07/24) y el M10 (07/08/24) que fueron similares entre sí. El M5 (26/06/24) y el M11 (14/08/24) se distanciaron de los muestreos antes mencionados siendo similares entre ellos. Los muestreos M1 (02/05/24), M2 (15/05/24), M3 (29/05/24) y M4 (13/06/24) se agruparon entre ellos, siendo los más similares el M2 y el M4. Y el M6 (02/07/24) fue el más diferente de todos los muestreos.



Figura 23. Clúster jerárquico del índice de similitud de Jaccard por muestreos de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

En la **Figura 24**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la UES. El S2 (Herbario) y S5 (Ficología) presentaron mayor dominancia en sus especies, seguido del S3 (Museo de Vertebrados e Invertebrados). El S1 (Área de Trabajo del Herbario) se diferenció de los sitios antes mencionados y el S4 (Entomología) fue el más diferente en cuanto a la dominancia de sus especies.

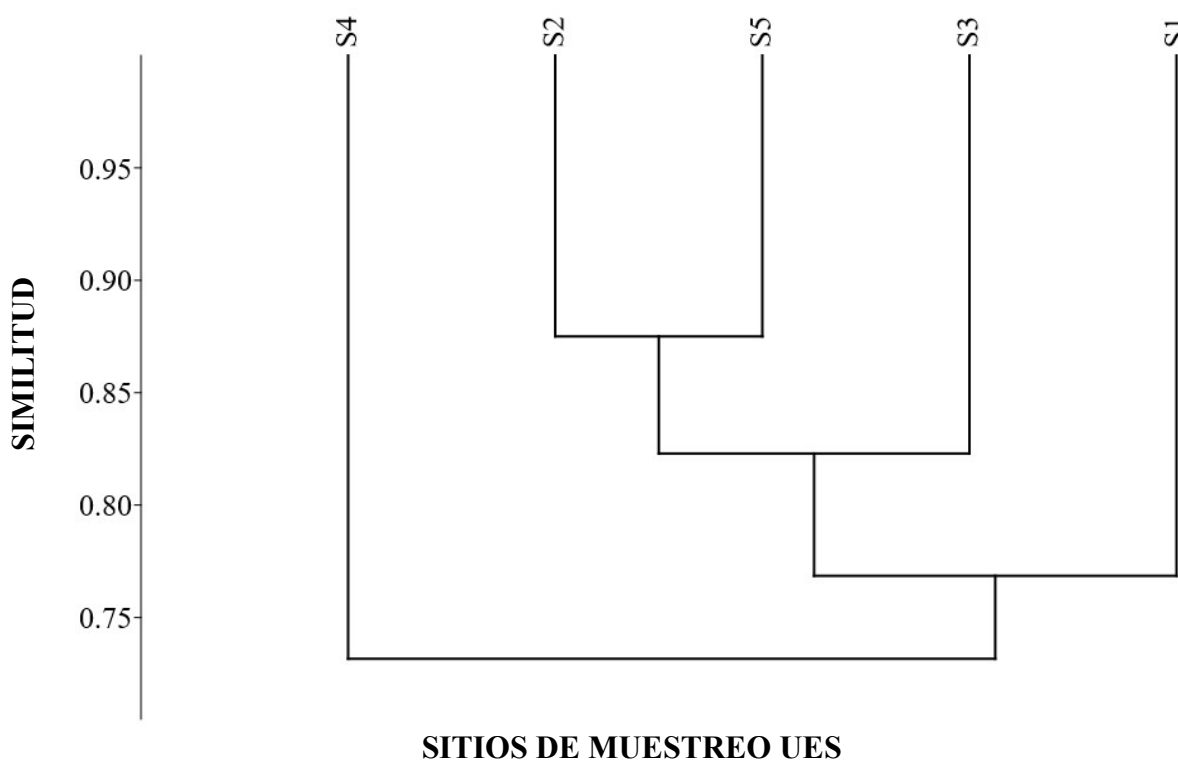


Figura 24. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

En la **Figura 25**, se muestra gráficamente el análisis de clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por muestreos de las colecciones biológicas de la **UES** realizados entre mayo y agosto del año 2024. El M8 (17/07/24) y M9 (24/07/24) fueron los más similares en cuanto a su dominancia, seguido del M12 (21/08/24). Después siguen el M7 (10/07/24) y el M10 (07/08/24). El M5 (26/06/24) y el M6 (02/07/24) se distanciaron de los muestreos antes mencionados, sin embargo, son similares entre ellos. En otro agrupamiento se encuentra el M2 (15/05/24) y M4 (13/06/24) que fueron similares entre ellos, seguido del M11 (14/08/24), el M1 (02/05/24), y por último el M3 (29/05/24), que fueron diferentes entre ellos en cuanto a la dominancia de sus especies.

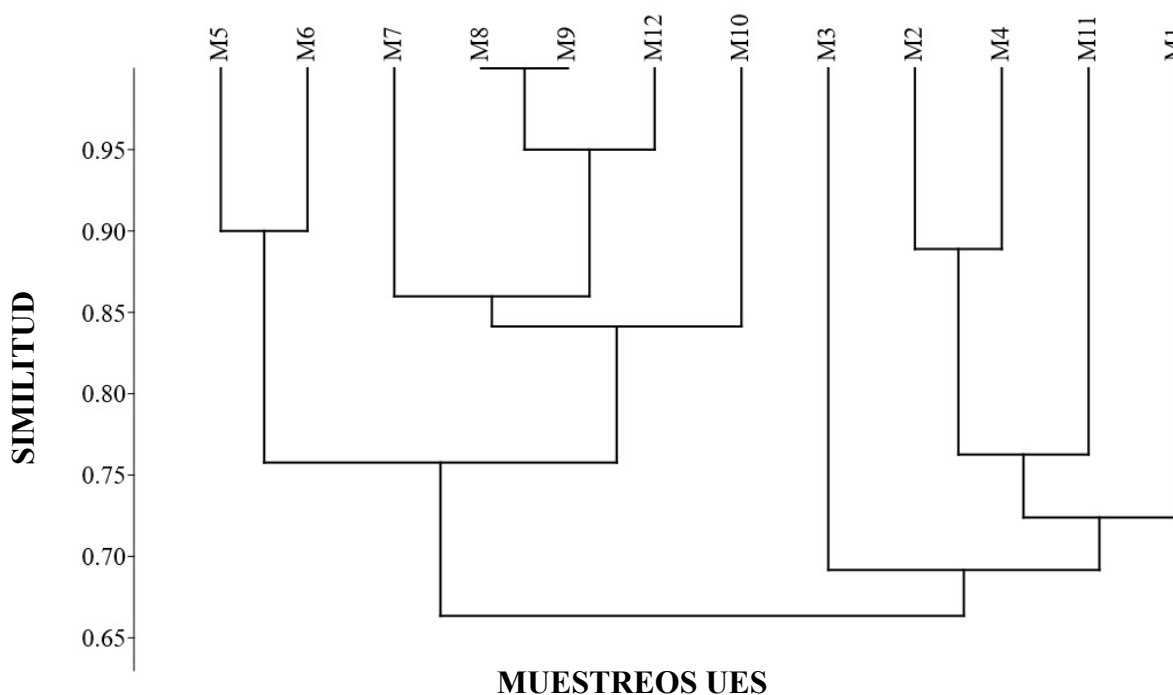


Figura 25. Clúster jerárquico del índice de dominancia de Simpson por muestreos de las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

En el **Cuadro 19**, se presentan los valores estimados de los índices que miden la biodiversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del MUHNES y la UES, registrados entre mayo y agosto de 2024. En el **MUHNES**, Shannon-Wiener fue de 1.57, Pielou fue de 0.57, Dominancia de Simpson fue de 0.38 y Diversidad de Simpson fue de 0.62. En la **UES**, Shannon-Wiener fue de 1.53, Pielou fue de 0.46, Dominancia de Simpson fue de 0.34 y Diversidad de Simpson fue de 0.66. Entre ambos sitios de estudio se obtuvo un índice de similitud de Sorensen de 0.40 y un índice de similitud de Jaccard de 0.25.

Cuadro 19. Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Índices de diversidad alfa y beta de las colecciones biológicas del MUHNES y de la UES						
Sitios de estudio	Índice de Diversidad de Shannon-Wiener	Índice de Equidad de Pielou	Índice de Dominancia de Simpson (D)	Índice de Diversidad de Simpson (1 - D)	Índice de Similitud de Sorensen	Índice de Similitud de Jaccard
	$H' = -\sum (P_i \ln p_i)$	$J' : (H' / H' \text{ max})$	$\sum P_i^2$	$1 - \sum P_i^2$	$(2pN)/(aN+bN)$	$(c)/(a+b-c)$
Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES)	1.57	0.57	0.38	0.62	0.40	0.25
Universidad de El Salvador (UES)	1.53	0.46	0.34	0.66		

En el **Cuadro 20**, se presenta la concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³) por los muestreos realizados para las colecciones biológicas del MUHNES y la UES, de mayo a agosto de 2024. En el **MUHNES** el grado de contaminación fúngica aeroambiental osciló entre 204 UFC/m³ (contaminación intermedia) a 891 UFC/m³ (contaminación alta) siendo el promedio de 585 UFC/m³ (contaminación alta). En la **UES** osciló entre 1,095 UFC/m³ (contaminación alta) a 5,411 UFC/m³ (contaminación muy alta) siendo el promedio de 2,344 UFC/m³ (contaminación muy alta); según la Organización Mundial de la Salud (OMS) bajo la Comisión de Comunidades Europeas (1993), citado por Moreno y Paxtor (2014), y Vásquez (2018).

En el **MUHNES** el muestreo que presentó mayor contaminación fúngica aeroambiental fue el M5 (26/06/24) con 891 UFC/m³, seguidamente el M6 (02/07/24) con 879 UFC/m³, el M2 (15/05/24) con 751 UFC/m³, el M10 (07/08/24) con 738 UFC/m³, el M11 (14/08/24) con 675 UFC/m³ y el M3 (29/05/24) con 598 UFC/m³ que presentaron una contaminación alta. Los muestreos con menor contaminación fúngica aeroambiental fue el M4 (13/06/24) y M8 (17/07/24) con 484 UFC/m³, seguido del M7 (10/07/24) con 471 UFC/m³, el M9 (24/07/24) y M12 (21/08/24) con 420 UFC/m³, y el M1 (02/05/24) con 204 UFC/m³ que representaron una contaminación intermedia (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

En la **UES** el muestreo que presentó mayor contaminación fúngica aeroambiental fue el M3 (29/05/24) con 5,411 UFC/m³, seguido del M1 (02/05/24) con 3,883 UFC/m³, el M7 (10/07/24) con 2,546 UFC/m³, el M6 (02/07/24) con 2,355 UFC/m³, el M10 (07/08/24) con 2,317 UFC/m³, el M5 (26/06/24) con 2,203 UFC/m³, el M11 (14/08/24) con 2,126 UFC/m³ y M4 (13/06/24) con 2,075 UFC/m³ que presentaron una contaminación muy alta. Los muestreos con menor contaminación fúngica aeroambiental fue el M8 (17/07/24) con 1,604 UFC/m³, le sigue el M12 (21/08/24) con 1,273 UFC/m³, el M2 (15/05/24) con 1,235 UFC/m³ y el M9 (24/07/24) con 1,095 UFC/m³ que representaron una contaminación alta (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

Cuadro 20. Contaminación fúngica aeroambiental según la Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³) por muestreos, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Concentración de UFC/m ³ por muestreos de las colecciones biológicas del MUHNES y la UES					
Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES)			Universidad de El Salvador (UES)		
Muestreos	(UFC/m ³)	Grado de contaminación fúngica aeroambiental por muestreos según la OMS	Muestreos	(UFC/m ³)	Grado de contaminación fúngica aeroambiental por muestreos según la OMS
	$N=5a*10^4(b*t)^{-1}$			$N=5a*10^4(b*t)^{-1}$	
Muestreo 1	204	Intermedia	Muestreo 1	3,883	Muy alta
Muestreo 2	751	Alta	Muestreo 2	1,235	Alta
Muestreo 3	598	Alta	Muestreo 3	5,411	Muy alta
Muestreo 4	484	Intermedia	Muestreo 4	2,075	Muy alta
Muestreo 5	891	Alta	Muestreo 5	2,203	Muy alta
Muestreo 6	879	Alta	Muestreo 6	2,355	Muy alta
Muestreo 7	471	Intermedia	Muestreo 7	2,546	Muy alta
Muestreo 8	484	Intermedia	Muestreo 8	1,604	Alta
Muestreo 9	420	Intermedia	Muestreo 9	1,095	Alta
Muestreo 10	738	Alta	Muestreo 10	2,317	Muy alta
Muestreo 11	675	Alta	Muestreo 11	2,126	Muy alta
Muestreo 12	420	Intermedia	Muestreo 12	1,273	Alta
Promedio	585	Alta	Promedio	2,344	Muy alta

En la **Figura 26**, se muestra gráficamente la Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³), en los muestreos de las colecciones biológicas del MUHNES y la UES, de mayo a agosto de 2024.

En el **MUHNES** la contaminación fúngica aeroambiental fue **alta** en el **M5** (891 UFC/m³), **M6** (879 UFC/m³), **M2** (751 UFC/m³), **M10** (738 UFC/m³), **M11** (675 UFC/m³) y **M3** (598 UFC/m³); y fue contaminación **intermedia** en el **M4** y **M8** (484 UFC/m³), **M7** (471 UFC/m³), **M9** y **M12** (420 UFC/m³) y **M1** (204 UFC/m³) (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

En la **UES** la contaminación fúngica aeroambiental fue **muy alta** en el **M3** (5,411 UFC/m³), **M1** (3,883 UFC/m³), **M7** (2,546 UFC/m³), **M6** (2,355 UFC/m³), **M10** (2,317 UFC/m³), **M5** (2,203 UFC/m³), **M11** (2,126 UFC/m³) y **M4** (2,075 UFC/m³); y fue **alta** en el **M8** (1,604 UFC/m³), **M12** (1,273 UFC/m³), **M2** (1,235 UFC/m³) y **M9** (1,095 UFC/m³) (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (UFC/m³) POR MUESTREOS MUHNES Y UES

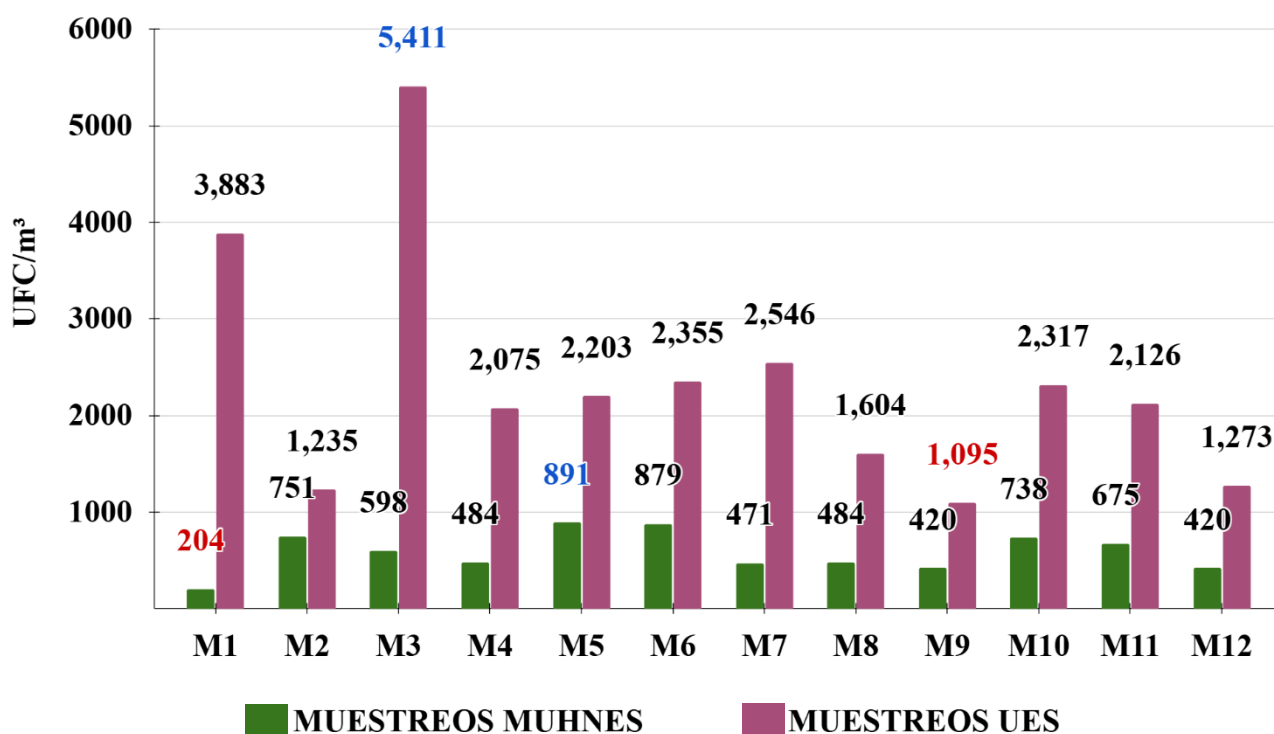


Figura 26. Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³), por número de muestreos de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 21**, presenta la concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³) por sitios de muestreo de las colecciones biológicas de la UES y el MUHNES, de mayo a agosto de 2024. En el **MUHNES** el grado de contaminación fúngica aeroambiental osciló entre 440 UFC/m³ (contaminación intermedia) a 764 UFC/m³ (contaminación alta) siendo el promedio de 585 UFC/m³ (contaminación alta). En la **UES** osciló entre 1,618 UFC/m³ (contaminación alta) a 3,082 UFC/m³ (contaminación muy alta) siendo el promedio de 2,344 UFC/m³ (contaminación muy alta), (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

En el **MUHNES** el sitio que presentó mayor contaminación fúngica aeroambiental fue el Área de trabajo del herbario (S1) con 764 UFC/m³; seguido del Área Didáctica (S5) con 668 UFC/m³; y Zoología (S3) con 599 UFC/m³; que presentaron una contaminación alta. Paleontología (S4) con 451 UFC/m³; y el Herbario (S2) con 440 UFC/m³, presentaron una contaminación intermedia (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

En la **UES** el sitio que presentó mayor contaminación fúngica aeroambiental fue el Museo de vertebrados e invertebrados (S3) con 3,082 UFC/m³; seguido del Herbario (S2) con 2,743 UFC/m³; Ficología (S5) con 2,170 UFC/m³; y Área de trabajo del herbario (S1) con 2,106 UFC/m³; que presentaron una contaminación muy alta. Entomología (S4) fue el que presentó menor contaminación respecto a los demás sitios con 1,618 UFC/m³, lo que representa una contaminación alta (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

Cuadro 21. Contaminación fúngica aeroambiental según la Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³) por sitios de muestreo, en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

Concentración de UFC/m ³ por sitios de muestreo en las colecciones biológicas del MUHNES y la UES					
Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES)			Universidad de El Salvador (UES)		
Sitios de muestreo	(UFC/m ³)	Grado de contaminación fúngica aeroambiental por sitios de muestreo según la OMS	Sitios de muestreo	(UFC/m ³)	Grado de contaminación fúngica aeroambiental por sitios de muestreo según la OMS
	$N=5a*10^4(b*t)^{-1}$			$N=5a*10^4(b*t)^{-1}$	
S1: Área de Trabajo del Herbario	764	Alta	S1: Área de Trabajo del Herbario	2,106	Muy alta
S2: Herbario	440	Intermedia	S2: Herbario	2,743	Muy alta
S3: Zoología	599	Alta	S3: Museo de Vertebrados e Invertebrados	3,082	Muy alta
S4: Paleontología	451	Intermedia	S4: Entomología	1,618	Alta
S5: Área Didáctica	668	Alta	S5: Ficología	2,170	Muy alta
Promedio	585	Muy alta	Promedio	2,344	Alta

En la **Figura 27**, se muestra gráficamente la Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³), en los sitios de muestreo de las colecciones biológicas del MUHNES y de la UES, de mayo a agosto de 2024. En el **MUHNES** la contaminación fúngica aeroambiental fue **alta** en el **S1** con 764 UFC/m³, **S5** con 668 UFC/m³ y **S3** con 599 UFC/m³ y fue **intermedia** en el **S4** con 451 UFC/m³ y **S2** con 440 UFC/m³. En la **UES** la contaminación fúngica aeroambiental fue **muy alta** en el **S3** con 3,082 UFC/m³, **S2** con 2,743 UFC/m³, **S5** con 2,170 UFC/m³ y **S1** con 2,106 UFC/m³ y fue **alta** únicamente en el **S4** con 1,618 UFC/m³ (con base a la OMS y CCE, 1993 citado por Moreno y Paxtor, 2014 y Vásquez, 2018).

UNIDADES FORMADORAS DE COLONIAS (UFC/m³) POR SITIOS MUHNES Y UES

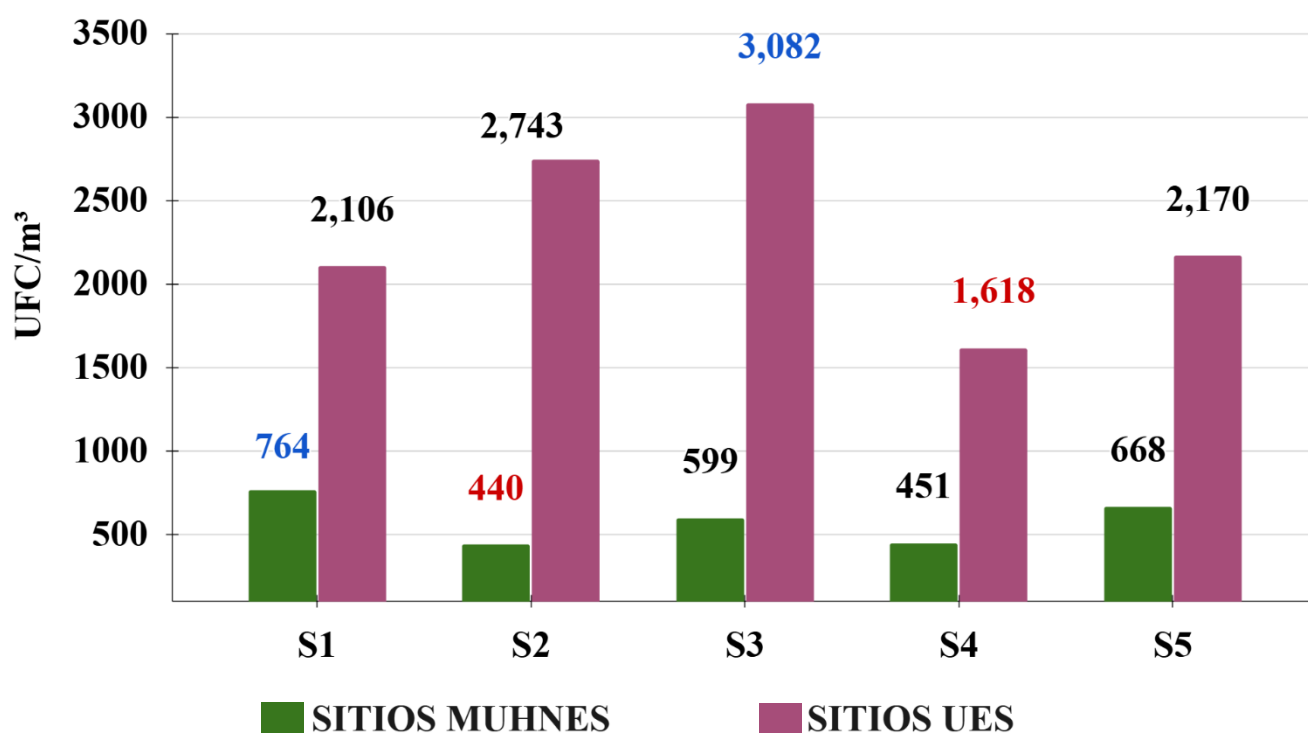


Figura 27. Concentración de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³), por sitios en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y de la Universidad de El Salvador (UES), de mayo a agosto de 2024.

El **Cuadro 22**, presenta el número de colonias fúngicas, la Densidad Relativa (D.R.%) y Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) en orden descendente de los microhongos presentes en el aire con mayor potencial alergénico encontrados en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) de mayo a agosto 2024.

De las 23 especies identificadas en el **MUHNES**, 18 poseen un potencial alergénico. *Cladosporium herbarum* con 95 colonias y una D.R.= 17.24%, fue la que presentó mayor Frecuencia de Ocurrencia con 91.67% en muestreos y 100% en sitios de muestreo, esta especie es muy alergénica, relacionada a rinitis y asma (Simon-Nobbe et al., 2008). Seguida por *Geotrichum* sp. con 25 colonias, D.R.= 4.54% y una F.O.= 50% en muestreos y 100% en sitios de muestreo, esta especie puede inducir alergias en personas inmunocomprometidas (Simon-Nobbe et al., 2008); y *Penicillium* sp. con 16 colonias, D.R.= 2.90% y una F.O.= 50% en muestreos y 100% en sitios de muestreo, es una especie muy común en ambientes interiores, y es altamente alergénica (Kurup et al., 2002).

Cuadro 22. Número de colonias fúngicas, Densidad Relativa (D.R.%) y Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) de los microhongos del aire con potencial alergénico en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural (MUHNES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

No.	Especies	Colonias fúngicas	D.R. (%)	F.O. (%) por muestreos	F.O. (%) por sitios
1	<i>Cladosporium herbarum</i>	95	17.24	91.67	100.00
2	<i>Geotrichum</i> sp.	25	4.54	50.00	100.00
3	<i>Penicillium</i> sp.	16	2.90	50.00	100.00
4	<i>Candida</i> sp.	13	2.36	66.67	80.00
5	<i>Penicillium citreoviride</i>	9	1.63	50.00	80.00
6	<i>Aspergillus glaucus</i>	7	1.27	33.33	60.00
7	<i>Cryptococcus</i> sp.	5	0.91	33.33	80.00
8	<i>Aspergillus versicolor</i>	4	0.73	16.67	20.00
9	<i>Cladosporium fulvum</i>	3	0.54	16.67	60.00
10	<i>Aspergillus oryzae</i>	2	0.36	16.67	40.00
11	<i>Fusarium</i> sp.	2	0.36	16.67	40.00
12	<i>Aspergillus fumigatus</i>	1	0.18	8.33	20.00
13	<i>Paecilomyces</i> sp.	1	0.18	8.33	20.00
14	<i>Penicillium granulatum</i>	1	0.18	8.33	20.00
15	<i>Penicillium spinulosum</i>	1	0.18	8.33	20.00
16	<i>Rhodotorula</i> sp.	1	0.18	8.33	20.00
17	<i>Scopulariopsis constantini</i>	1	0.18	8.33	20.00
18	<i>Trichoderma</i> sp.	1	0.18	8.33	20.00
Total de microhongos del aire con potencial alergénico: 18					

El **Cuadro 23**, presenta el número de colonias fúngicas, la Densidad Relativa (D.R.%) y Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) en orden descendente de los microhongos presentes en el aire con mayor potencial alergénico encontrados en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES) de mayo a agosto 2024.

De las 28 especies identificadas en la UES, 20 poseen un potencial alergénico. *Cladosporium herbarum* con 929 colonias y una D.R.= 42.06%, fue la que presentó mayor Frecuencia de Ocurrencia con 100% en muestreos y en sitios de muestreo, es uno de los microhongos alergénicos más comunes del aire (Baxi et al., 2016). Seguida por *Penicillium citreoviride* con 53 colonias, D.R.= 2.40% y una F.O.= 83.33% en muestreos y 100% en sitios de muestreo, esta especie es una productora de micotoxinas que puede causar problemas de salud en humanos (Perrone y Susca, 2017); y *Penicillium* sp. con 44 colonias, D.R.= 1.99% y una F.O.= 83.33% en muestreos y 100% en sitios de muestreo, especie con gran potencial alergénico (Simon-Nobbe et al., 2008).

Cuadro 23. Número de colonias fúngicas, Densidad Relativa (D.R.%) y Frecuencia de Ocurrencia (F.O.%) de los microhongos del aire con potencial alergénico en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador, El Salvador, de mayo a agosto de 2024.

No.	Especies	Colonias fúngicas	D.R. (%)	F.O. (%) por muestreos	F.O. (%) por sitios
1	<i>Cladosporium herbarum</i>	929	42.06	100.00	100.00
2	<i>Penicillium citreoviride</i>	53	2.40	83.33	100.00
3	<i>Penicillium</i> sp.	44	1.99	83.33	100.00
4	<i>Candida</i> sp. 1	35	1.58	83.33	100.00
5	<i>Cryptococcus</i> sp.	34	1.54	91.67	100.00
6	<i>Geotrichum</i> sp.	27	1.22	50.00	100.00
7	<i>Aspergillus glaucus</i>	17	0.77	58.33	60.00
8	<i>Aspergillus versicolor</i>	16	0.72	8.33	40.00
9	<i>Cladosporium fulvum</i>	15	0.68	66.67	80.00
10	<i>Rhodotorula</i> sp.	8	0.36	41.67	80.00
11	<i>Fusarium</i> sp.	7	0.32	50.00	60.00
12	<i>Aspergillus oryzae</i>	6	0.27	41.67	60.00
13	<i>Aspergillus ustus</i>	6	0.27	8.33	20.00
14	<i>Aspergillus candidus</i>	4	0.18	25.00	80.00
15	<i>Candida</i> sp. 2	2	0.09	8.33	40.00
16	<i>Paecilomyces</i> sp.	2	0.09	8.33	40.00
17	<i>Acremonium</i> sp.	1	0.05	8.33	20.00
18	<i>Scopulariopsis communis</i>	1	0.05	8.33	20.00
19	<i>Scopulariopsis constantini</i>	1	0.05	8.33	20.00
20	<i>Trichoderma</i> sp.	1	0.05	8.33	20.00
Total de microhongos del aire con potencial alergénico: 20					

7. DISCUSIÓN

En esta investigación se estudió la clasificación taxonómica, presencia, Densidad Relativa (%), Frecuencia de Ocurrencia (%) y grado de contaminación de los microhongos del aire presentes en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y la Universidad de El Salvador (UES), San Salvador; entre los meses de mayo a agosto del 2024. Los datos obtenidos presentan el primer estudio realizado en colecciones biológicas en El Salvador, donde se evalúa la calidad del aire, utilizando el método de exposición con cajas de Petri, esta técnica es ampliamente reconocida como una de las más eficaces para identificar y clasificar especies fúngicas aéreas (Upsher y Griffiths, 1973; Gregory, 1961; Esquivel Vázquez, 1988; Granados y Parada, 2023).

Sin embargo, existen otros estudios en el país sobre microhongos del aire, por ejemplo: en **hospitales** (“Análisis comparativo de la agroecología del hospital Rosales y hospital Neumológico de los Planes de Renderos”, por Menjívar, 1993; y “Estudio aeromicológico en época seca de los Hospitales San Juan de Dios y Centro Médico de Oriente, Departamento de San Miguel” por Parada, 1996); **escuelas** (“Análisis cuantitativo y cualitativo de los microhongos del aire al interior del Complejo Educativo Dr. Humberto Romero Alvergue” por Ramírez, 2024, no publicado); **bibliotecas** (“Análisis cualitativo y cuantitativo de la micoflora en el aire de la biblioteca nacional de El Salvador” por Esquivel, 1988); **parques** (Diversidad de la población fúngica aérea presente en el área natural protegida parque del Bicentenario” por Granados y Parada, 2023); **casas habitacionales** (“Análisis cualitativo, cuantitativo y comparativo de las especies fúngicas presentes en el interior de las casas y edificios, durante las épocas secas y lluviosas en el área de San Salvador” por Umaña, 1987); y **otros**.

En el presente estudio las colonias fúngicas predominantes en las colecciones biológicas del MUHNES y la UES fueron de Micelio Estéril Cristalino, seguido de *Cladosporium herbarum*, Micelio Estéril Pigmentado, *Penicillium citreoviride*, *Penicillium* sp., *Geotrichum* sp., *Candida* sp., *Cryptococcus* sp., *Rhizoctonia* sp. y diferentes especies de *Aspergillus* sp.; En un estudio titulado “Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos colecciones biológicas y dos museos de la ciudad de Guatemala” (Herrera et al., 2015), las colonias fúngicas predominantes fueron *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., y también se menciona la presencia de *Candida* sp., *Cryptococcus* sp., *Geotrichum* sp., *Scopulariopsis* sp., *Paecilomyces* sp., y *Fusarium* sp.; especies que también se encontraron en esta investigación.

En el estudio realizado sobre “Contaminación fúngica aeroambiental de bibliotecas y museos de la ciudad de Ayacucho 2017” (Vásquez, 2018), las colonias fúngicas de los géneros predominantes fueron *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp., *Geotrichum* sp., *Rhizopus* sp., y CNI (colonias no identificadas), coinciden con la investigación realizada en las colecciones biológicas del MUHNES y la UES, además, se encontraron Micelios Estériles, Cristalinos y Pigmentados, similares a los encontrados en esta investigación, con excepción de *Alternaria* sp. y *Rhizopus* sp., que no fueron encontrados.

Los géneros considerados causantes de contaminación micológica en bibliotecas, museos y archivos incluyen *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Geotrichum* sp., *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Trichoderma* sp. y *Fusarium* sp. Estos también son conocidos por ser causantes de afecciones alérgicas (Eggleston, P. y Bush, K. 2001, citado por Moreno y Paxtor, 2014). La mayoría de estos géneros fueron encontrados en las colecciones biológicas del MUHNES y la UES.

En el MUHNES se identificaron cuatro especies que no estuvieron presentes en la UES, mientras que en la UES se encontraron nueve especies que no se registraron en el MUHNES. Este patrón sugiere que cada lugar tiene un microhábitat distinto, lo cual influye en la composición de especies fúngicas en el aire.

Las especies encontradas únicamente en el MUHNES, incluyen a *Aspergillus fumigatus*, *Chrysosporium* sp., *Penicillium granulatum* y *Penicillium spinulosum*, que reflejan una adaptación particular al ambiente del museo. Géneros como *Penicillium* y *Aspergillus* son frecuentes en áreas con alta presencia de materia orgánica y humedad controlada, condiciones típicas en los museos naturales que albergan colecciones biológicas. Estos hongos suelen prosperar en lugares donde se encuentran materiales en descomposición o en especímenes conservados, lo cual los convierte en habitantes comunes de espacios de conservación (Vásquez, 2018).

Por otro lado, las especies encontradas exclusivamente en la UES incluyen a *Acremonium* sp., *Aspergillus candidus*, *Aspergillus ustus*, *Candida* sp. 2, *Humicola* sp., *Lunulospora* sp., *Scopulariopsis communis*, *Synnematium* sp. y *Verticillium* sp.; este conjunto de microhongos indica que los sitios de muestreo presentan condiciones específicas, como posibles fluctuaciones en la temperatura y disponibilidad de materiales orgánicos en las colecciones biológicas. La presencia de especies como *Aspergillus candidus* y *Aspergillus ustus* es notable, ya que estos hongos suelen adaptarse a ambientes donde pueden desarrollarse en materiales como papel, madera y otros (Darwish et al., 2013).

En el MUHNES la especie con mayor predominancia fue *Cladosporium herbarum* con 95 colonias, una D.R.=17.24% y una F.O.=91.67%. Así mismo, en la UES la especie con mayor predominancia fue *Cladosporium herbarum* con 929 colonias, una D.R.=42.06% y una F.O.=100%. *Cladosporium* sp. ha sido reportado en otros estudios como el hongo más común en el aire y el mayor componente de la población de hongos aéreos en todo el mundo (Kramer et al, 1959; Derrick y Mc Lennan, 1963; Herrera C., 2005; citado por Granados y Parada, 2023).

La alta predominancia de *Cladosporium herbarum*, especialmente en el Muestreo 2 y Sitio 3 (MUHNES) y en el Muestreo 3 y Sitio 3 (UES), podría estar relacionada con condiciones ambientales específicas que favorecen su desarrollo en cada sitio de muestreo, tales como la temperatura, la humedad, y la disponibilidad de materiales orgánicos; este género es conocido por colonizar una variedad de ambientes y superficies.

En el MUHNES, las colonias de Micelio Estéril se registraron como las más dominantes, divididas en dos tipos: Cristalino y Pigmentado. De estas, las colonias cristalinas fueron las predominantes, con un total de 324 colonias, una D.R.=58.80% y una F.O.=100%; mientras que las pigmentadas obtuvieron 19 colonias, una D.R.=3.45% y una F.O.=91.67%. Estas colonias de Micelio Estéril, tanto cristalinas como pigmentadas, corresponden a hongos que no lograron fructificar, probablemente debido a que el medio de cultivo utilizado no les proporcionó los nutrientes necesarios para su esporulación; esto coincide con lo señalado por Pady y Kramer (1960) citado por Granados y Parada (2023), quienes informan que muchas colonias de Micelio Estéril pueden pertenecer a Basidiomycetes, ya que, al transferir estas colonias a tubos con medios de cultivo específicos para inducir su esporulación, algunas de ellas lograron fructificar y se identificaron como parte de este grupo.

De los 12 muestreos realizados en las colecciones biológicas del **MUHNES**, se obtuvo la mayor presencia de colonias fúngicas en el M5 (26/06/24) con un total de 70 colonias, ese día la temperatura en las colecciones fue de 24.4° C y la humedad relativa fue 72.4%. El M1 (02/05/24) registró la menor cantidad de colonias fúngicas, con un total de 16 colonias, ese día la temperatura en las colecciones fue de 24.8° C y la humedad relativa fue 51.6%.

De los 12 muestreos realizados en las colecciones biológicas de la **UES**, el que obtuvo la mayor presencia de colonias fúngicas fue el M3 (29/05/24) con un total de 425 colonias, ese día la temperatura en las colecciones fue de 27.7° C y la humedad relativa fue 84.6%. El M9 (24/07/24) fue el que obtuvo la menor cantidad de colonias fúngicas con un total de 86 colonias, ese día la temperatura en las colecciones fue de 26.3° C y la humedad relativa fue 79.4%.

Las especies encontradas en este estudio se distribuyeron en diferentes rangos de **Densidad Relativa** de acuerdo al número de especies de mayor a menor.

En el **MUHNES** el **Rango A** (D.R.=0.18%-0.36%) con un número de 13 especies, representa las especies que solo se registraron una o dos veces en las colecciones biológicas. Esto indica que son especies poco adaptadas u oportunistas de las condiciones del entorno.

El **Rango B** (D.R.=0.54%-1.63%), agrupa 5 especies con una densidad baja, tienen una representación mayor que las del rango A. Esto podría indicar que encuentran ciertas condiciones favorables que les permiten establecerse en el entorno.

El **Rango C** (D.R.=2.36%-4.54%), comprende 4 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado. Las especies en este rango tienen una mayor presencia en el ambiente y muestran adaptabilidad a las condiciones del museo. La inclusión de un Micelio Estéril sugiere que, aunque algunos hongos no desarrollan estructuras reproductivas visibles, logran mantener una representación considerable en el entorno.

El **Rango D** (D.R.=17.24%-58.80%), incluye sólo 1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino. La alta Densidad Relativa en este grupo sugiere que tanto la especie identificada como el Micelio Estéril están particularmente bien adaptados al ambiente del museo, al punto de dominar la comunidad fúngica en términos de presencia. Su predominancia sugiere que ciertas condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, les son especialmente favorables.

En la **UES**, el **rango A** (D.R.=0.05-0.09%) con un número de 11 especies, representa una proporción baja de la comunidad fúngica, lo que sugiere que su presencia es limitada o que requieren condiciones ambientales específicas que no se dan en gran medida en el ambiente.

El **Rango B** (D.R.=0.18%-0.86%), incluye 11 especies que siguen siendo poco comunes, sin embargo, tienen una mayor representación que las del rango A, lo que podría indicar que son más adaptables o que encuentran ciertas condiciones que les permiten establecerse en el entorno.

El **Rango C** (D.R.=1.22%-3.76%), incluye 5 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado, lo que sugiere que son más adaptables y pueden desarrollarse mejor en el ambiente que aquellas en los rangos A y B. La presencia de un Micelio Estéril en este rango indica que algunos hongos, aunque no desarrollan estructuras reproductivas visibles, logran establecerse en proporciones destacables.

El **Rango D** (D.R.=39.52%-42.06%), incluye 1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino. La alta proporción de esta especie en particular sugiere que está especialmente bien adaptada y domina la

comunidad fúngica en el ambiente. Esto podría deberse a condiciones que le son particularmente favorables y le permiten proliferar en mayor medida que otras especies.

Las especies encontradas en este estudio se distribuyeron en diferentes rangos de **Frecuencia de Ocurrencia por muestreos** de acuerdo al número de especies de mayor a menor.

En el **MUHNES**, el **Rango A** (F.O.=8.33%-16.67%), incluye 16 especies con una baja frecuencia de aparición, lo que significa que su presencia en los muestreos fue esporádica y posiblemente influenciada por condiciones ambientales específicas o la competencia con otras especies.

El **Rango B** (F.O.=33.33%-50%), comprende 5 especies con una frecuencia moderada, lo que sugiere que son más comunes que las del rango A, aunque aún no son las más predominantes en el entorno.

El **Rango C** (F.O.=66.67% y 91.67%), abarca 2 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado con una alta frecuencia de aparición, lo que indica que están bien adaptados a las condiciones del museo y se encuentran de forma constante en los muestreos.

El **Rango D** (F.O.=100%), incluye 1 Micelio Estéril Cristalino que fue el único organismo presente en todos los muestreos, lo que evidencia su capacidad de adaptación y su dominancia en el ambiente de las colecciones biológicas del museo.

En la **UES**, el **Rango A** (F.O.=8.33%), incluye 13 especies con baja frecuencia de aparición, lo que sugiere que su presencia es ocasional y posiblemente está influenciada por condiciones ambientales específicas que no siempre están presentes.

El **Rango B** (F.O.=25.00%-58.33%), presenta 9 especies que son más comunes que las del rango A y pueden adaptarse con mayor facilidad a las condiciones generales del entorno, aunque no son dominantes.

El **Rango C** (F.O.=66.67%-91.67%), comprende 5 especies y 1 Micelio Estéril Pigmentado, con mayor frecuencia de aparición, lo que sugiere una buena capacidad de adaptación y una presencia más estable en los diferentes muestreos.

El **Rango D** (F.O.=100%), comprende 1 especie y 1 Micelio Estéril Cristalino, fueron las más consistentes, ya que estuvieron presentes en todos los muestreos, lo que evidencia su dominio y adaptación al ambiente de las colecciones biológicas de la UES.

Las especies encontradas en este estudio se distribuyeron en diferentes rangos de **Frecuencia de Ocurrencia por sitios de muestreo** de acuerdo al número de especies de mayor a menor. En el **MUHNES**, el **Rango A** (F.O.=20%-40%), presenta 15 especies, que aparecieron en una proporción moderada en los sitios de muestreos. En el **Rango B** (F.O.=60%-80%), se agruparon 5 especies, las cuales fueron más comunes y aparecieron en la mayoría de los sitios de muestreo. En el **Rango C** (F.O.=100%), se incluyen 3 especies, que estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo, siendo las más dominantes. Finalmente, el **Rango D** (F.O.=100%), incluye 2 Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado), que, al igual que las especies en el rango C, estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo, mostrando su constante presencia en el entorno de las colecciones biológicas.

Las especies *Cladosporium herbarum*, *Geotrichum* sp., *Penicillium* sp., y los Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado), son los que tienen una mayor adaptabilidad a las condiciones ambientales de las colecciones biológicas del **MUHNES**, ya que presentaron una F.O.=100% en los sitios de muestreo.

En la **UES**, las especies de microhongos presentes en el aire fueron clasificadas por rangos de **Frecuencia de Ocurrencia por sitios de muestreo**, esto permite observar cuán comunes o raras son en cada lugar. En el **Rango A** (F.O.=20%-40%), se encuentran 14 especies que aparecieron en una proporción moderada en los sitios de muestreo. En el **Rango B** (F.O.=60%-80%), se incluyen 6 especies que fueron bastante comunes y estuvieron presentes en la mayoría de los sitios de muestreo. En el **Rango C** (F.O.=100%), se agrupan 8 especies que estuvieron presentes en todos los sitios de muestreo, siendo las más dominantes. Finalmente, en el **Rango D** (F.O.=100%), se encuentran 2 Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado), que señala su presencia constante en todos los sitios de muestreo.

Las especies *Mortierella* sp., *Candida* sp. 1, *Cladosporium herbarum*, *Geotrichum* sp., *Penicillium citreoviride*, *Penicillium* sp., *Cryptococcus* sp., *Rhizoctonia* sp., y los Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado), son los que tienen una mayor adaptabilidad a las condiciones ambientales de las colecciones biológicas de la **UES**, ya que presentaron una F.O.=100% en los sitios de muestreo.

De los 5 sitios de muestreo en el **MUHNES**, el S1 (Área de Trabajo del Herbario) registró la mayor cantidad de colonias fúngicas aéreas, con un total de 144. Este espacio, donde se procesan las muestras botánicas, cuenta con mesas de trabajo y estantes abiertos, condiciones que favorecen la dispersión y el desarrollo de esporas. En contraste, el S2 (Herbario) presentó la menor cantidad de colonias, con un total de 83. Este sitio dispone de estantes cerrados con naftalina, aire acondicionado y un deshumidificador, factores que reducen la proliferación fúngica.

De los 5 sitios de muestreo en la UES, el S3 (Museo de Vertebrados e Invertebrados) registró la mayor cantidad de colonias fúngicas aéreas, con un total de 575. Durante los muestreos, se observó la presencia de organismos expuestos en estantes abiertos con acumulación de polvo, lo que sugiere que las condiciones de esta colección favorecieron el desarrollo de esporas. En contraste, el S4 (Entomología) presentó la menor cantidad de colonias, con un total de 305. En este espacio, se observó el uso de cajas con naftalina, un compuesto que inhibe el crecimiento fúngico, además de una mayor ventilación, lo que favorece la hidratación y sedimentación de las esporas.

En las colecciones biológicas del MUHNES y la UES, la diversidad de especies fúngicas aéreas, se evaluó mediante los índices de Shannon-Wiener, Pielou, Simpson, Sorensen y Jaccard.

El índice de diversidad de **Shannon-Wiener** en las colecciones biológicas del MUHNES osciló entre **1.09 y 1.61**, mientras que en las colecciones de la UES varió entre **1.29 y 1.81**. Según Margalef (1972), este índice suele fluctuar entre 1 y 5, donde valores menores a 2 indican una diversidad baja, de 2 a 3.5 una diversidad media, y superiores a 3.5 una diversidad alta. Bajo este criterio, los resultados del presente estudio sugieren que todas las colecciones biológicas del MUHNES y la UES presentan una diversidad baja de especies fúngicas aéreas.

El índice de equidad de **Pielou** mide la relación entre la diversidad observada y la máxima diversidad esperada. Su valor varía de 0 a 1, donde 1 indica que todas las especies son igualmente abundantes, y 0 refleja una distribución completamente desigual (Magurran, 1988, citado por Valdez et al., 2018). En las colecciones biológicas del MUHNES el índice de Pielou osciló entre **0.56 y 0.83**, mientras que en las de la UES, varió entre **0.47 y 0.73**. Estos valores indican que ambas colecciones presentaron una equidad moderada en la distribución de individuos entre especies; no fueron completamente equitativas, pero tampoco extremadamente desiguales.

El índice de **dominancia de Simpson** representa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. Está fuertemente influenciado por la presencia de especies dominantes (Magurran, 1988; Peet, 1974). Dado que su valor es inverso a la equidad, la diversidad puede calcularse como $1 - D$ (Lande, 1996). Este índice varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una alta dominancia de una o pocas especies sobre las demás, lo que caracteriza ecosistemas más homogéneos.

En las colecciones biológicas del MUHNES, la Dominancia (**D**) fluctuó entre **0.35 y 0.55**, sugiriendo que las especies fueron de poco a moderadamente dominantes. Por su parte, la Diversidad ($1 - D$) se situó entre **0.45 y 0.65**, reflejando una diversidad media.

En las colecciones biológicas de la UES, el índice de **Simpson** varió entre **0.24** y **0.40** en términos de Dominancia (**D**), mientras que la Diversidad (**1 - D**) osciló entre **0.60** y **0.76**, lo que indica una baja dominancia de especies y una diversidad moderada.

El Índice de **Sorensen** mide la similitud entre comunidades con base en la presencia y ausencia de especies, sin considerar su abundancia (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974, citado por Badii et al., 2008). Su valor varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 1 indican una alta similitud y valores bajos reflejan diferencias significativas entre las comunidades comparadas.

En este estudio, el índice de **Sorensen** fue de **0.23** en las colecciones del MUHNES y de **0.20** en las colecciones biológicas de la UES, lo que indica una baja semejanza en la composición de especies fúngicas aéreas entre las cinco colecciones biológicas en cada sitio de estudio. Esta baja similitud puede deberse a las diferencias en los tipos de organismos preservados en cada colección, así como variaciones en las condiciones ambientales, como la limpieza, ventilación y control de humedad, que influyen en el desarrollo y dispersión de las esporas fúngicas.

Otro índice utilizado para medir la semejanza entre comunidades es el índice de **Jaccard**, el cual se basa en la relación entre la cantidad de especies compartidas entre comunidades y el número total de especies presentes en cada comunidad (Kent y Coker, 1992 citado por Badii et al. 2008). Sus valores oscilan entre 0 y 1, donde un valor cercano a 1 indica una alta similitud y valores bajos reflejan diferencias marcadas en la composición de especies.

En este estudio, el índice de **Jaccard** indicó una semejanza baja, con valores de **0.13** en las colecciones biológicas del MUHNES y **0.11** en las colecciones biológicas de la UES. Esto sugiere que la composición de especies fúngicas aéreas varió significativamente entre las colecciones, lo que puede atribuirse a diferencias en los tipos de organismos preservados, así como las condiciones ambientales y de mantenimiento en cada sitio.

A partir de los datos obtenidos en las colecciones biológicas de la UES y del MUHNES, se calcularon los índices de biodiversidad alfa y beta para evaluar la diversidad de especies fúngicas aéreas en ambos sitios.

Respecto a los índices de biodiversidad alfa, el índice de **Shannon-Wiener** fue de **1.57** en el MUHNES y **1.53** en la UES, lo que indica una diversidad baja en ambos lugares. El índice de **Pielou** fue de **0.57** para el MUHNES y **0.46** para la UES, sugiriendo que, aunque las especies no se distribuyeron de manera completamente uniforme, sí mostraron una equidad moderada en ambos sitios. En cuanto al índice de **Simpson**, la Dominancia (**D**) fue de **0.38** en el MUHNES y **0.34** en la

UES, mientras que la Diversidad ($1 - D$) fue de **0.62** en el MUHNES y **0.66** en la UES. Estos valores indican que las especies fúngicas no fueron altamente dominantes, y que la diversidad fue moderada en ambos sitios de estudio.

En cuanto a los índices de biodiversidad beta, el índice de similitud de **Sorensen** fue de **0.40**, mientras que el índice de similitud de **Jaccard** registró un valor de **0.25**. Estos resultados indican una baja semejanza en la composición de especies fúngicas aéreas entre ambos sitios de estudio, lo que sugiere que cada colección biológica presenta una comunidad fúngica distinta, posiblemente influenciada por diferencias en las condiciones ambientales, los materiales preservados y las prácticas de limpieza.

Con el fin de representar la similitud en la dominancia y composición fúngica entre los muestreos y sitios de muestreo de las colecciones biológicas del MUHNES y la UES, se elaboraron clústeres jerárquicos utilizando los índices de Simpson y Jaccard.

El análisis de **clúster de Jaccard** para los **sitios de muestreo** en las colecciones biológicas del MUHNES (Figura 18) revela que el Herbario (**S2**) y Zoología (**S3**) fueron los más similares entre sí, mostraron una composición fúngica semejante, aunque con la presencia adicional de especies registradas una sola vez como *Mortierella* sp., *Gliocladium penicilloides*, *Penicillium spinulosum* y *Scopulariopsis constantini*. Como puede observarse en el orden descendente de número de colonias encontradas (Cuadro 10).

De manera similar, el Área de Trabajo del Herbario (**S1**) y Paleontología (**S4**), también fueron similares entre sí registrando 8 especies compartidas y dos tipos de Micelio Estéril. Las cuales fueron: Micelio Estéril Cristalino, *Cladosporium herbarum*, *Geotrichum* sp., Micelio Estéril Pigmentado, *Candida* sp., *Penicillium* sp., *Penicillium citreoviride*, *Cryptococcus* sp., *Aspergillus oryzae* y *Fusarium* sp. Como puede observarse en el orden descendente del número de colonias encontradas (Cuadro 10).

Estas diferencias sugieren que, si bien los sitios comparten una base común de especies fúngicas, también presentan particularidades que podrían estar influenciadas por factores ambientales o condiciones específicas de cada colección.

Además, el Área Didáctica (**S5**) fue el sitio con menor similitud de especies respecto a los otros sitios de muestreo, por la presencia de *Rhizoctonia* sp. y *Penicillium granulatum*, siendo esta última una especie registrada únicamente en este sitio durante toda la investigación. Esto refleja una composición fúngica distintiva en comparación con el resto de especímenes en los sitios de muestreo del MUHNES.

El análisis de **clúster de Jaccard** realizado sobre los **muestreos** de las colecciones biológicas del **MUHNES** entre mayo y agosto de 2024 (Figura 19), refleja que los muestreos **M9** (24 de julio) y **M10** (7 de agosto) presentaron mayor similitud en composición fúngica, además compartieron dos especies y dos tipos de Micelio Estéril. En segundo lugar, los muestreos **M6** (2 de julio) y **M12** (21 de agosto) también mostraron alta similitud, con tres especies fúngicas y dos tipos de Micelio Estéril en común.

Otro grupo incluyó los muestreos **M5** (26 de junio) y **M11** (14 de agosto), que compartieron cinco especies y dos tipos de Micelio Estéril. A estos se asocia el **M8** (17 de julio), el cual presentó cuatro especies en común con los muestreos anteriores. Asimismo, se muestra un conjunto de muestreos conformado por **M1** (2 de mayo), **M2** (15 de mayo) y **M3** (29 de mayo), seguido del **M4** (13 de junio). La proximidad temporal y condiciones ambientales en que se hicieron estos muestreos, sugiere una composición fúngica similar.

Finalmente, el muestreo **M7** (10 de julio) se destacó por su singularidad en comparación con los demás muestreos, registrando una composición fúngica única. En este se identificaron especies como *Chrysosporium* sp., *Gliocladium penicilloides* y *Paecilomyces* sp., siendo estas dos últimas especies las únicas registradas en las colecciones del MUHNES.

Se evidenciaron muestreos con alta similitud en las colecciones del **MUHNES**, lo que indica una estabilidad en la comunidad fúngica a corto plazo, ya que los muestreos más similares correspondieron a fechas cercanas. No obstante, también se identificaron muestreos distintivos, lo que sugiere la influencia de factores ambientales o estacionales en la presencia de determinadas especies fúngicas.

El análisis de **clúster de Simpson** aplicado a los **sitios de muestreo** en las colecciones biológicas del **MUHNES** (Figura 20) refleja, que el Área de Trabajo del Herbario (**S1**) y Paleontología (**S4**) presentaron una dominancia de especies muy parecida, compartiendo Micelio Estéril Cristalino, *Cladosporium herbarum*, Micelio Estéril Pigmentado, *Geotrichum* sp., y *Candida* sp. En orden descendente de número de colonias (Cuadro 10).

Seguidamente, Zoología (**S3**), presentó una composición fúngica dominante similar con los sitios previamente mencionados, pero con la presencia de especies que solo se presentaron en este sitio como *Mortierella* sp., *Gliocladium penicilloides* y *Penicillium spinulosum*.

El Herbario (**S2**) y Área Didáctica (**S5**), fueron diferentes a los sitios anteriores, presentaron una dominancia de especies similar entre sí, compartiendo *Cladosporium herbarum*, *Geotrichum* sp., *Penicillium* sp., *Candida* sp., *Rhizoctonia* sp., así como Micelio Estéril Cristalino y Pigmentado. Esto sugiere una similitud en la distribución de especies dominantes dentro de estos sitios.

El análisis de **clúster de Simpson**, evidenció la similitud en la **dominancia** de las especies en los **muestreos** realizados entre mayo y agosto de 2024 en las colecciones biológicas del **MUHNES** (Figura 21). Los muestreos **M9** (24 de julio) y **M10** (7 de agosto) fueron similares entre sí. Seguidos por **M11** (14 de agosto) y **M5** (26 de junio). Entre las especies fúngicas más representativas en estos muestreos se encontraron Micelio Estéril Cristalino, *Cladosporium herbarum*, *Geotrichum* sp., Micelio Estéril Pigmentado y *Candida* sp.

Otro grupo identificado fue conformado por los muestreos **M1** (2 de mayo) y **M2** (15 de mayo), que fueron los más similares entre sí, seguidos por **M3** (29 de mayo) y **M4** (13 de junio). En estos muestreos se registraron especies dominantes como *Aspergillus glaucus*, *Candida* sp., *Cladosporium herbarum*, *Penicillium* sp., *Rhizoctonia* sp., y los dos tipos de Micelio Estéril.

Posteriormente los muestreos **M6** (2 de julio) y **M12** (21 de agosto), también mostraron alta similitud entre sí, seguidos por **M8** (17 de julio). En estos muestreos se destacó la presencia de *Cladosporium herbarum*, *Geotrichum* sp., *Penicillium citreoviride* y ambos tipos de Micelio Estéril.

Finalmente, el muestreo **M7** (10 de julio) fue diferente en términos de dominancia de especies en comparación con los demás muestreos. Aunque compartió algunas especies dominantes, también presentó los únicos registros de *Gliocladium penicilloides* y *Paecilomyces* sp.

Las diferencias y similitudes observadas en la dominancia de microhongos del aire entre los sitios de muestreo y los muestreos realizados en las colecciones biológicas del **MUHNES**, según el índice de **Simpson**, pueden atribuirse a variaciones en las condiciones ambientales específicas de cada colección biológica, como la temperatura, humedad, ventilación, tipo de sustratos disponibles y grado de exposición al polvo o materia orgánica.

El análisis de **clúster de Jaccard**, aplicado a los **sitios muestreados** en las colecciones biológicas de la **UES**, de mayo a agosto de 2024 (Figura 22), permitió identificar la relación de similitud entre las especies fúngicas presentes. Los sitios con mayor semejanza fueron el Museo de Vertebrados e Invertebrados (**S3**) y Ficología (**S5**), donde se registraron 13 especies en común y dos tipos de Micelio Estéril; en orden de descendente del número de colonias fueron *Cladosporium herbarum*, Micelio Estéril Cristalino y Pigmentado, *Cryptococcus* sp., *Candida* sp. 1, *Aspergillus glaucus*, *Penicillium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Aspergillus oryzae*, *Penicillium citreoviride*, *Mortierella* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus candidus*, *Geotrichum* sp. y *Rhodotorula* sp. (Cuadro 11).

Estos resultados sugieren que ambos sitios comparten una composición fúngica similar, posiblemente debido a condiciones ambientales comunes, como la ventilación, temperatura, humedad o la exposición de los materiales en las colecciones.

El Herbario (S2) también presentó cierta similitud con el Museo de Vertebrados e Invertebrados (S3) y Ficología (S5), aunque en menor grado de similitud, ya que estos tres sitios compartieron 11 especies y dos tipos de Micelio Estéril: *Cladosporium herbarum*, Micelio Estéril Cristalino y Pigmentado, *Cryptococcus* sp., *Candida* sp. 1, *Penicillium* sp., *Rhizoctonia* sp., *Penicillium citreoviride*, *Mortierella* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus candidus*, *Geotrichum* sp. y *Rhodotorula* sp. (Cuadro 11).

El Área de Trabajo del Herbario (S1) y Entomología (S4) fueron los sitios con menor similitud respecto a los antes mencionados. Esto se debe a la presencia de especies poco comunes en estos sitios, como *Aspergillus ustus*, *Lunulospora* sp., *Scopulariopsis communis* y *Candida* sp. 2, en el Área de Trabajo del Herbario (S1); y *Aspergillus versicolor*, *Gliocladium penicilloides*, *Paecilomyces* sp., *Scopulariopsis constantini* y *Synnematium* sp. en Entomología (S4). Esta composición fúngica sugiere que factores ambientales específicos o diferencias en las condiciones de muestreo podrían estar influyendo en la diversidad fúngica de estos sitios.

La similitud entre los **muestr**os realizados entre mayo y agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la UES, según el análisis de **clúster de Jaccard** (Figura 23), se observa en los muestreos **M8** (17 de julio) y **M9** (24 de julio), los cuales tuvieron en común 11 especies y un tipo de Micelio Estéril. En segundo lugar, el **M12** (21 de agosto) presentó cierta similitud con estos, registrando 8 especies y dos tipos de Micelio Estéril en común. A continuación, el **M7** (10 de julio) y **M10** (7 de agosto) también mostraron similitud entre sí, al tener 9 especies y dos tipos de Micelio Estéril en común.

El **M5** (26 de junio) y **M11** (14 de agosto), fueron similares entre sí, registrando 6 especies en común y dos tipos de Micelio Estéril. En otro grupo el **M2** (15 de mayo) y **M4** (13 de junio) tuvieron una alta similitud, presentaron 6 especies en común y dos tipos de Micelio Estéril. Seguidos por el **M1** (2 de mayo) y el **M3** (29 de mayo). Esta similitud puede deberse a las condiciones ambientales en las fechas de muestreo.

Finalmente, el **M6** (2 de julio) se diferenció significativamente de todos los demás muestreos, lo que sugiere una composición fúngica única. En esta fecha se registraron exclusivamente seis especies (*Acremonium* sp., *Humicola* sp., *Scopulariopsis communis*, *Trichoderma* sp., *Verticillium* sp., y *Tilletiopsis* sp.), lo que indica que condiciones específicas de los factores ambientales pudieron haber favorecido su presencia en ese muestreo.

El análisis de similitud entre los muestreos sugiere que la composición de especies fúngicas en las colecciones biológicas de la UES está influenciada por una combinación de factores ambientales y condiciones internas de las colecciones. La estabilidad de estos factores en ciertos períodos explica la similitud entre algunos muestreos, mientras que variaciones en el entorno pueden generar diferencias en otros muestreos.

Según el análisis de **clúster** basado en el índice de dominancia de **Simpson** para los **sitios muestreados** de mayo a agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la UES (Figura 24); el Herbario (**S2**) y Ficología (**S5**) mostraron alta similitud en la dominancia de especies fúngicas y tipos de Micelio Estéril, con un claro predominio de Micelio Estéril Cristalino, *Cladosporium herbarum* y Micelio Estéril Pigmentado. Seguidamente, el Museo de Vertebrados e Invertebrados (**S3**) fue el sitio con mayor cercanía respecto a S2 y S5; con una composición de especies ligeramente diferentes.

El Área de Trabajo del Herbario (**S1**) presentó una composición diferente, caracterizada por especies con baja dominancia, porque solo aparecieron una vez, estas fueron: *Aspergillus ustus*, *Lunulospora* sp., y *Scopulariopsis communis*.

El sitio Entomología (**S4**) fue el más distinto, por la composición fúngica que presentó, en comparación con los demás sitios. En el S4 se registraron exclusivamente especies con baja dominancia como *Scopulariopsis constantini* y *Synnematium* sp.; así como especies con mayor dominancia, entre ellas Micelio Estéril Cristalino, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium citreoviride*, *Penicillium* sp., *Aspergillus versicolor*, *Candida* sp. 1 y *Gliocladium penicilloides*.

La **dominancia** de las especies en los **muestreos** realizados entre mayo y agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la UES, según el análisis de **clúster** basado en el índice de **Simpson** (Figura 25), muestra que el **M8** (17 de julio) y **M9** (24 de julio) fueron los más similares en dominancia de especies, destacando Micelio Estéril Cristalino y *Cladosporium herbarum* como las colonias fúngicas más dominantes. En un nivel de similitud ligeramente menor, el **M12** (21 de agosto) también presentó estas especies, aunque con una menor dominancia en sus especies.

Posteriormente, los muestreos **M7** (10 de julio) y el **M10** (7 de agosto) mostraron una similitud en dominancia de especies. A continuación, los muestreos **M5** (26 de junio) y **M6** (2 de julio), aunque algo distantes de los anteriores, resultaron ser similares entre sí, sugiriendo un patrón común de dominancia en ese período. Los muestreos **M2** (15 de mayo) y **M4** (13 de junio) fueron similares entre sí. Por último, los muestreos **M11** (14 de agosto), **M1** (2 de mayo) y **M3** (29 de mayo) presentaron la menor dominancia de especies, lo que refleja variaciones en las condiciones ambientales.

Estudios de “Contaminación fúngica aeroambiental de bibliotecas y museos de la ciudad de Ayacucho” (Vásquez, 2018) y “Determinación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos museos de la ciudad de Guatemala” (Moreno y Paxtor, 2014), emplearon las categorías establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) bajo la Comisión de Comunidades Europeas (1993), para medir los niveles de contaminación aeroambiental, basándose en la cantidad de Unidades Formadoras de Colonias por metro cúbico (UFC/m³). En el presente estudio, se aplicaron estas mismas categorías para evaluar la contaminación fúngica aeroambiental en las colecciones biológicas del MUHNES y UES.

Las categorías establecidas fueron: “muy baja” (<25 UFC/m³), “baja” (25-100 UFC/m³), “intermedia” (100-500 UFC/m³), “alta” (500-2,000 UFC/m³) y “muy alta” (>2,000 UFC/m³).

En los **muestreos** realizados en las colecciones biológicas del **MUHNES** entre mayo y agosto de 2024 (Cuadro 18), el nivel de contaminación fúngica aeroambiental fue de **intermedia a alta**, con valores que oscilaron entre **204 y 891 UFC/m³** (Con base a la OMS y CCE, 1993, citados por Vásquez, 2018).

De acuerdo con Vásquez (2018), la presencia de cargas fúngicas intermedias o altas en ambientes controlados puede explicarse por la acumulación de polvo en zonas poco accesibles a la limpieza, la escasa circulación de aire o la existencia de materiales orgánicos en proceso de degradación, los cuales favorecen la proliferación de hongos. En el caso de las colecciones del **MUHNES**, a pesar que existe un acceso controlado de visitantes, sistemas de aire acondicionado y deshumidificación, limpieza periódica, y supervisión del material por el personal curador, se detectaron concentraciones superiores a 500 UFC/m³ en algunos muestreos, lo que indica sucesos puntuales de mayor carga fúngica.

En los **muestreos** realizados entre mayo y agosto de 2024 en las colecciones biológicas de la **UES** (Cuadro 18), la contaminación fúngica aeroambiental fue de **alta a muy alta**, con valores que oscilaron entre **1,095 y 5,411 UFC/m³** (Con base a la OMS y CCE, 1993, citados por Vásquez, 2018).

Estos valores reflejan una situación crítica de carga fúngica, la cual puede explicarse por las condiciones físicas observadas durante los muestreos: acumulación de polvo, desorden, ventanas abiertas o rotas, falta de ventilación adecuada y ausencia de equipos de control ambiental como deshumidificadores o aire acondicionado. Estas condiciones se vieron agravadas por el cierre prolongado de la Escuela de Biología durante eventos extraordinarios de carácter nacional, lo que redujo significativamente el mantenimiento y la presencia de personal, favoreciendo un ambiente propicio para la proliferación de esporas fúngicas en el aire.

Los **sitios de muestreo del MUHNES**, fueron catalogados con una contaminación fúngica aeroambiental **intermedia a alta** (Cuadro 19), con valores que oscilaron entre **440 y 764 UFC/m³** (Con base a la OMS y CCE, 1993, citados por Vásquez, 2018). Estos sitios cuentan con control ambiental: aire acondicionado y deshumidificadores.

En el **MUHNES**, el sitio con mayor contaminación fúngica fue el **Área de Trabajo del Herbario (S1)** con **764 UFC/m³**, clasificado como **alto**. Este resultado puede atribuirse al hecho de que, aunque se trata de un espacio activo y especializado en la manipulación de material botánico, la preparación de muestras, el secado de plantas al exterior y el constante movimiento de materiales pueden liberar polvo del cual provienen esporas fúngicas al ambiente, lo que permite el crecimiento de las colonias fúngicas, especialmente si no se realiza una limpieza profunda y frecuente.

Le sigue el **Área Didáctica (S5)** con **668 UFC/m³**, también considerada con contaminación **alta**, lo cual es comprensible debido a que es un espacio donde se resguardan los ejemplares de la colección de Zoología y Paleontología, dichas colecciones tienen un contacto frecuente con el público, manipulación constante de ejemplares y una rotación en actividades educativas, lo que dificulta un control estricto de la calidad del aire.

El área de **Zoología (S3)** presentó **599 UFC/m³**, igualmente dentro del rango **alto**; esto debido a la presencia de materiales orgánicos (pieles, huesos, ejemplares en solución) que pueden favorecer el desarrollo de hongos en ciertas condiciones.

Los espacios con contaminación **intermedia** fueron **Paleontología (S4)** con **451 UFC/m³** y el **Herbario (S2)** con **440 UFC/m³**. En ambos casos, los valores más bajos se relacionan con el tipo de actividad que se realiza y el nivel de control ambiental.

En el **Herbario (S2)**, la conservación de las muestras almacenadas en gabinetes cerrados en un ambiente climatizado y con acceso restringido, limita significativamente la dispersión de esporas, lo que coincide con los niveles intermedios encontrados. De forma similar, en **Paleontología (S4)**, aunque se manipulan fósiles y materiales antiguos, la actividad no involucra organismos vivos ni materiales orgánicos en descomposición, y el almacenamiento estructurado en gabinetes reduce la generación de partículas biológicas, explicando así los niveles relativamente moderados de contaminación.

Las **colecciones biológicas de la UES**, fueron catalogadas dentro de un ambiente de contaminación fúngica aeroambiental **alta a muy alta** (Cuadro 19), con valores que oscilaron entre **1,618 y 3,082 UFC/m³** (Con base a la OMS y CCE, 1993, citados por Vásquez, 2018).

En la UES, el sitio con mayor contaminación fúngica fue el **Museo de Vertebrados e Invertebrados (S3)** con **3,082 UFC/m³** (contaminación **muy alta**). Su alto nivel de contaminación puede atribuirse a varios factores como la predominancia de muestras en estantes abiertos, lo cual aumenta la exposición del material biológico al ambiente; la limpieza esporádica y no sistemática; y la ventilación inadecuada. Además, la falta de equipo de control ambiental como aire acondicionado y deshumidificadores.

Le sigue el **Herbario (S2)** con **2,743 UFC/m³**, también catalogado con una **contaminación muy alta**, aunque la mayoría de las muestras estaban almacenadas en gabinetes cerrados, las condiciones del entorno no eran las adecuadas, ya que se observó falta de limpieza y descuido del área. Además, se notó la presencia de algunas muestras en una mesa expuesta, que probablemente influyan en focos de proliferación fúngica, justificando el alto valor registrado.

El sitio de **Ficología (S5)** presentó **2,170 UFC/m³**, igualmente dentro del rango de contaminación fúngica **muy alta**; debido a una falta de limpieza evidente durante los muestreos. A pesar de contar con estantes cerrados para las muestras, el entorno general estaba sucio. La falta de control ambiental y la nula intervención de limpieza explican la elevada carga fúngica registrada.

El **Área de Trabajo del Herbario (S1)** se registra con **2,106 UFC/m³**, considerada con contaminación **muy alta**. El elevado nivel de contaminación fúngica en este sitio puede explicarse por el evidente desorden y suciedad presentes durante los muestreos. La acumulación de polvo en superficies como escritorios, librerías y libros expuestos, así como la presencia de material didáctico regado, generaron un entorno ideal para la proliferación de esporas. La falta de limpieza periódica y la mala ventilación favorecieron la dispersión continua de hongos en el aire, lo que se refleja en las altas concentraciones registradas.

En el sitio de **Entomología (S4)** se registró con **1,618 UFC/m³** el cual es considerado como contaminación **alta**. Este sitio, aunque con una carga fúngica menor respecto a los otros, aún presentó un nivel alto de contaminación. El espacio reducido, la presencia de polvo y la ventilación limitada pudieron haber influido en estos resultados. Sin embargo, se notó una disminución de UFC/m³ en el entorno en comparación con los demás espacios, posiblemente se debió a las acciones constantes de limpieza y organización realizadas por algunos estudiantes en horas sociales, lo que ayudó a reducir la carga de esporas.

En el presente estudio se identificaron las especies de microhongos presentes en el aire de colecciones biológicas del MUHNES y de la UES, muchas de las cuales tienen importancia clínica debido a su potencial alergénico. Entre los géneros más relevantes desde el punto de vista de salud pública se

encuentran *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Fusarium*, los cuales han sido ampliamente documentados como causantes de afecciones respiratorias como rinitis alérgica, asma y alveolitis alérgica extrínseca (Simon-Nobbe et al., 2008; Kurup et al., 2002).

En particular, *Aspergillus fumigatus*, *A. versicolor*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium* sp. y *Fusarium* sp. se reconocen por su capacidad de inducir sensibilización en individuos susceptibles (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). También se encontraron especies menos comunes, pero igualmente relevantes, como *Paecilomyces* sp., *Scopulariopsis* sp., *Trichoderma* sp., *Cryptococcus* sp. y *Rhodotorula* sp., que han sido vinculadas a cuadros alérgicos u oportunistas en ciertas condiciones (Baxi et al., 2016).

Por otra parte, se identificaron especies cuyo potencial alergénico no está claramente establecido o se considera bajo, como *Gliocladium penicilloides*, *Mortierella* sp., *Rhizoctonia* sp., *Humicola* sp., *Lunulospora* sp., *Tilletiopsis* sp., *Verticillium* sp. y *Synnematium* sp. Aunque no se les reconoce como agentes alergénicos primarios, su presencia en ambientes cerrados con poca ventilación o acumulación de materia orgánica podría afectar la calidad del aire (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016; Górný et al., 2002).

La diversidad de microhongos del aire encontrados en los sitios de estudio de esta investigación, refleja la importancia de evaluar la calidad del aire en espacios con colecciones biológicas, mantener condiciones ambientales controladas, hacer monitoreos periódicos y realizar estrategias de manejo que prevengan la exposición prolongada a estos microorganismos.

8. CONCLUSIONES

- En las colecciones biológicas del **MUHNES** se registraron **551 colonias correspondientes a 23 especies fúngicas aéreas y dos tipos de Micelio Estéril (Cristalino y Pigmentado)**; de estas, 18 especies corresponden a la División Deuteromycota/Ascomycota, seguidas por 4 especies de Deuteromycota/Basidiomycota, 1 especie de la División Zygomycota y dos Micelios Estériles de la División Deuteromycota.
- En las colecciones biológicas de la **UES** se identificaron **2,209 colonias correspondientes a 28 especies fúngicas aéreas y dos tipos de Micelio Estéril (Cristalino y Pigmentado)**; de estas, 23 especies pertenecen a la División Deuteromycota/Ascomycota, seguidas por 4 especies de Deuteromycota/Basidiomycota, 1 especie de la División Zygomycota y 2 Micelios Estériles de la División Deuteromycota.
- La especie más representativa de los microhongos presentes en el aire encontrados en las colecciones biológicas del **MUHNES** y **UES** fue *Cladosporium herbarum*. En el **MUHNES**, esta especie presentó una D.R. de 17.24%, una F.O. del 91.75% en los doce muestreos y una F.O. de 100% en los cinco sitios muestreados. En la **UES**, la D.R. fue de 42.06% y su F.O. de 100% tanto en los doce muestreos como en los cinco sitios muestreados.
- Las especies de microhongos y Micelios Estériles presentes en el aire de las colecciones biológicas del **MUHNES** con mayor **D.R. (%)** fueron *Cladosporium herbarum* (17.24%), *Geotrichum* sp. (4.54%), *Penicillium* sp. (2.90%), *Rhizoctonia* sp. (2.54%), *Candida* sp. (2.36%), Micelio Estéril Cristalino (58.80%) y Micelio Estéril Pigmentado (3.45%). En la **UES** las especies de microhongos y Micelios Estériles con mayor **D.R. (%)** fueron *Cladosporium herbarum* (42.06%), *Penicillium citreoviride* (2.40%), *Penicillium* sp. (1.99%), *Candida* sp. 1 (1.58%), *Cryptococcus* sp. (1.54%), Micelio Estéril Cristalino (39.52%) y Micelio Estéril Pigmentado (3.76%).
- Las especies de microhongos y Micelios Estériles con mayor **F.O. (%)** en las colecciones biológicas del **MUHNES**, en los **muestreos**, fueron: Micelio Estéril Cristalino (100%), Micelio Estéril Pigmentado (91.67%), *Cladosporium herbarum* (91.67%), y *Candida* sp. (66.67%). Y la mayor **F.O. (%)** en **sitios de muestreo**, fue de: Micelio Estéril Cristalino (100%), Micelio Estéril Pigmentado (100%), *Cladosporium herbarum* (100%), *Penicillium* sp. (100%) y *Geotrichum* sp. (100%).

- Las especies de microhongos y Micelios Estériles con mayor **F.O. (%)** en las colecciones biológicas de la **UES**, en los **muestreos**, fueron: Micelio Estéril Cristalino (100%), *Cladosporium herbarum* (100%), *Cryptococcus* sp. (91.67%), Micelio Estéril Pigmentado (91.67%), *Candida* sp. 1 (83.33%), *Penicillium citreoviride* (83.33%) y *Penicillium* sp. (83.33%). Y la mayor **F.O. (%)** en **sitios de muestreo**, fue de: Micelio Estéril Cristalino (100%), Micelio Estéril Pigmentado (100%), *Cladosporium herbarum* (100%), *Penicillium citreoviride* (100%) y *Penicillium* sp. (100%).
- Según los índices de diversidad alfa y beta aplicados a las especies de microhongos presentes en el aire de las colecciones biológicas del **MUHNES**, **Shannon-Wiener** con 1.57, demostró que la diversidad fúngica fue baja. El índice de **Pielou** con 0.57, demostró que la equidad de especies fue moderada en la distribución de individuos. El índice de **dominancia de Simpson** con 0.38, y el índice de **diversidad de Simpson** con 0.62, indicaron una baja dominancia de especies y una diversidad moderada.
- Según los índices de diversidad alfa y beta aplicados a las especies de microhongos presentes en el aire de las colecciones biológicas de la **UES**, **Shannon-Wiener** con 1.53, demostró que la diversidad fúngica fue baja. El índice de **Pielou** con 0.46, demostró que la equidad de especies fue moderada en la distribución de individuos. El índice de **dominancia de Simpson** con 0.34, y el índice de **diversidad de Simpson** con 0.66, indicó una baja dominancia de especies y una diversidad moderada.
- Según los índices de similitud aplicados a las especies de microhongos presentes en el aire de las colecciones biológicas del **MUHNES** y **UES**, **Sorensen** con 0.40, y **Jaccard** con 0.25, demostraron una baja semejanza en la composición fúngica entre cada sitio de estudio.
- Según las categorías establecidas por la OMS bajo la CCE (1993) basándose en los valores de UFC/m³, la **contaminación fúngica aeroambiental** en las colecciones biológicas del **MUHNES**, fue de **intermedia a alta**, con valores que oscilaron entre 440 a 764 UFC/m³ en los cinco sitios de muestreo y 204 a 891 UFC/m³ durante los doce muestreos realizados entre mayo y agosto de 2024.
- Según las categorías establecidas por la OMS bajo la CCE (1993) basándose en los valores de UFC/m³, la **contaminación fúngica aeroambiental** en las colecciones biológicas de la **UES**, fue **alta a muy alta**, con valores que oscilaron entre 1,618 a 3,082 UFC/m³ en los cinco sitios de muestreo y 1,095 a 5,411 UFC/m³ durante los doce muestreos realizados entre mayo y agosto de 2024.

- Al comparar los resultados entre las colecciones biológicas del **MUHNES** y **UES**, se observaron diferencias en la Densidad Relativa (%), Frecuencia de Ocurrencia (%), índices de diversidad alfa y beta y niveles de contaminación (UFC/m³) de microhongos del aire. Estos resultados sugieren que las condiciones ambientales específicas de cada lugar influyen en la presencia y proliferación de los microhongos. Por lo tanto, la **UES** mostró un mayor nivel de contaminación de microhongos del aire que el **MUHNES**, lo cual podría atribuirse a las condiciones ambientales en que se encuentran las colecciones biológicas.
- Géneros como *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*, están ampliamente asociadas con **enfermedades respiratorias** como la rinitis alérgica, el asma y la alveolitis alérgica extrínseca (según Simon-Nobbe et al., 2008; Kurup et al., 2002). También se detectaron hongos como *Geotrichum*, *Paecilomyces*, *Scopulariopsis*, *Trichoderma*, *Cryptococcus* y *Rhodotorula*, que, aunque menos comunes, pueden provocar alergias o infecciones oportunistas, especialmente en personas inmunocomprometidas.
- El estudio confirmó la presencia significativa de **microhongos con potencial alérgico** en el aire de las colecciones biológicas del **MUHNES** y la **UES** entre mayo y agosto de 2024, destacando a *Cladosporium herbarum* como la especie predominante. La detección de otros géneros como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhodotorula* y *Scopulariopsis* resalta la importancia de monitorear la calidad del aire en estos espacios, debido a los riesgos que implican para la salud humana.
- Se generó un **protocolo de buenas prácticas de limpieza y tratamientos para disminuir la presencia de microhongos en los ambientes interiores**, el cual ofrece lineamientos específicos que contribuyen a la preservación, conservación, y cuidado de las colecciones biológicas; además de proteger la salud de las personas que trabajan en estos espacios (**Anexo 2**).

9. RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios sobre las comunidades de microhongos presentes en el aire de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (**MUHNES**) y de la Universidad de El Salvador (**UES**) en diferentes épocas del año, con el objetivo de ampliar el conocimiento de la composición de las comunidades de microhongos del aire presentes en estos sitios, para el resguardo de las colecciones biológicas y la salud del personal que labora en estos sitios.
- Establecer rutinas de limpieza frecuentes y sistemáticas en **MUHNES** y **UES** a cargo de personal capacitado, priorizando el retiro de polvo y residuos orgánicos en las áreas de colección, especialmente en estantes abiertos, mesas de trabajo y superficies expuestas.
- Mantener una infraestructura adecuada, con separaciones de tabla roca o puertas de vidrio que permitan el aislamiento de cada colección tanto en el **MUHNES** como en la **UES**.
- Establecer un protocolo de ingreso y limpieza tanto en el **MUHNES** como en la **UES** para todas las personas que accedan a las colecciones biológicas, el cual incluya medidas como el uso obligatorio de equipo de protección personal, la desinfección de calzado y manos, y la restricción de ingreso con objetos o materiales que puedan introducir contaminantes.
- Ejecutar proyectos de investigación aeromicológica en **MUHNES** y **UES** que ofrezcan información detallada sobre la ecología, taxonomía y distribución de las comunidades fúngicas en El Salvador. Estos estudios ayudarán a entender mejor la diversidad y el comportamiento de los microhongos en distintos ambientes.
- Implementar en **MUHNES** y **UES** monitoreos periódicos de la calidad del aire, junto con medidas de control ambiental como ventilación, regulación de humedad y limpieza continua, hasta lograr controlar la situación y prevenir riesgos para la salud y conservación de las colecciones biológicas.
- Reparar ventanas rotas o abiertas en las colecciones biológicas de la **UES** para evitar el ingreso de contaminantes externos, esporas y animales. Se deben sellar adecuadamente las aberturas para mantener un ambiente limpio.
- Dotar a las colecciones biológica de la **UES** de aires acondicionados, deshumidificadores y sistemas de filtración de aire, con el fin de mantener niveles de temperatura y humedad adecuados para minimizar la proliferación fúngica.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M., Díaz, R., y Ramírez, R. (2012). *Anteproyecto Arquitectónico y Remodelación para las Instalaciones del Eco parque Saburo Hirao*. [Universidad de El Salvador]. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2408/>
- Alexopoulos, C. J., y Mims, C. W. (1985). *Introductory Mycology* (3ª ed.). Omega. <https://es.scribd.com/document/393195970/Introduccion-a-La-Micologia-C-Alexopoulos-C-Mims-Omega-1985-OCR>
- Alexopoulos, C. J., Mims, C. W., y Blackwell, M. (1996). *Introductory Mycology* (4ª ed.). Wiley. <https://es.scribd.com/document/726327719/1996-Alexopoulos-Et-Al-Introductory-Mycology-4th-Ed>
- Aragón, S., Péquignot, A., Morille, C.-H., Dequaire, A., y Hornault, G. (2007). *Las colecciones científicas universitarias, un patrimonio en proceso de recuperación*. RdM. Revista de Museología: Publicación científica al servicio de la comunidad museológica, 38, 72-80 pp. https://www.researchgate.net/publication/260530968_Las_colecciones_cientificas_universitarias_un_patrimonio_en_proceso_de_recuperacion
- Arenas, R. (2014). *Micología médica ilustrada* (Quinta edición.). McGraw-Hill Interamericana. <https://es.slideshare.net/slideshow/micologiamedicailustradaarenas5epdf/264705613>
- Badii, M. H., Landeros, J., y Cerna, E. (2008). *Patrones de asociación de especies y sustentabilidad (Species association patterns and sustainability)*. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 3(1), 632–660.
- Barnett, H. L., y Hunter, B. B. (1999). *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. (4a. Edición). <https://archive.org/details/cfri.9574illustratedgener0000hlba/page/n3/mode/2up>
- Baxi, S. N., Portnoy, J. M., Larenas-Linnemann, D., Phipatanakul, W., & Environmental Allergens Workgroup (2016). *Exposure and Health Effects of Fungi on Humans*. The journal of allergy and clinical immunology. In practice, 4(3), 396–404. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4861659/>
- Cepeda, R., Luque, L., Ramírez, D., Franco, P., y Fabra, M. (2019). *Monitoreo De Hongos Ambientales En Laboratorios Y Reservas Patrimoniales Bioarqueológicas*. *Boletín Micológico*, 34(2), 33 pp. <https://doi.org/10.22370/bolmicol.2019.34.2.1909>

- Cepero de García, M. C., Restrepo, S., Franco, A. E., Cárdenas M., y Vargas N. (2012). *Biología de hongos*. Universidad de los Andes. https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789586957946_A25397967/preview-9789586957946_A25397967.pdf
- Chacón, S., Guzmán, G., Montoya, L., y Bandala, V. M. (1995). *Guía Ilustrada de los Hongos del jardín Botánico Francisco Javier Clavijero de Xalapa, Veracruz y Áreas Circunvecinas*. Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Veracruz, México. 142 pp. <https://archive.org/details/guiailustradadel0000vari/mode/2up?>
- Cole, G. T. (1986). *Models of cell differentiation in conidial fungi*. Microbiological Reviews, 50(2), 95-132 pp. <https://doi.org/10.1128/mr.50.2.95-132.1986>
- Darwish, S., El Hadidi, N. y Mansour, M. (2013). *The Effect of Fungal Decay on Ficus Sycomorus Wood*. International Journal of Conservation Science. 4. 271-282. <https://ijcs.ro/public/IJCS-13-26-Darwish.pdf>
- Derrick, E., y McLennan, E. I. (1963). *Fungus Spores Found in the air in Melbourne (Victoria), Australia*. Acta Allergol, 18, 26-43. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1398-9995.1963.tb03139.x>
- Eggleston P, Bush K (2001). *Environmental allergen avoidance: An overview*. J Allergy Clin Immunol, 107, 403-405. <https://www.jacionline.org/article/S0091-6749%2801%2982942-0/fulltext?>
- Escobar, G.A. (1979). *Géneros comunes de Micromicetos en cultivo*. Boletín No. 15. Departamento de Biología, Universidad de El Salvador, San Salvador. 80 pp.
- Escobar, G.A. (1985). *Apuntes de Micología Básica*. Boletín No.16. Departamento de Biología, Universidad de El Salvador, San Salvador. 73 pp.
- Esquivel Vásquez, R. E. (1988). *Análisis cualitativo y cuantitativo de la micoflora en el aire de la Biblioteca Nacional de El Salvador* [Tesis para optar a la Licenciatura]. Universidad de El Salvador. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/59e5c0df-3e15-4cc6-9660-189a63e505c5/content>
- Estrada, G., y Ramírez, M. (2019). *Micología General*. Cárol Trujillo. <https://isbn.cloud/9789585233713/micologia-general/>

- Frey, D., y Durie, B. (1962). *Estimation of air-borne fungus spores: a comparison of slide and culture methods*. *Mycopathologia et Mycologia Applicata*, 16, 229-303 pp. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02135821>
- Fröhlich-Nowoisky, J., Pickersgill, D. A., Després, V. R., y Pöschl, U. (2016). High diversity of fungi in air particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 2015–2020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19617562/>
- Fuentes, O. D., y León, C. A. (2015). *Determinación y caracterización de la carga micológica en el aire interior y exterior del Herbario FARMAYA y en el anexo del Herbario BIGU de la Escuela de Biología*. [Para optar al título de Químicos Biólogos, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QB1136.pdf>
- Google Earth. (2024). *Google Earth*. Google. <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Górny, R. L., Reponen, T., Grinshpun, S. A., Willeke, K., Schmechel, D., Robine, E., Boissier, M., y Dutkiewicz, J. (2002). Fungal fragments as indoor air biocontaminants. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(7), 3522–3531. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC126767/>
- Granados, L., y Parada, F. (2023). *Diversidad de la población fúngica aérea presente en el Área Natural Protegida Parque del Bicentenario, San Salvador, El Salvador* [Universidad de El Salvador]. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/11fa2170-c1d8-4274-bd4e-a98aacfc98d0/content>
- Gregory, P. H. (1961). *The microbiology of the atmosphere*. Leonard Hill. <https://archive.org/details/microbiologyofat00greg/page/n7/mode/2up>
- Grisales, L. A. (2017). *Hongos (reino Fungi): Características y clasificación o tipos*. Naturaleza y ecología. <https://naturaleza.animalesbiologia.com/fungi/hongos>
- Guardino, X. (2001). *Medición de contaminantes biológicos en el aire*. https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/67887/3/Especializaci%C3%B3n%20en%20Higiene%20industrial%20I_M%C3%B3dulo%204_Medici%C3%B3n%20de%20contaminantes%20biol%C3%B3gicos%20en%20aire.pdf

- Hernández, A. y Martí, M. (2003). *Contaminantes biológicos, criterios de valoración*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. https://cso.hermes-soft.com/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20203%20-%20Contaminantes%20biologicos%20evaluacion%20en%20ambientes%20laborales.pdf
- Herrera Cornejo, C. A. (2005). *Población Fúngica Aérea, en zonas boscosas del Parque Nacional Walter Thilo Deininger La Libertad, El Salvador*. [Tesis para optar a la Licenciatura, Universidad de El Salvador]. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8836/1/19200751.pdf>
- Herrera, K., Cobar, O., Barrios, R., Piérola, K., Chamalé, W., Rosales, C., Quan, J., Moreno, M., Paxtor, J., y Maas, J. (2015). *Evaluación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos colecciones biológicas y dos museos de la ciudad de Guatemala*. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, 25(2), 4 p. https://www.researchgate.net/publication/266249611_Cuidado_Manejo_y_Conservacion_de_las_Colecciones_Biologicas
- Jaccard, P. (1901). *Estudio comparativo de la distribución floral en una parte de los Alpes y del Jura*. 37. 547-579. 10.5169/seals-266450. https://www.researchgate.net/publication/225035806_Etude_de_la_distribution_florale_dans_une_portion_des_Alpes_et_du_Jura
- Kent, M., y Coker, P. (1992). *Vegetation description and analysis: A practical approach*. CRC Press / Belhaven Press. <https://archive.org/details/vegetationdescri0000kent/mode/2up>
- Kramer, C. L., Pady, S. M., y Rogerson, C. T. (1959). *Kansas Aeromycology III. Cladosporium*. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 62(3), 200-207 <https://www.jstor.org/stable/3626976?>
- Kurup, V. P., Shen, H. D., y Banerjee, B. (2002). Respiratory fungal allergy. *Microbes and Infection*, 4(11), 1251–1260. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10967290/>
- Lande, R. (1996). *Statistics and partitioning of species diversity, and similarity among multiple communities*. *Oikos*, 76, 5–13. <https://www.jstor.org/stable/3545743?>
- Llorens, J., Lladó, J., y Coll, M. (2007). *El futuro del cultivo de los hongos superiores*. 7-11 pp. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Hort%2FHort_1984_17_7_11.pdf

- Lorenzo, C., Espinoza, E., Briones, M., y Cervantes, F. A. (2006). *Colecciones mastozoológicas de México*. UNAM. https://mamiferosmexico.org/books/Colecciones_mastozoológicas.pdf
- Magurran, A. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. C. Helm (Ed.). New Jersey, EE.UU.: Princeton University Press. <https://archive.org/details/ecologicaldivers0000magu?>
- Magurran, A. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing. https://www.researchgate.net/profile/Mukesh_Gautam2/post/What_is_the_best_index_between_Jackknife_ACE_Bootstrap_and_Chao_to_know_the_exhaustiveness_of_a_sampling_method_of_soil_coleoptera/attachment/59d634a0c49f478072ea2e09/AS%3A27365592882176%401442255986004/download/Measuring+Biological+Diversity-Anne+E+Magurran.pdf
- Mandrioli, P. (2002). *Bioaerosol y biodeterioro. Ciencia y Tecnología para la Protección Sostenible del Patrimonio Cultural*, 15 p. UCL Center for Sustainable Heritage.
- Margalef, R. (1972). *Homage to E. Hutchison, or why is there an upper limit to diversity. Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44, 21-235.
- Martínez, F. J., y Gómez, E. (2007). *Calidad de ambientes interiores*. Paraninfo. [https://books.google.com.sv/books?hl=es&lr=&id=tOwwYn49KQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Calidad+de+ambientes+interiores+Martinez,+F.+J.,+%26+Gomez,+J.+\(2007\).+PDF&ots=PskjYsFf-4&sig=k_YiZJq10eLI8IE2KDUTMsLQU0](https://books.google.com.sv/books?hl=es&lr=&id=tOwwYn49KQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Calidad+de+ambientes+interiores+Martinez,+F.+J.,+%26+Gomez,+J.+(2007).+PDF&ots=PskjYsFf-4&sig=k_YiZJq10eLI8IE2KDUTMsLQU0)
- Mata, G., y Salmones, D. (2021). *Técnicas de aislamiento, cultivo y conservación de cepas de hongos en el laboratorio* (1.a ed.). https://www.inecol.mx/inecol/images/pdf/libro_cepas.pdf
- Menjívar Alvarado V. (1993). *Análisis comparativo de la agroecología del hospital Rosales y hospital Neumológico de los Planes de Renderos*. Departamento de Biología, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Ministerio de Cultura. (2024). *Parque Saburo Hirao*. <https://www.cultura.gob.sv/marco-institucional/direccion-nacional-de-casas-de-la-cultura-y-parques-culturales/parque-saburo-hirao/>
- Miquel, P., y Cambert, R. (1901). *Traité de bacteriologie pure et appliqué*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5493967n/f14.item.texteImage>

- Morán, A. (2022). *Determinación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en los mercados centrales de la ciudad de Macas, Ecuador*. [Para optar al título de Ingeniera Ambiental, Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Ecuador]. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/21406/1/236T0809.pdf>
- Moreno, C. E. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Sociedad Entomológica Aragonesa. <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>
- Moreno, M. H., y Paxtor, J. A. (2014). *Determinación de la contaminación del aire por hongos microscópicos en dos museos de la ciudad de Guatemala* [Para optar al título de Químico Biólogo, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3543.pdf
- Mueller-Dombois, D., y Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley. <https://archive.org/details/aimsmethodsofveg0000muel/mode/2up>
- O'Brien, B.L., Parrent, J.L., Jackson, J.A., Moncalvo, J.M., y Vilgalys, R. (2005). *Fungal community analysis by large-scale sequencing of environmental samples*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 5544-5550 pp. <https://journals.asm.org/doi/epub/10.1128/aem.71.9.5544-5550.2005>
- OMS y CCE (1993) *Biological particles in indoor environments. Indoor air quality and its impact on man*. Organización Mundial de la Salud y Comisión de Comunidades Europeas. https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/ECA/ECA_Report12.pdf
- Pady, S. M., y Kramer, C. L. (1960). Kansas Aeromycology X. Basidiomycete. *Transactions of the Kansas Academy of Science*, 63(3), 125-134. <https://www.jstor.org/stable/3626631>
- Parada Flores E. (1996). *Estudio aeromicológico en época seca de los Hospitales San Juan de Dios y Centro Médico de Oriente, Departamento de San Miguel*. Departamento de Biología, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Peet, R. K. (1974). *The measurement of species diversity*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 285-307. <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.es.05.110174.001441>

- Peña, S. (2020). *¿Cuántas especies de hongos hay en el mundo? ¿Cuál es su distribución?* CRETUS, 10 pp. https://www.researchgate.net/publication/361908319_Cuántas_especies_de_hongos_hay_en_el_mundo_Cual_es_su_distribucion
- Peréz, E., Enrique, J., Serpa, E., Rodríguez, F., Anaya, F., Espinel, Y., Galvez, M., y Gomez, E. (1998). *Manual para el cuidado de objetos culturales*. <https://ilamdocs.org/lector/2693/>
- Perrone, G., y Susca, A. (2017). *Especies de Penicillium y sus micotoxinas asociadas*. En *Hongos micotoxigénicos* (pp. 107-119). Métodos en biología molecular. https://www.researchgate.net/publication/311484113_Penicillium_Species_and_Their_Associated_Mycotoxins
- Pielou, E.C. (1966) *La medición de la diversidad en diferentes tipos de colecciones biológicas*. Journal of Theoretical Biology, 13, 131-144. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
- Ramírez E. (2024). *Análisis cuantitativo y cualitativo de los microhongos del aire al interior del Complejo Educativo Dr. Humberto Romero Alvergue*. Departamento de Biología, Universidad de El Salvador, San Salvador. (No publicado).
- Rodríguez, J. C. (2016). *Evaluación aeromicrobiológica del depósito del Centro de Documentación del Museo Nacional de la Música de Cuba*. Ge-conservacion, 9 p. <https://doi.org/10.37558/gec.v9i0.289>
- Romero, B. (2007). *Avances en la taxonomía y sistemática de los hongos: Una revisión general*. En *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad*. <https://es.scribd.com/doc/7996093/6-Avances-en-la-taxonomia-y-sistemica-de-los-hongos-una-revision-general>
- Rosa, M. C. de la, Ullán, C., y Mosso, M. A. (2002). *El aire: Hábitat y medio de transmisión de microorganismos*. Observatorio medioambiental, 5, 375-402 pp. <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0202110375A/21767>
- Sanchíz, B., Barreiro Rodríguez, J., y Museo Nacional de Ciencias Naturales (Spain) (Eds.). (1994). *Manual de catalogación y gestión de las colecciones científicas de historia natural*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. http://aleph.csic.es/imagenes/mad01/mncn/P_000436154_436154000003_V00.pdf

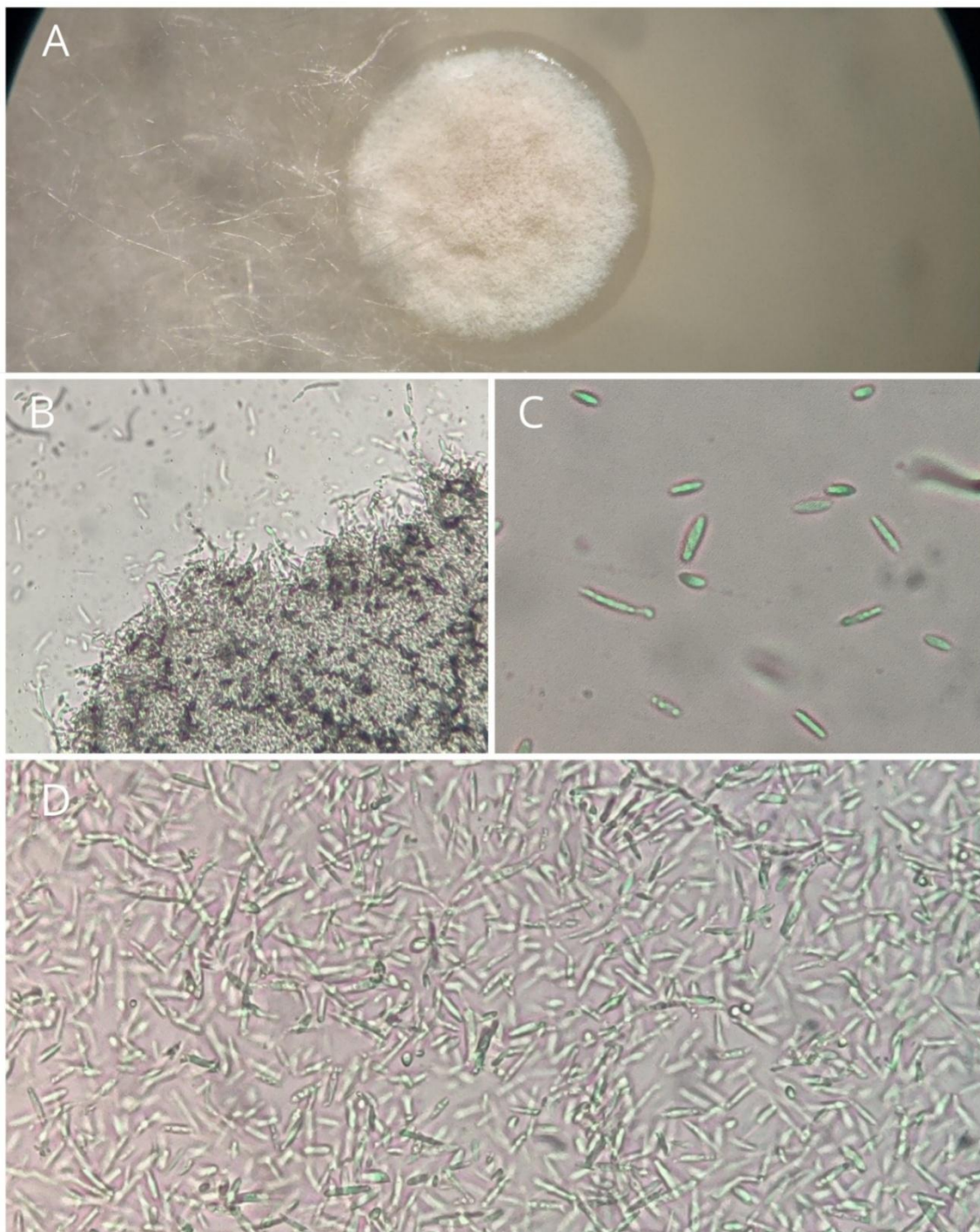
- Simmons, J. E., y Muñoz, Y. (2005). *Cuidado, Manejo y Conservación de las Colecciones Biológicas* (1.a ed., Vol. 1). Universidad Nacional De Colombia - Conservación Internacional. https://www.researchgate.net/publication/266249611_Cuidado_Manejo_y_Conservacion_de_las_Colecciones_Biologicas
- Simon-Nobbe, B., Denk, U., Pöll, V., Rid, R., y Breitenbach, M. (2008). The spectrum of fungal allergy. *International Archives of Allergy and Immunology*, 145(1), 58–86. https://www.researchgate.net/publication/6129877_The_Spectrum_of_Fungal_Allergy
- Simpson, E.H. (1949) *Medición de la diversidad*. *Nature*, 163, 688. <http://dx.doi.org/10.1038/163688a0>
- Sorensen, T. (1948) *Un método para establecer grupos de igual amplitud en sociología vegetal basado en la similitud del contenido de especies y su aplicación a los análisis de la vegetación en los bienes comunes daneses*. *Biologiske Skrifter/Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, 5, 1-34.
- Taylor, D.L., Herriott, I.C., Stone, K.E., McFarland, J.W., Booth, M.G., y Leigh, M.B. (2010). *Structure and resilience of fungal communities in Alaskan boreal forest soils*. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(7), 1288-1301 pp. https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/journals/pnw_2010_taylor001.pdf
- Tobar, D. (2002). *Informe de la curaduría de la colección de mariposas*. Wolfgang Schmidt Mumm. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.
- UES. (2024). *Universidad de El Salvador*. Universidad de El Salvador. <https://www.ues.edu.sv/>
- Umaña Valdivieso R. (1987). *Análisis cualitativo, cuantitativo y comparativo de las especies fúngicas presentes en el interior de las casas y edificios, durante las épocas secas y lluviosas en el área de San Salvador*. Departamento de Biología, Universidad de El Salvador, San Salvador. <https://repositorio.ues.edu.sv/items/06938609-43d1-4d1d-a907-fe7e1f65d235>
- Upsher, F. J., y Griffiths, D. A. (1973). *Air Spora of a site in tropical Queensland, Australia*. *Transactions of British Mycological Society*, 61(3), 537-545 pp. [https://doi.org/10.1016/S00071536\(73\)80123-8](https://doi.org/10.1016/S00071536(73)80123-8)
- Vaillant, M. (2013). *Biodeterioro del patrimonio histórico documental*. http://site.mast.br/pdf/livro_millagros_espanhol.pdf

- Valdez, C. G., Guzmán, M. A., Valdés, A., Forougbakhch, R., Alvarado, M. A., y Rocha, A. (2018). *Estructura y diversidad de la vegetación en un matorral espinoso prístino de Tamaulipas, México*. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1674–1682. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v66n4/0034-7744-rbt-66-04-1674.pdf?>
- Valentín, N. (2010). *Microorganisms in museum collections*. COALITION. Instituto del Patrimonio Cultural de España, 4p. http://www.rtphc.csic.es/issues/19_01.pdf
- Vásquez, R. (2018). *Contaminación fúngica aeroambiental de bibliotecas y museos de la ciudad de Ayacucho* [Para obtener el Título profesional de Biólogo en la especialidad de microbiología, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. https://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/UNSCH/2773/1/TESIS%20B814_Vas.pdf
- Vásquez, R. (2023). *Introducción al conocimiento del Reino Fungi*. <https://es.scribd.com/document/878685676/Practica-II-Liquenologia>
- Villalba, A. (2021). *Conociendo a los hongos microscópicos*. Nuestra Tierra. https://erno.geologia.unam.mx/uploads/nuestra-tierra/archivos/35/Revista_Nuestra_tierra_Ed35_version_web.pdf
- Zaragoza, Ó. (2018). *Los hongos microscópicos: ¿amigos o enemigos?* Los Libros de La Catarata. <https://repisalud.isciii.es/rest/api/core/bitstreams/da9449f1-b72d-4b8e-aa2d-b210c404ae0c/content>

11. ANEXOS

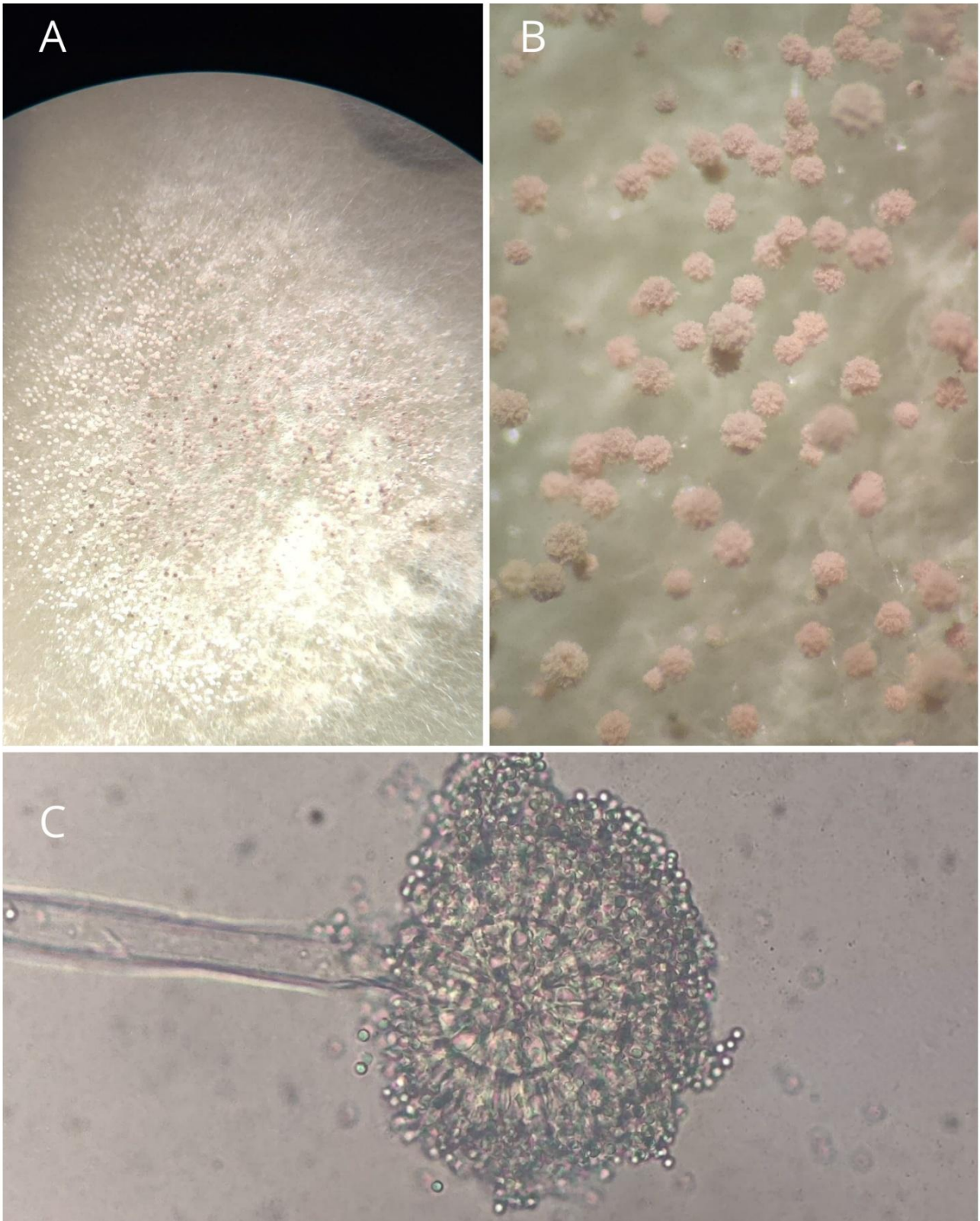
Anexo 1. Registro fotográfico de los microhongos del aire presentes en las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y Universidad de El Salvador (UES), durante mayo a agosto de 2024, en orden alfabético.

Acremonium sp.



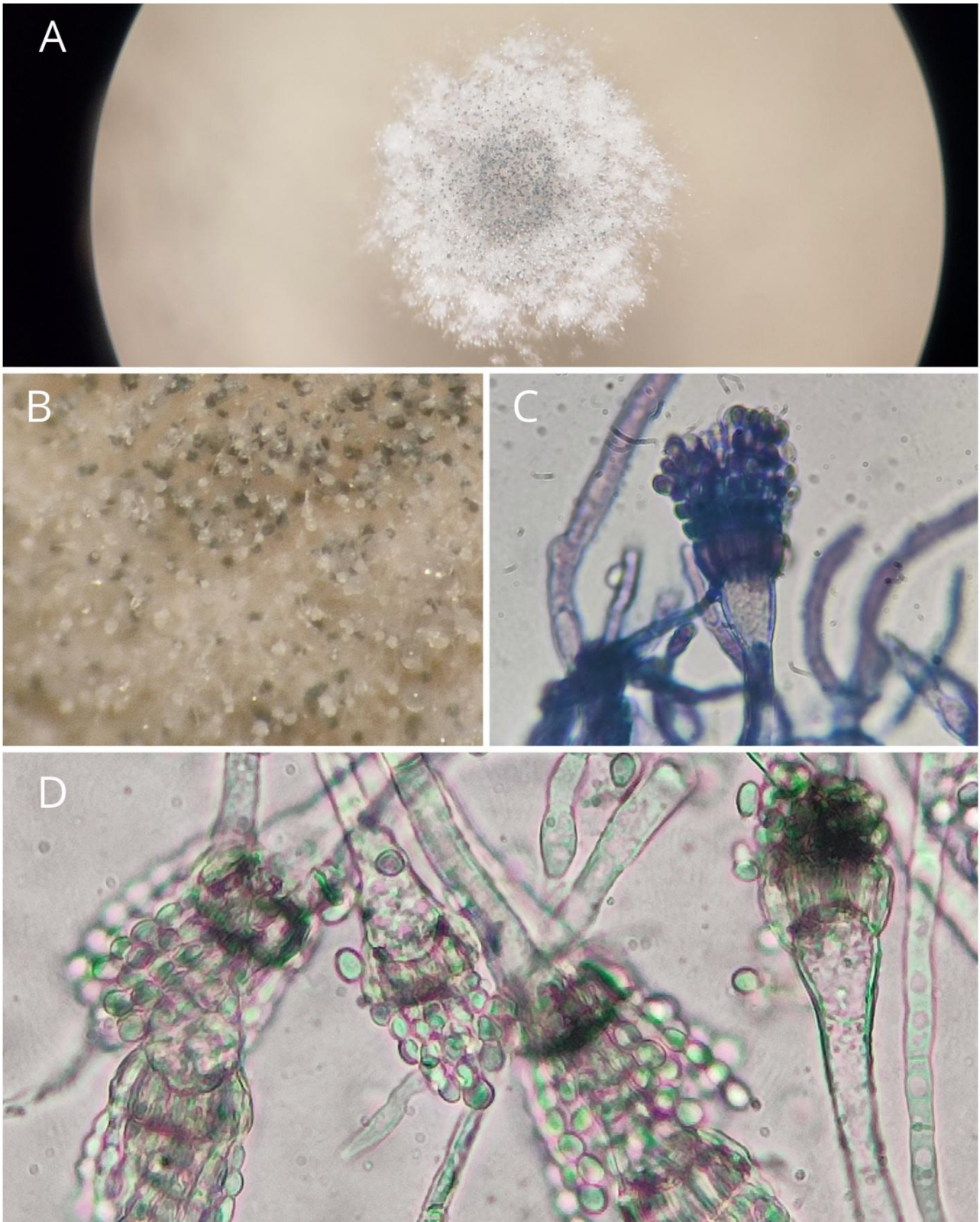
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Hifas vistas a un aumento de 100X; **C.** Ascosporas vistas a un aumento de 1000X; **D.** Ascosporas vistas a un aumento de 400X.

Aspergillus candidus



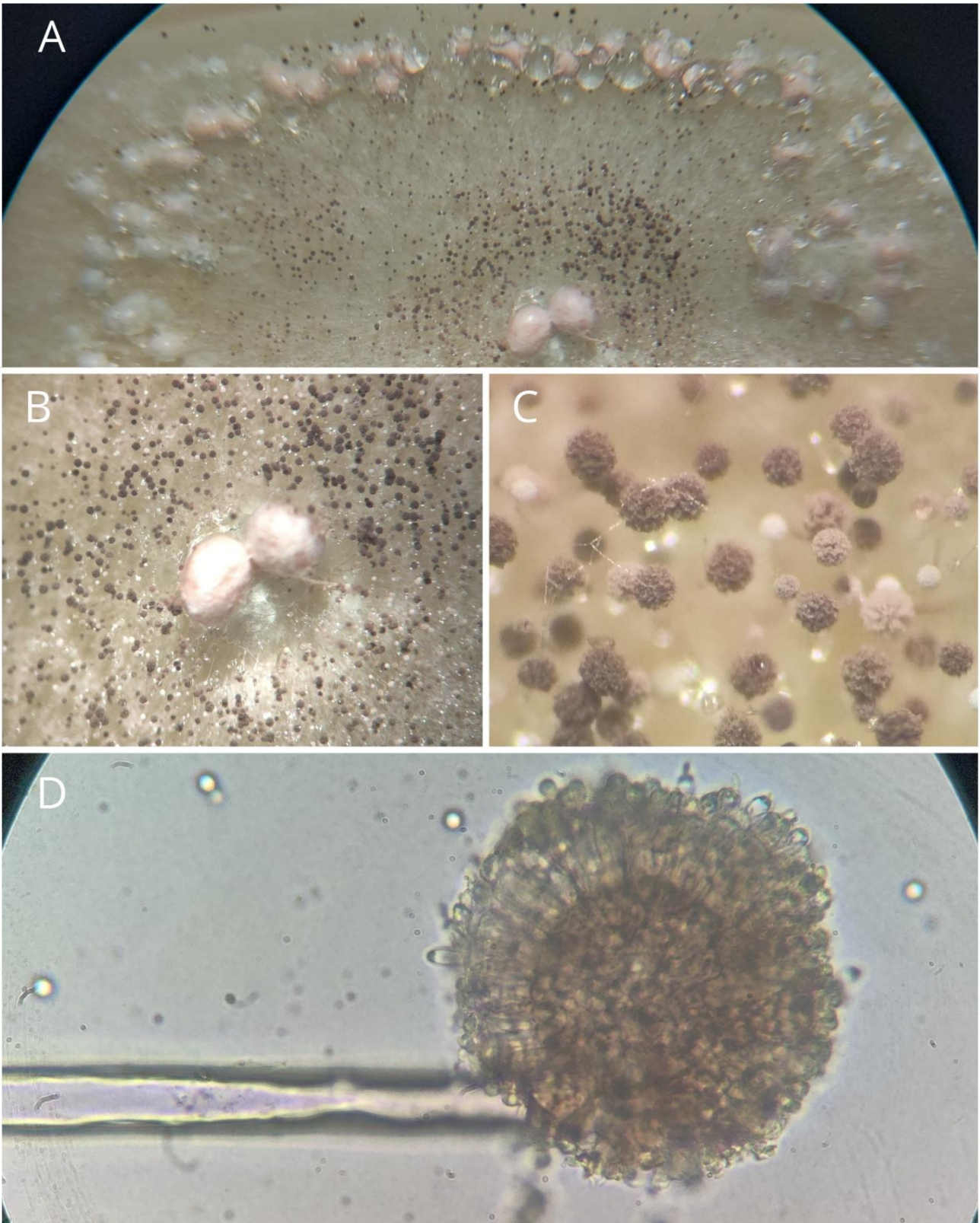
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos en estereoscopio;
C. Conidios en conidióforo visto a un aumento de 1000X.

Aspergillus fumigatus



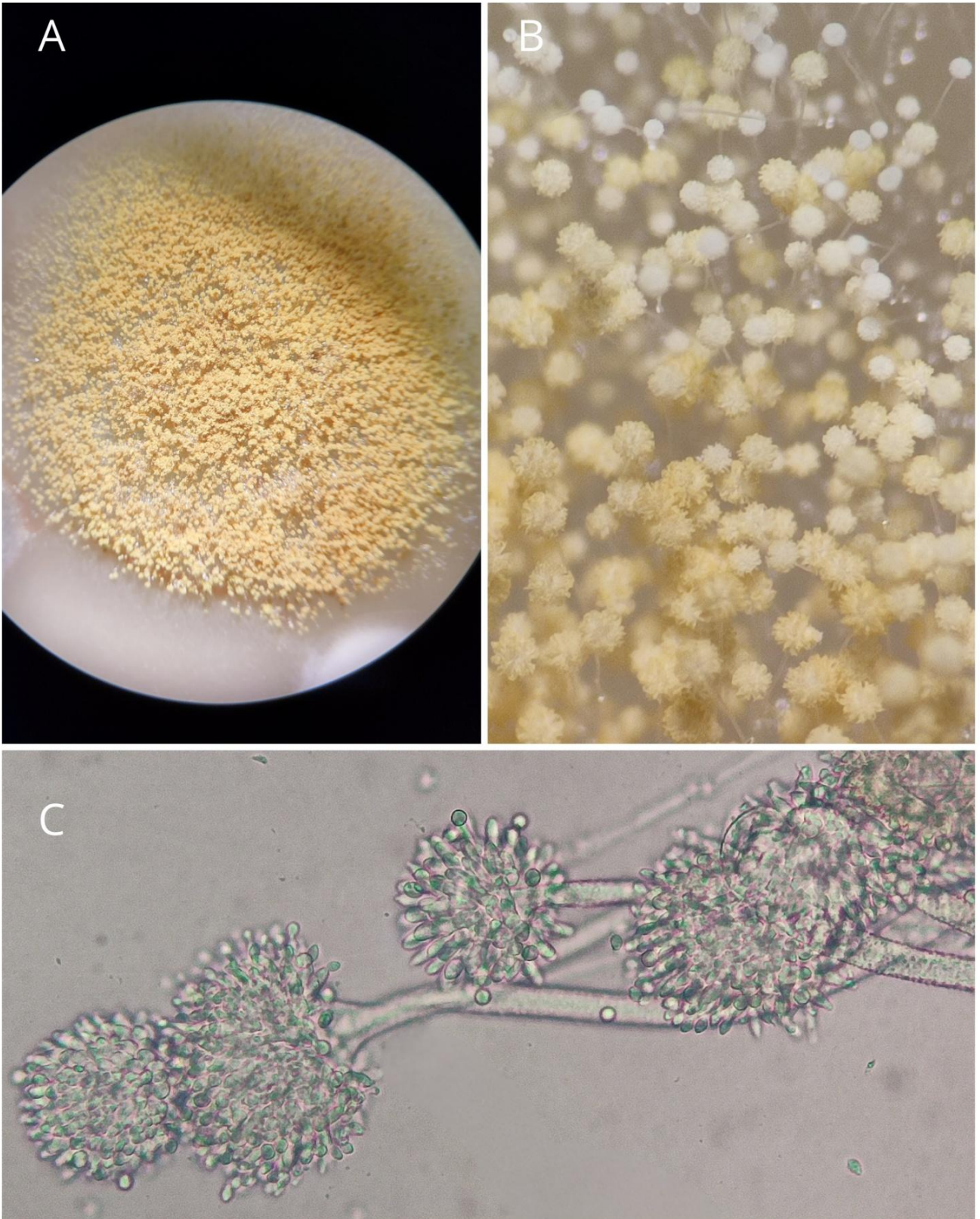
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos en estereoscopio; **C.** Conidios en conidióforo Pigmentado con lactofenol visto a un aumento de 400X; **D.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Aspergillus glaucus



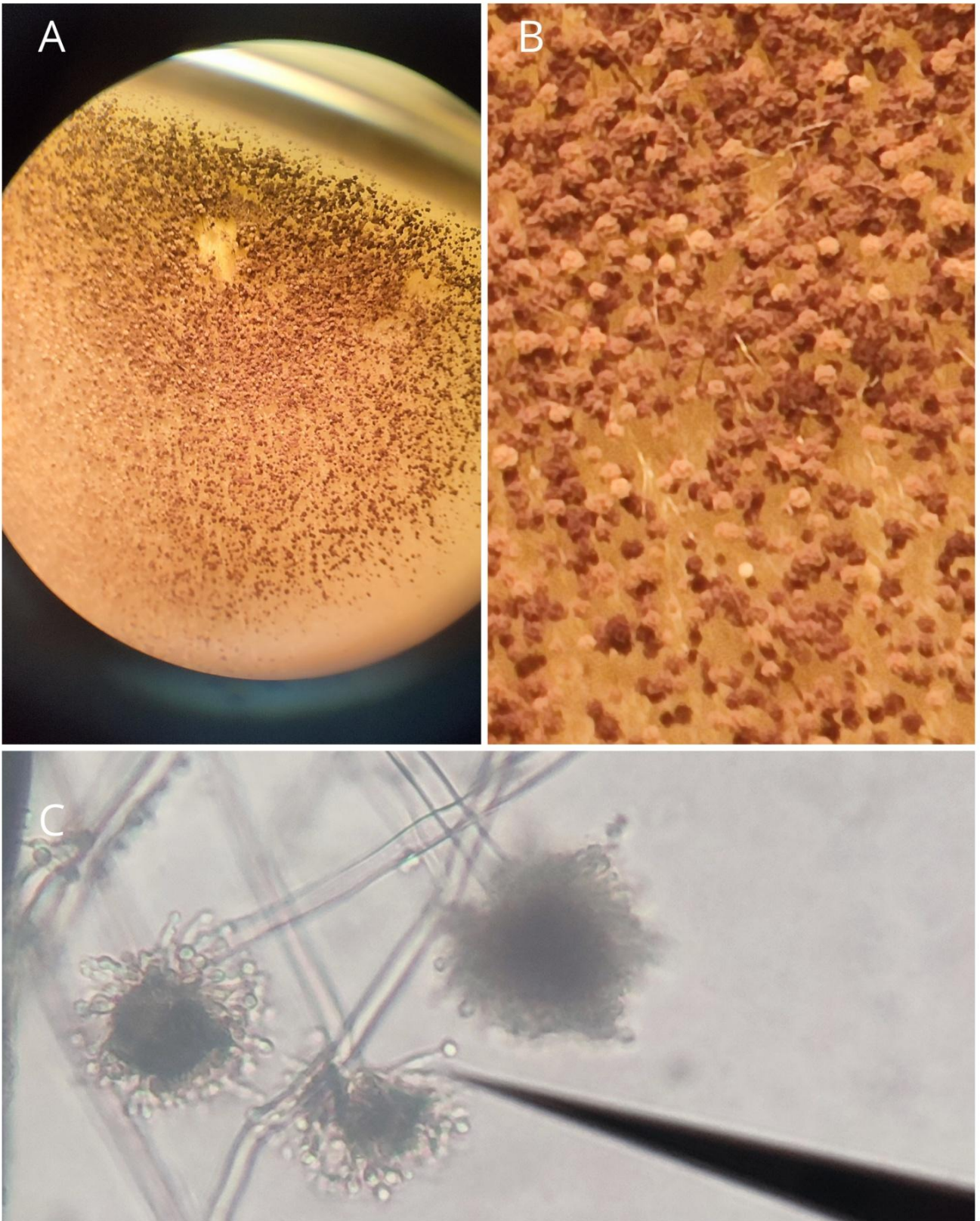
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Cleistotecios vistos en estereoscopio; **C.** Conidios en conidióforos vistos en estereoscopio; **D.** Conidios en conidióforo visto a un aumento de 1000X.

Aspergillus oryzae



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos en estereoscopio;
C. Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

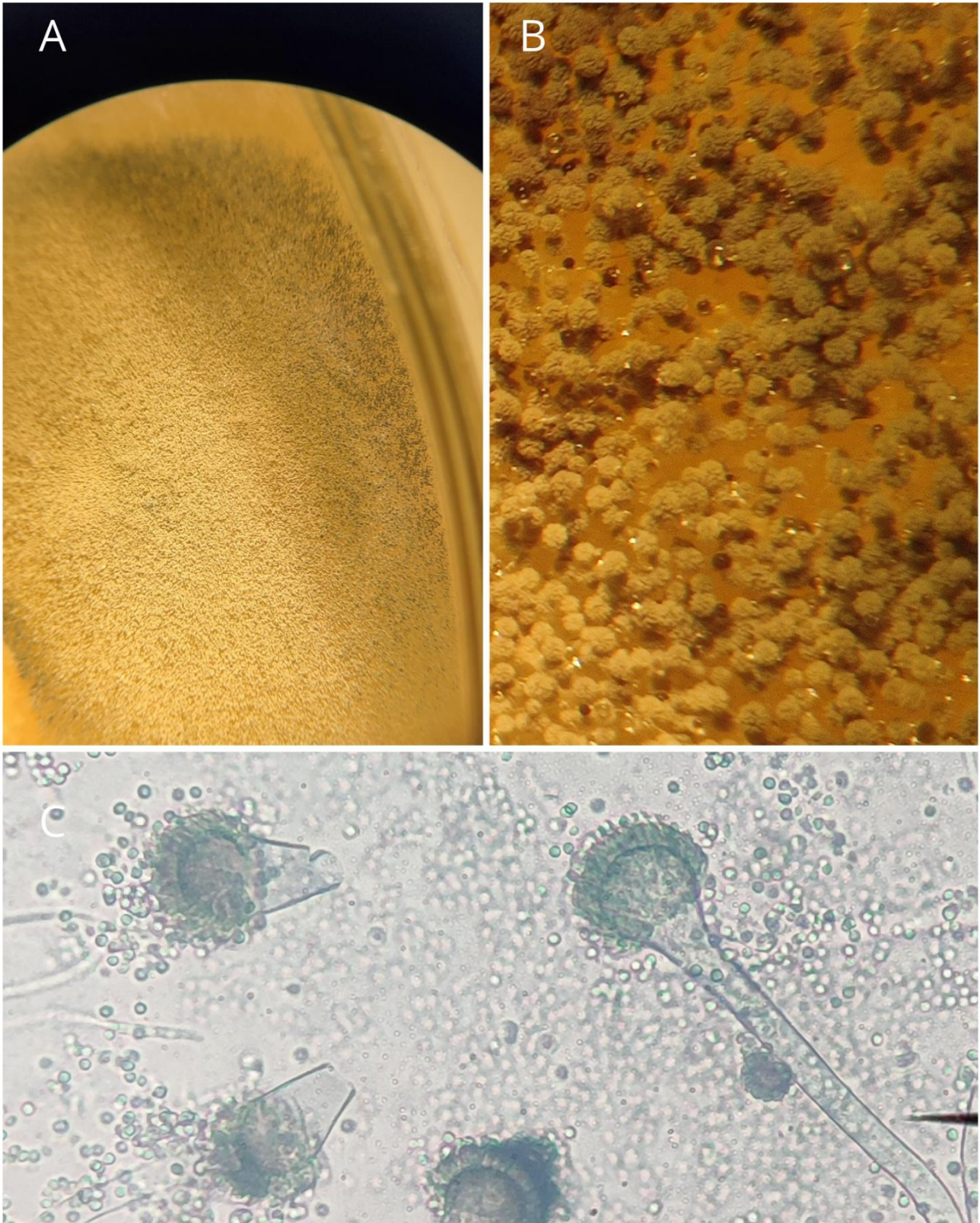
Aspergillus ustus



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos en estereoscopio;

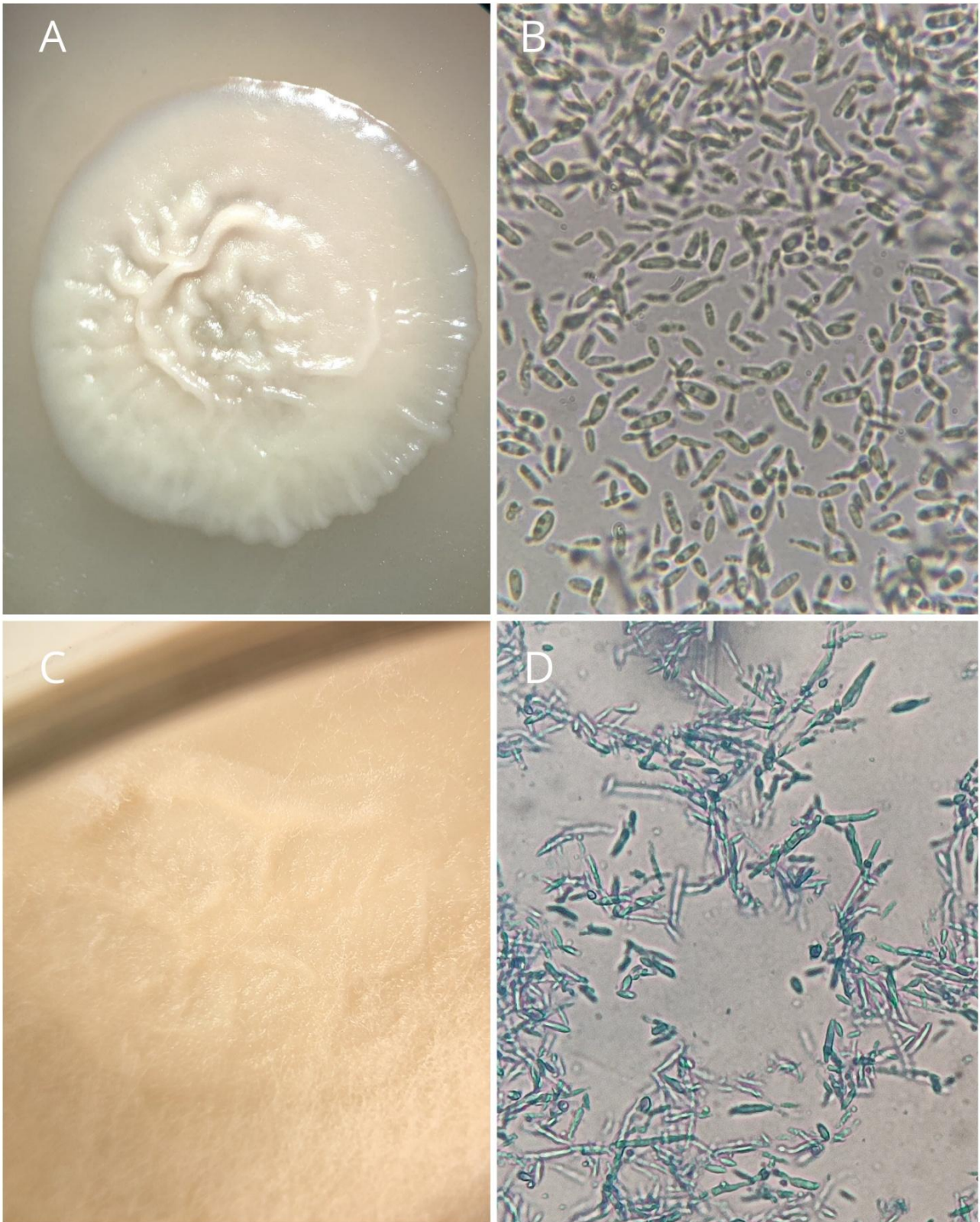
C. Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Aspergillus versicolor



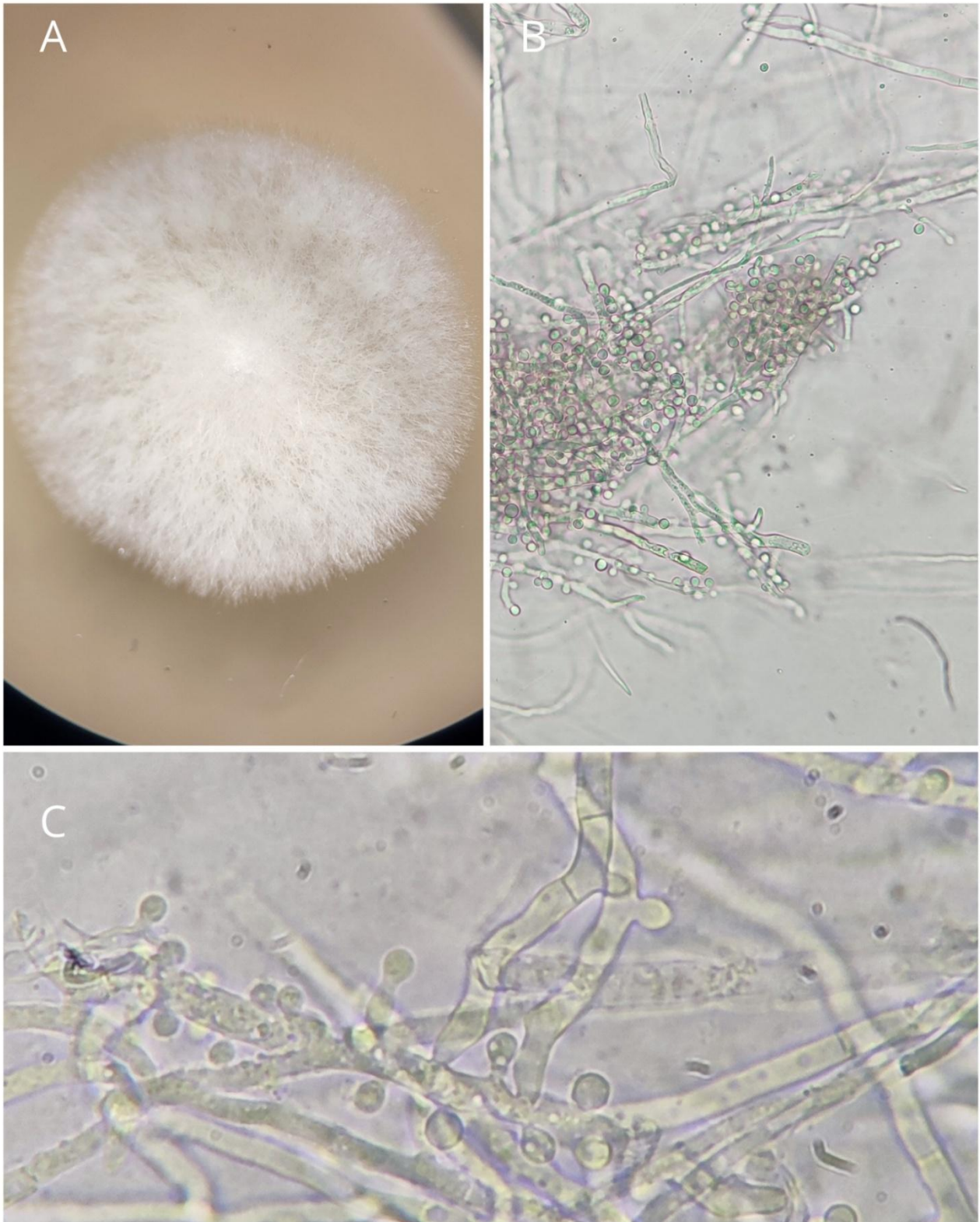
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos en estereoscopio;
C. Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Candida sp.



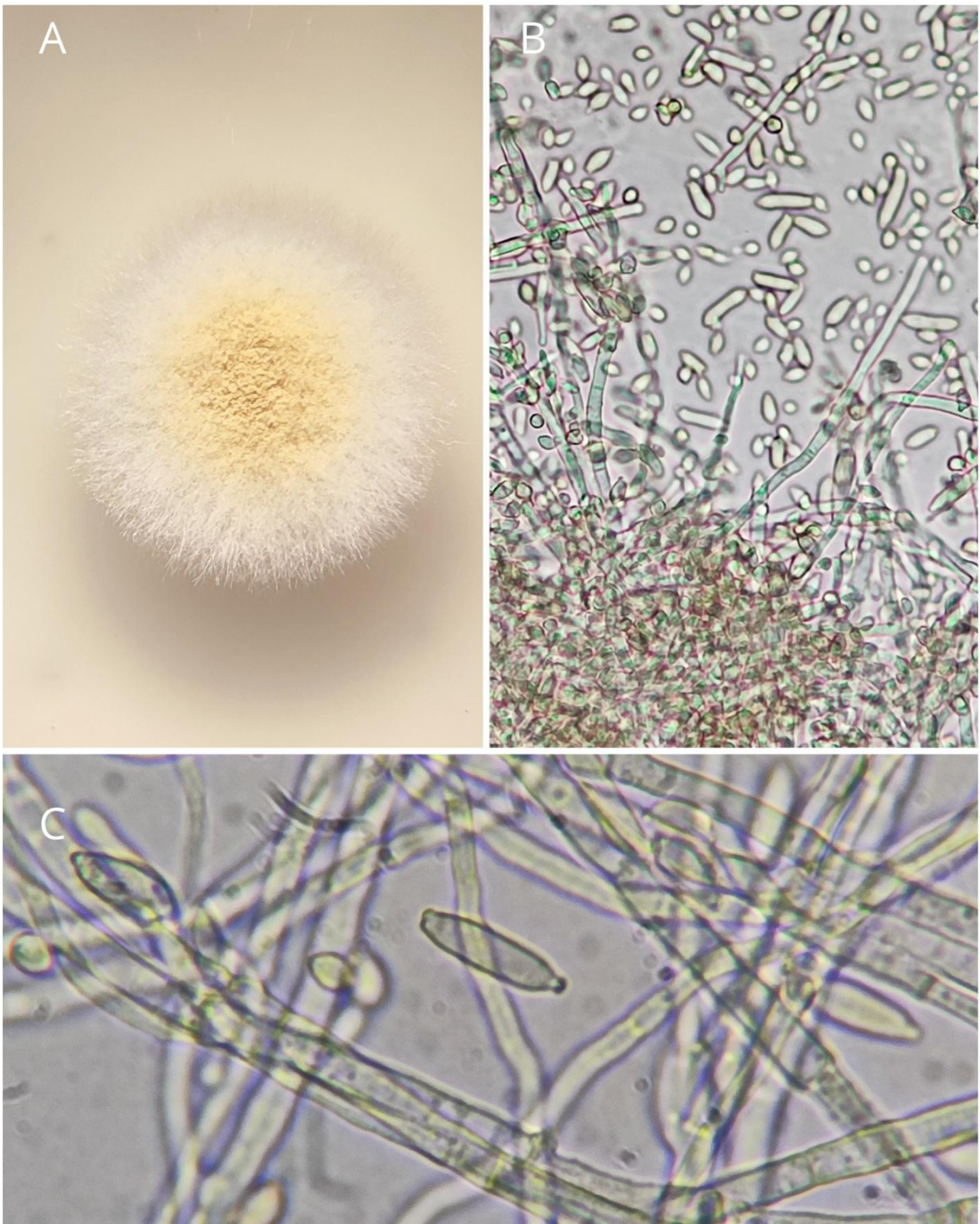
A. Colonia fúngica de *Candida* sp. 1 vista en estereoscopio; **B.** Hongo unicelular *Candida* sp. 1 visto a un aumento de 1000X; **C.** Colonia fúngica de *Candida* sp. 2 vista en estereoscopio; **D.** Hongo unicelular *Candida* sp. 2, Pigmentado con lactofenol, visto a un aumento de 1000X.

Chrysosporium sp.



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios formados en hifas vistos a un aumento de 400X; **C.** Conidios formados en hifas vistos a un aumento de 1000X.

Cladosporium fulvum



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios e hifas vistos a un aumento de 400X;
C. Conidio visto a un aumento de 1000X.

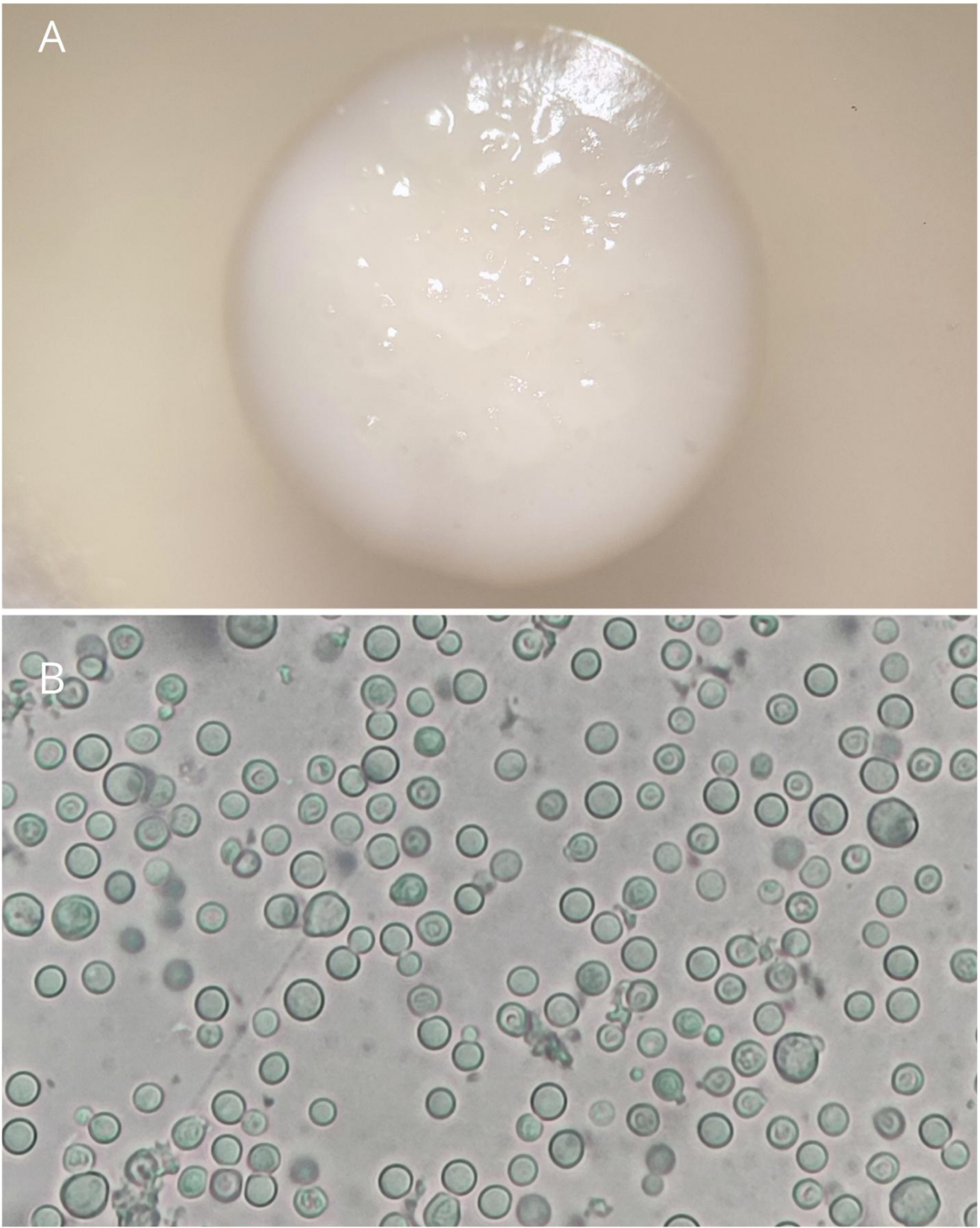
Cladosporium herbarum



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios e hifas vistos a un aumento de 400X;

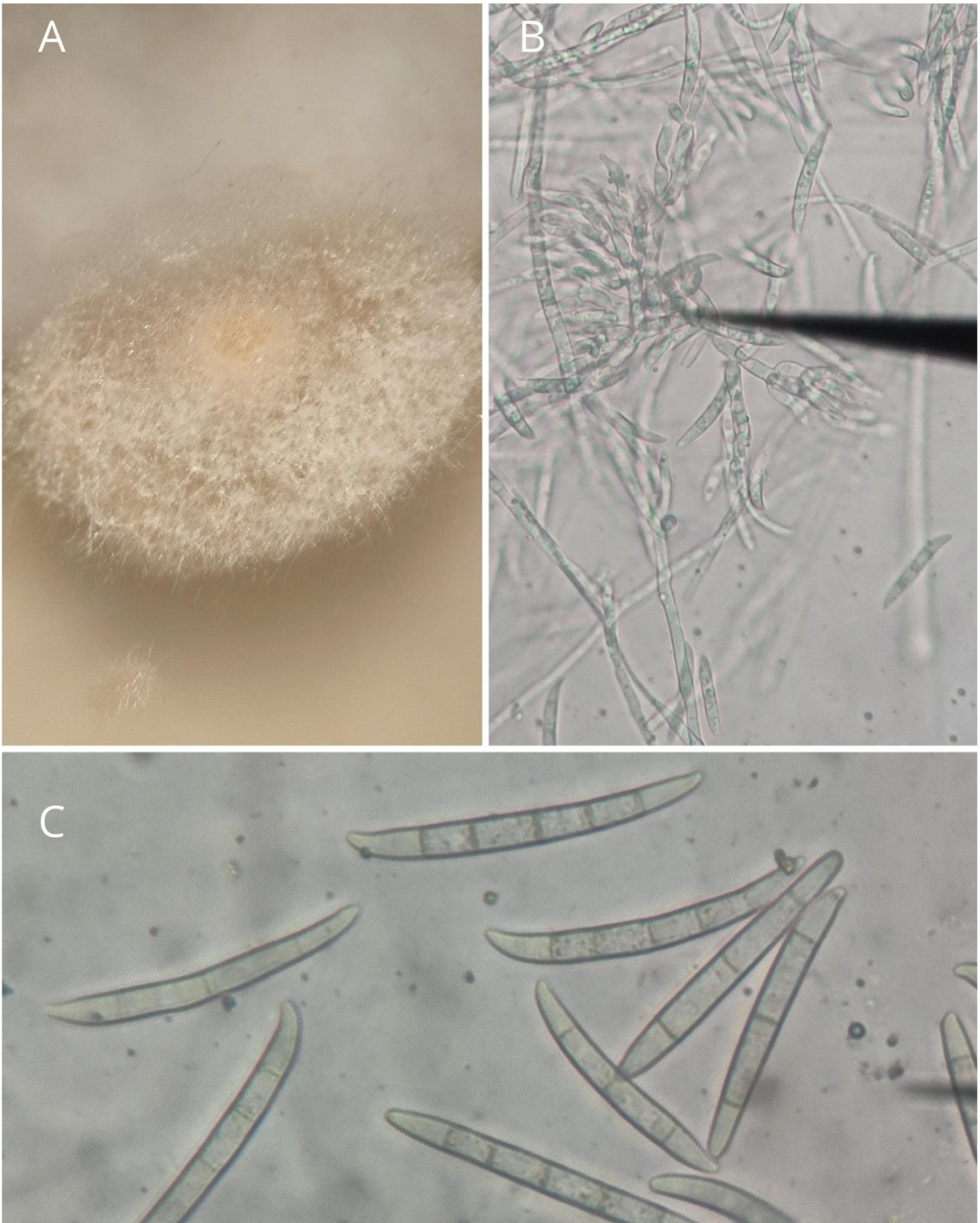
C. Conidio visto a un aumento de 1000X.

Cryptococcus sp.



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Hongo unicelular *Cryptococcus* sp. visto a un aumento de 1000X.

Fusarium sp.



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios e hifas vistos a un aumento de 400X;

C. Conidios vistos a un aumento de 1000X.

Geotrichum sp.



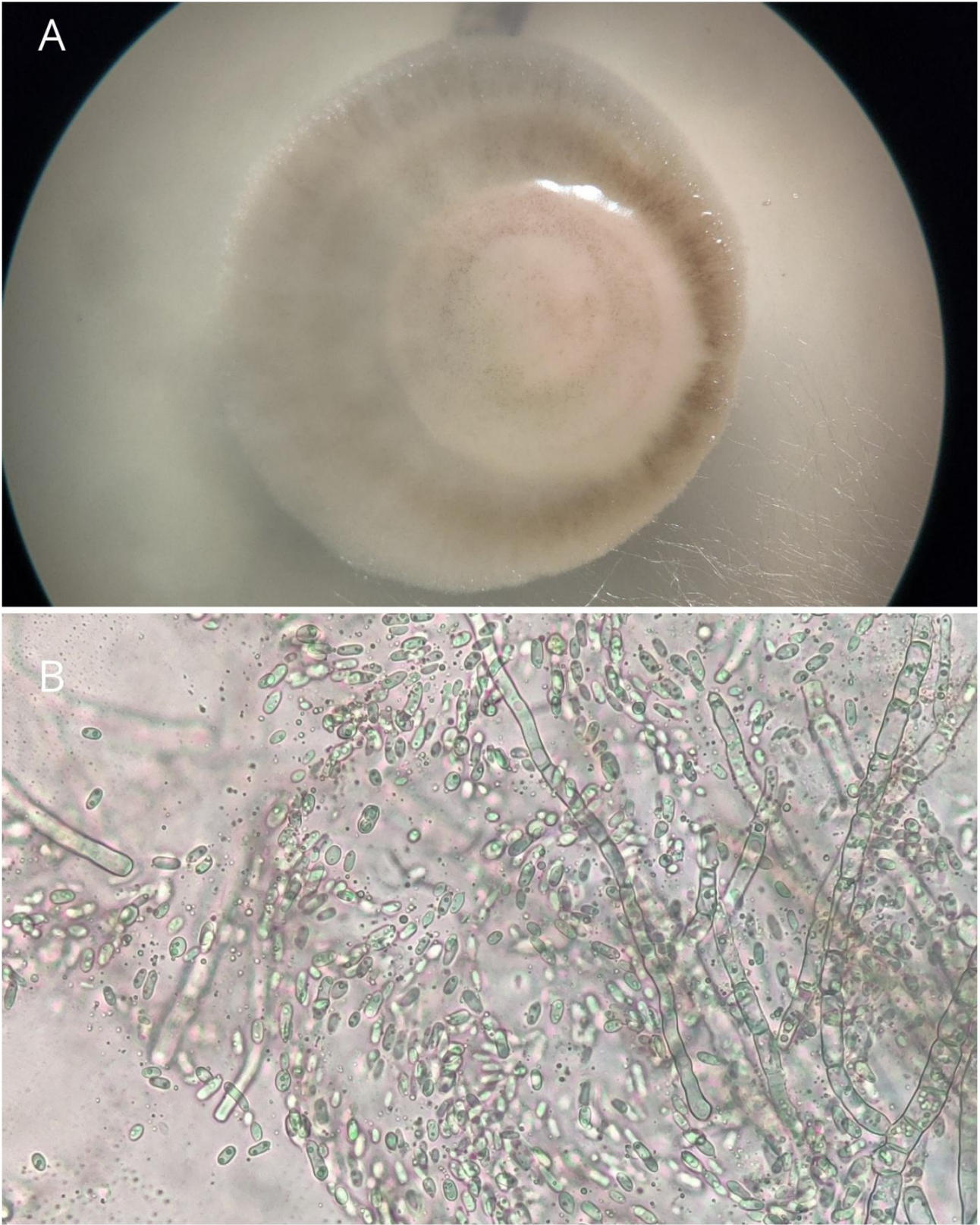
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Arthroconidias unicelulares en cadena a un aumento de 1000X; **C.** Conidios e hifas vistos a un aumento de 400X.

Gliocladium penicilloides



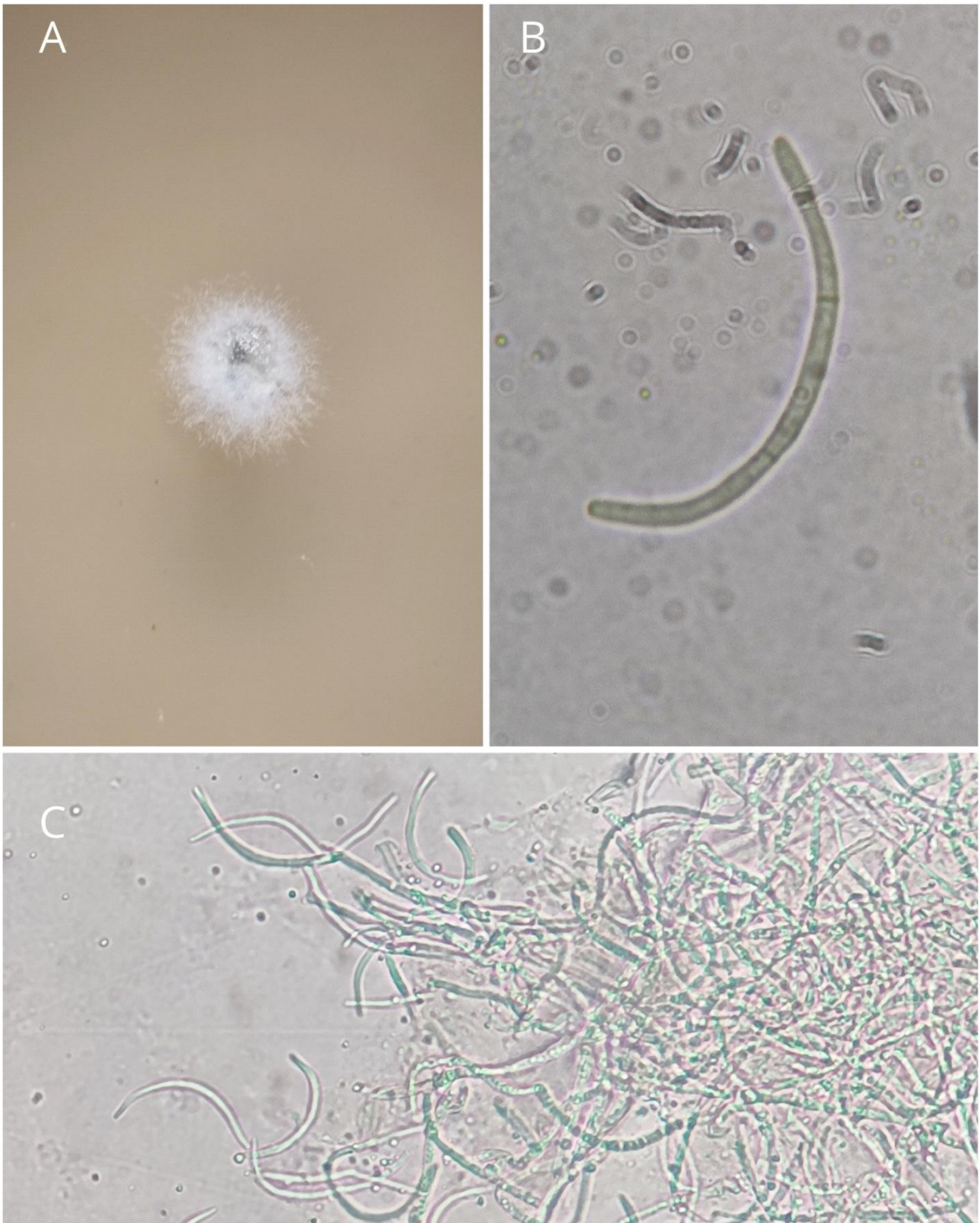
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X; **C.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 400X.

Humicola sp.



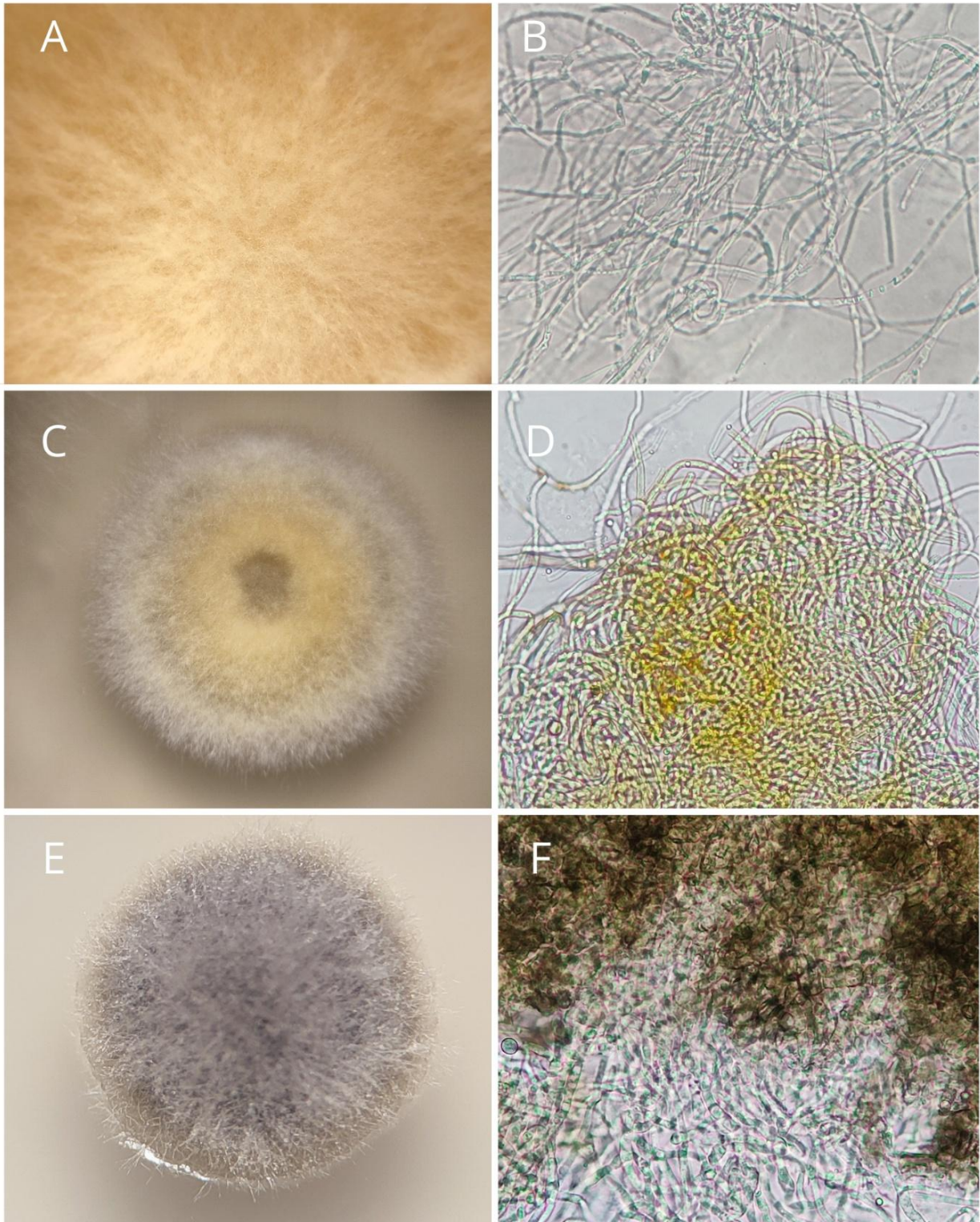
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios e hifas vistos a un aumento de 400X.

Lunulospora sp.



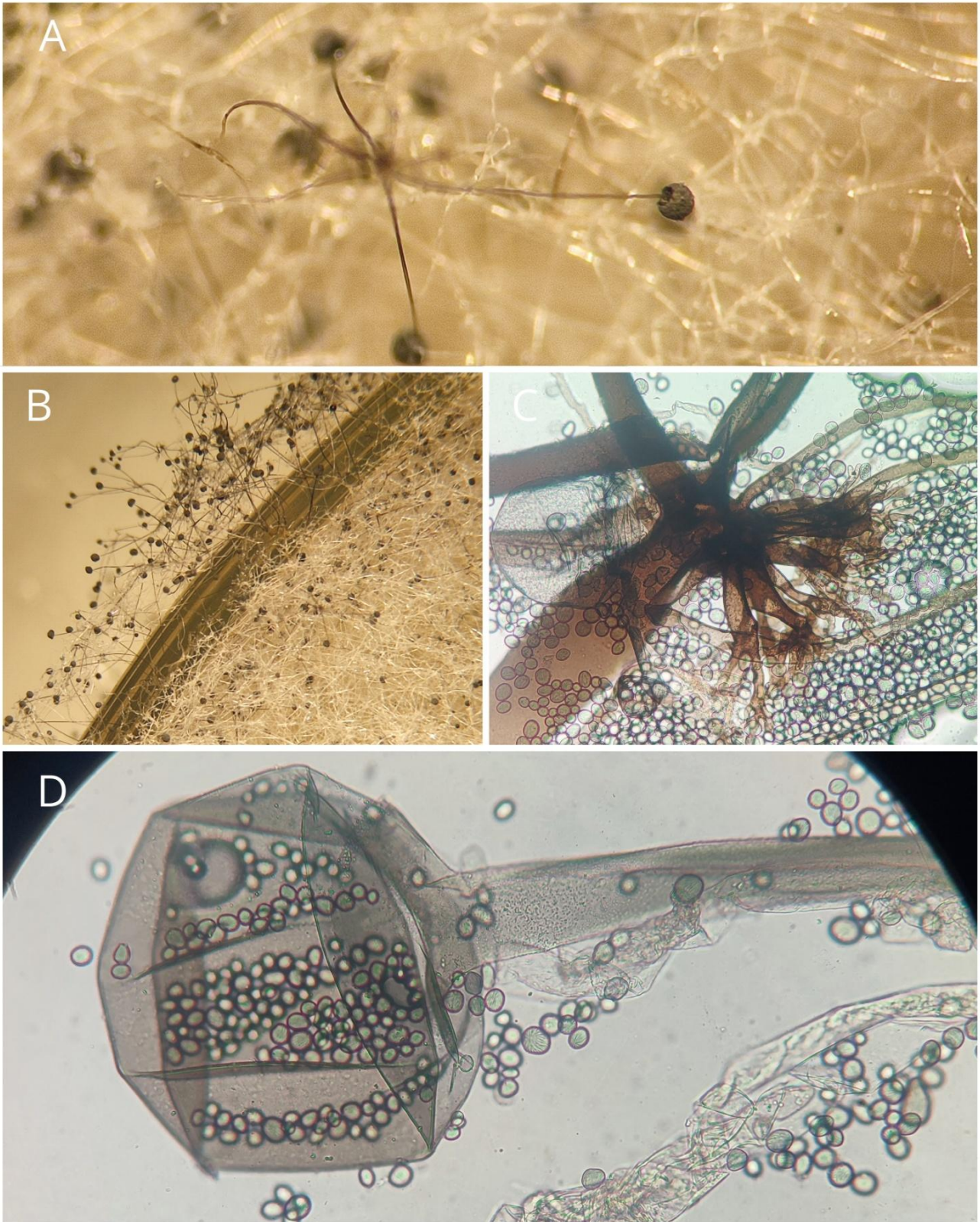
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidio curvado en forma de media luna visto a un aumento de 1000X; **C.** Conidios curvados en forma de media luna vistos a un aumento de 400X.

Micelio Estéril (Cristalino/Pigmentado)



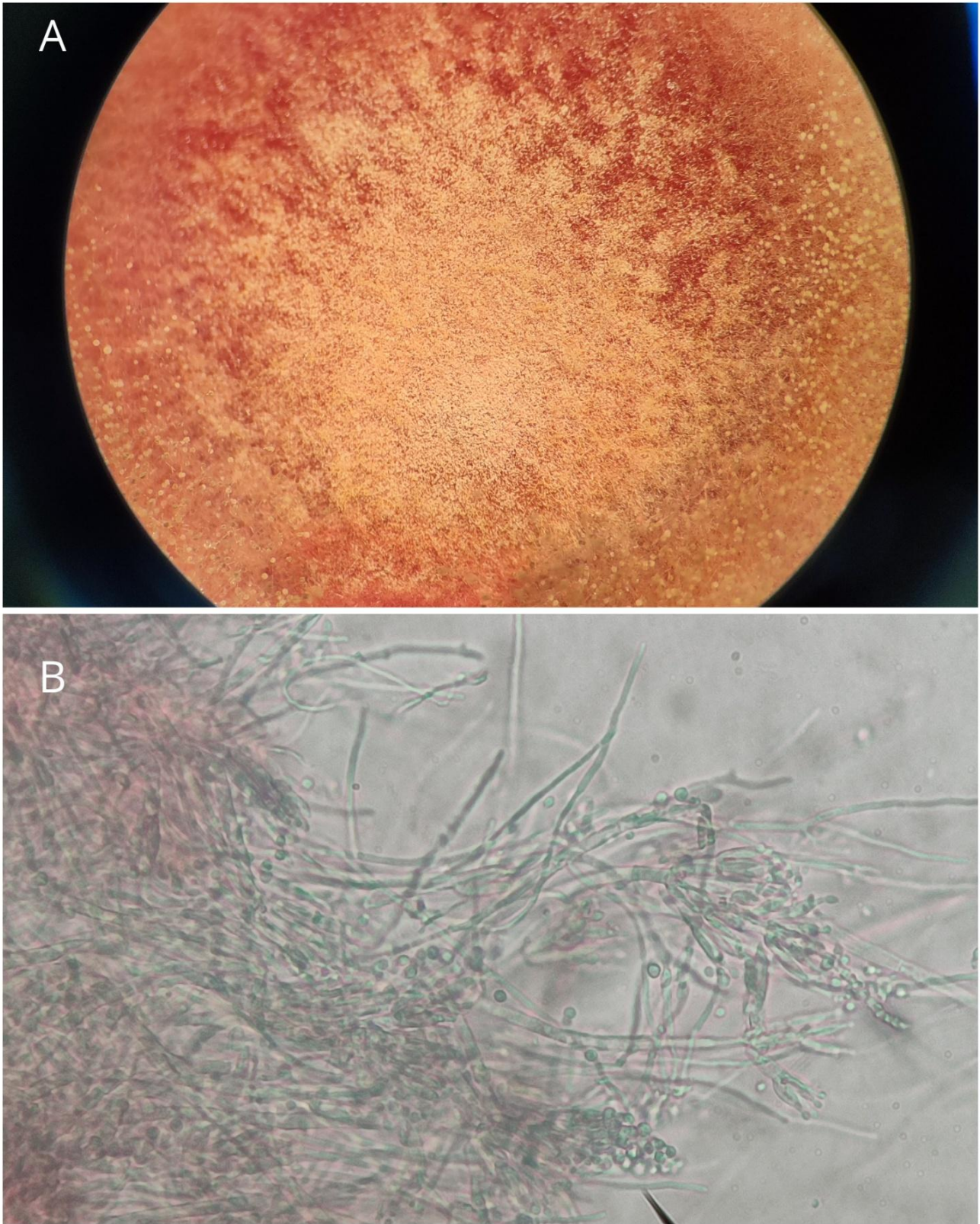
A. Colonia fúngica de Micelio Estéril Cristalino vista en estereoscopio; **B.** Hifas de Micelio Estéril Cristalino vistas a un aumento de 400X; **C.** Colonia fúngica de Micelio Estéril Pigmentado (amarillo) vista en estereoscopio; **D.** Hifas de Micelio Estéril Pigmentado (amarillo) vistas a un aumento de 400X; **E.** Colonia fúngica de Micelio Estéril Pigmentado (verde) vista en estereoscopio; **F.** Hifas de Micelio Estéril Pigmentado (verde) vistas a un aumento de 400X.

Mortierella sp.



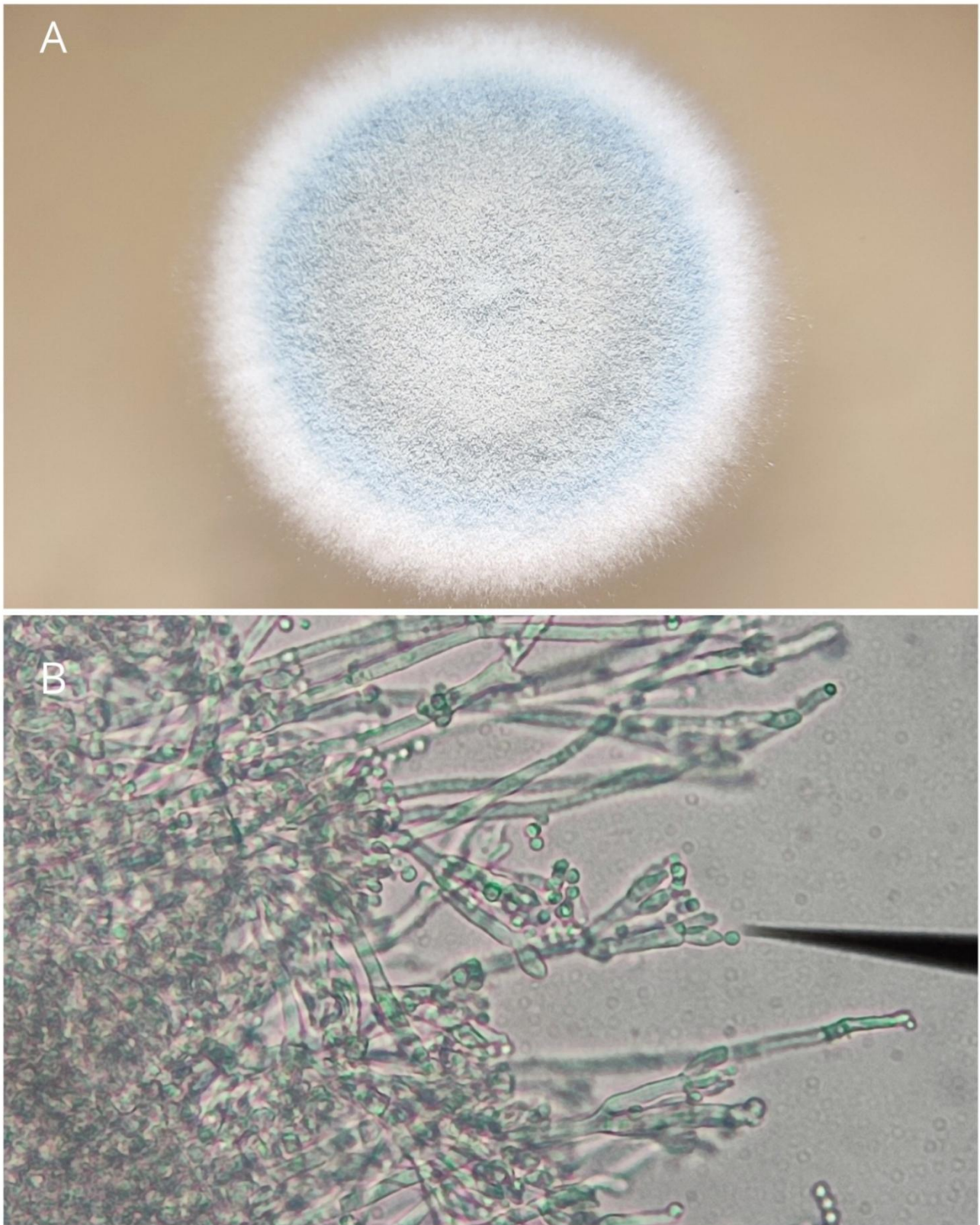
A. Esporangióforo con esporangio visto en estereoscopio; **B.** Colonia fúngica vista en estereoscopio; **C.** Rizoides vistos a un aumento de 400X; **D.** Esporangióforo con esporangio y esporangiosporas visto a un aumento de 400X.

Paecilomyces sp.



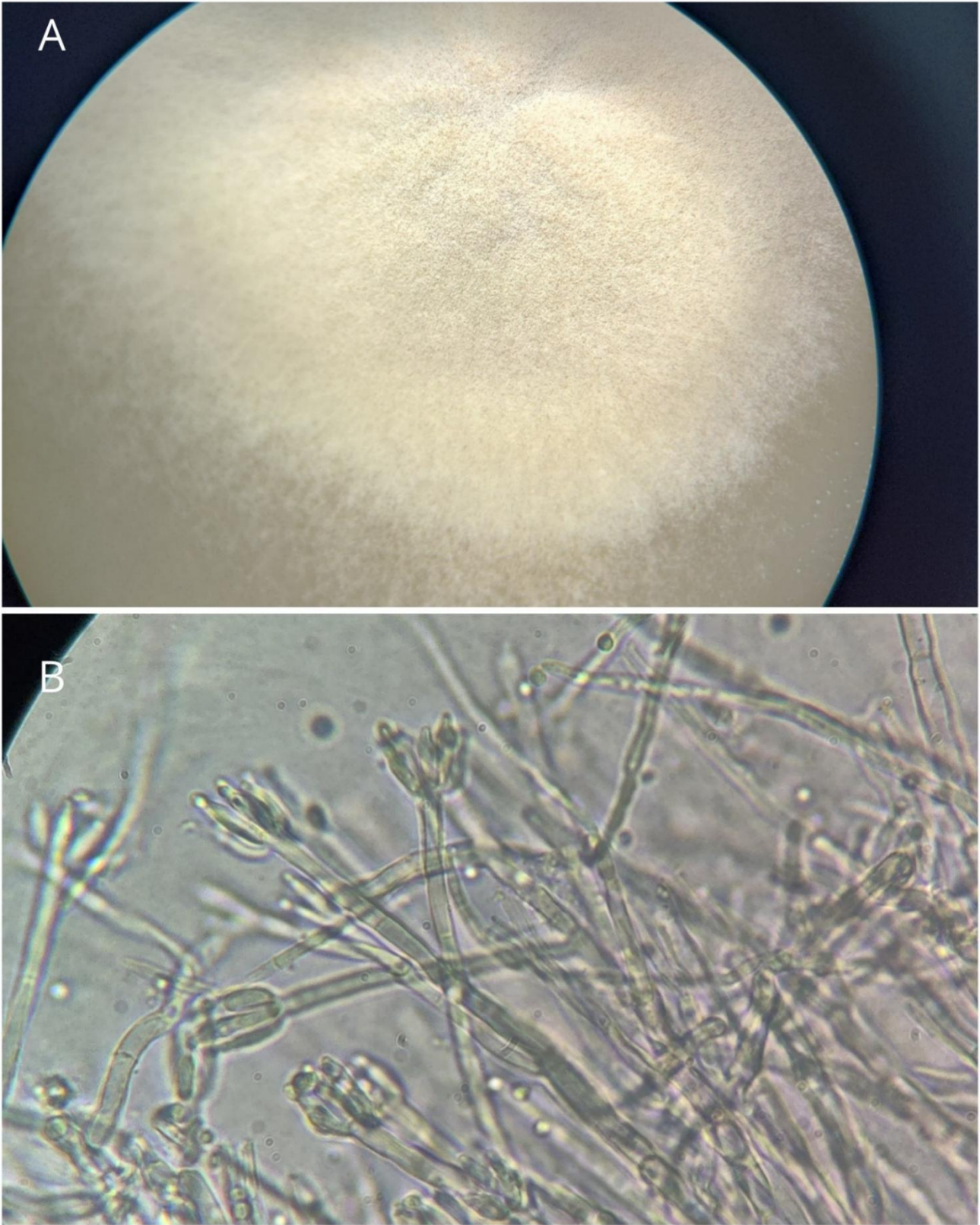
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 400X.

Penicillium sp.



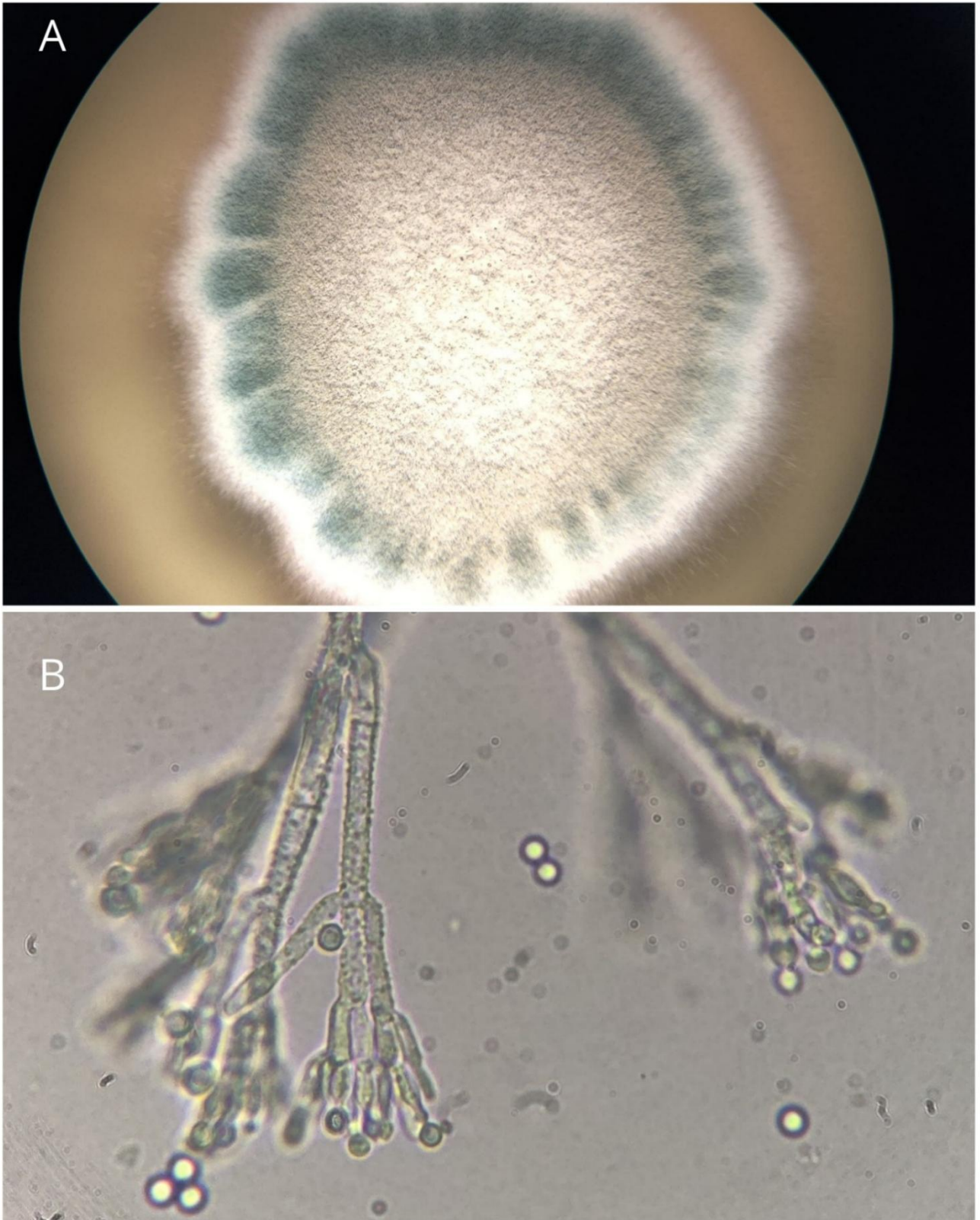
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 400X.

Penicillium citreoviride



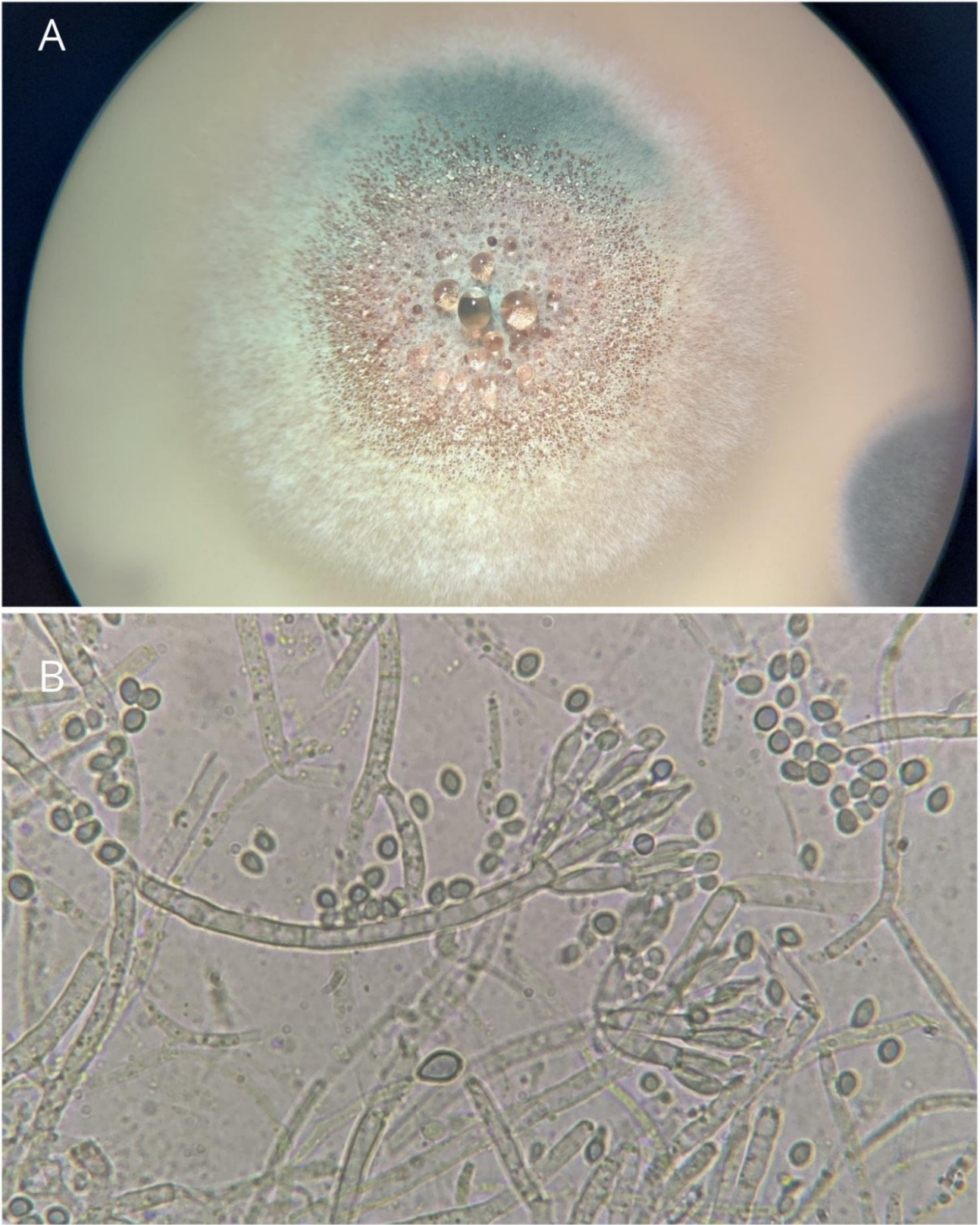
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Penicillium granulatum



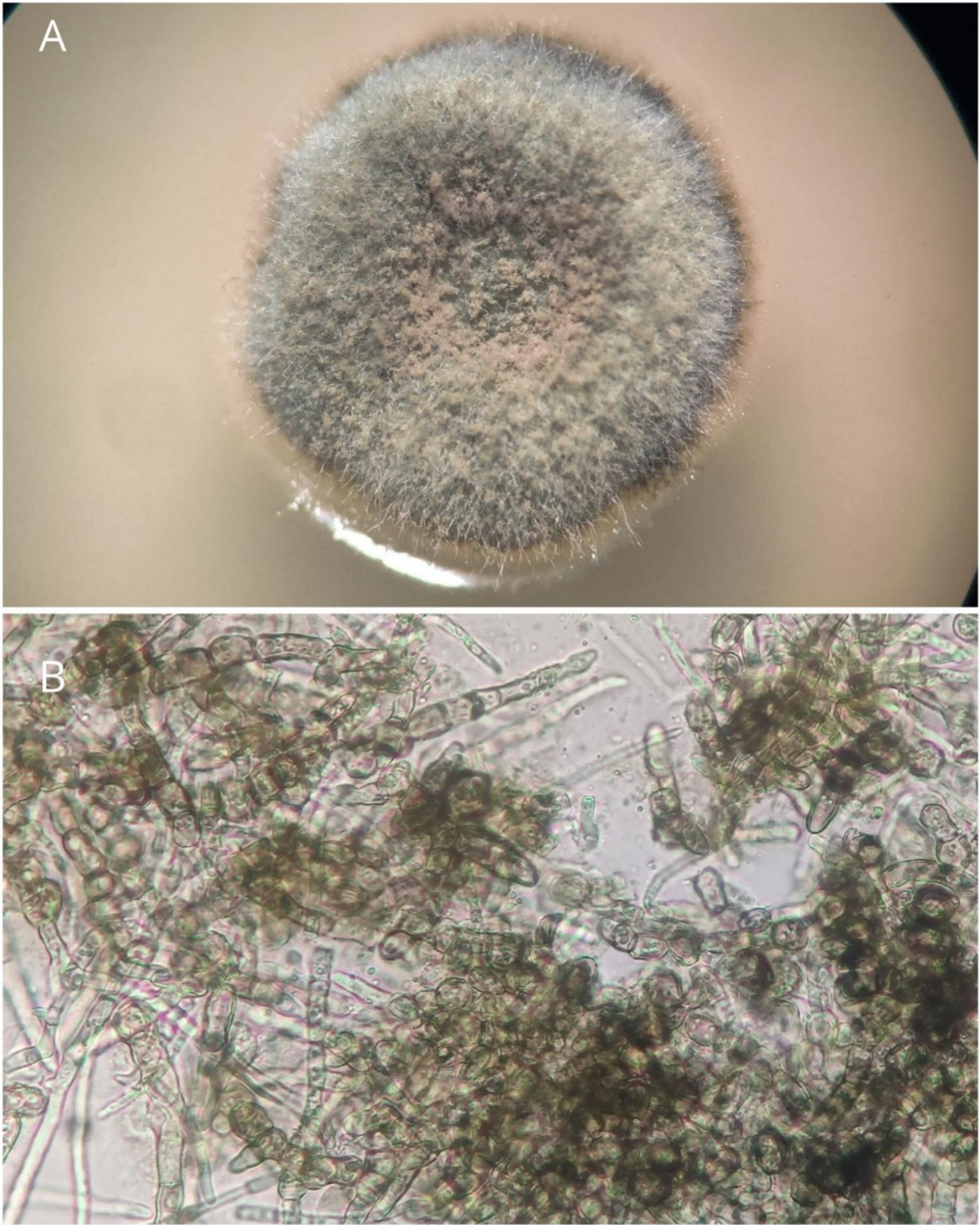
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Penicillium spinulosum



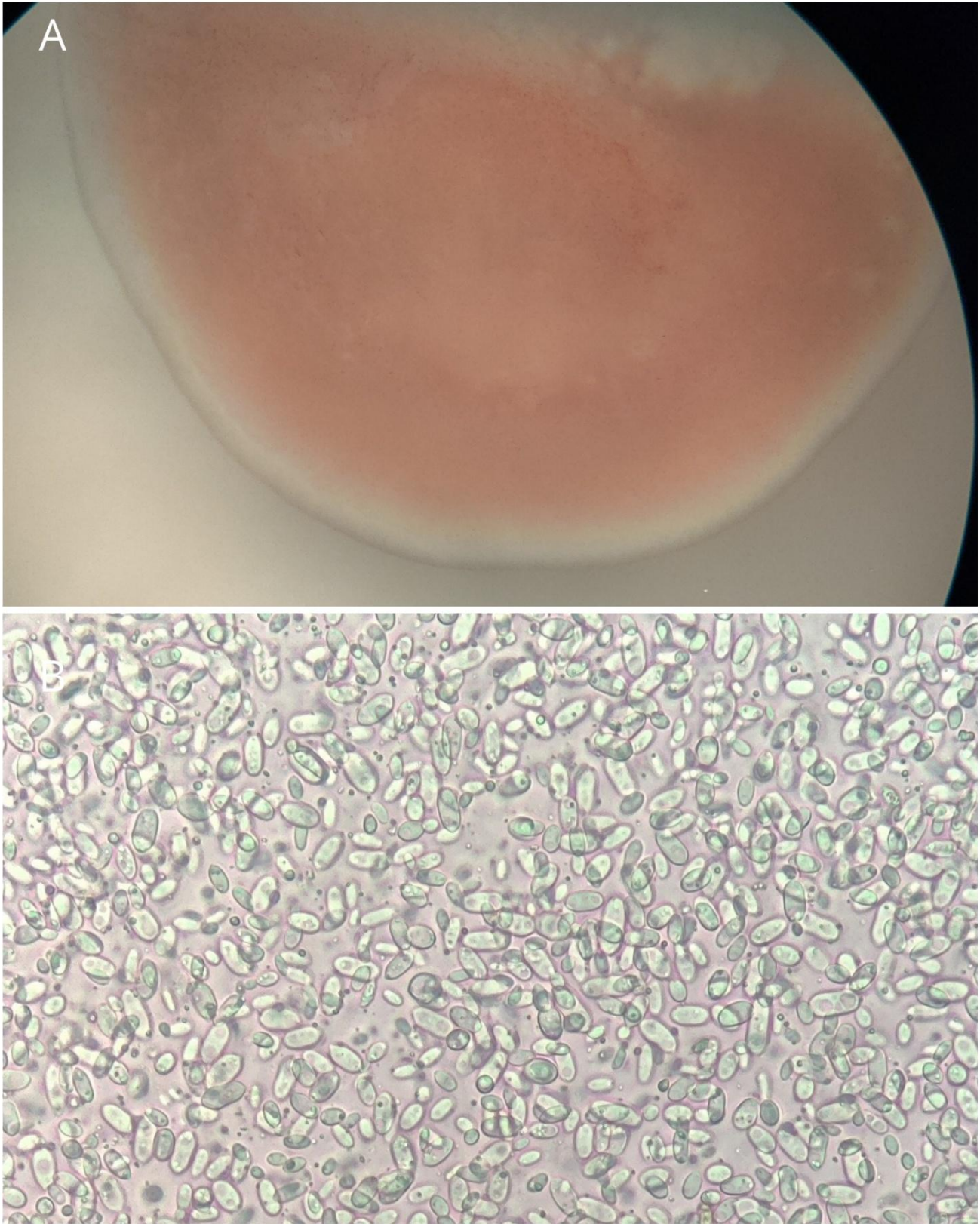
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Rhizoctonia sp.



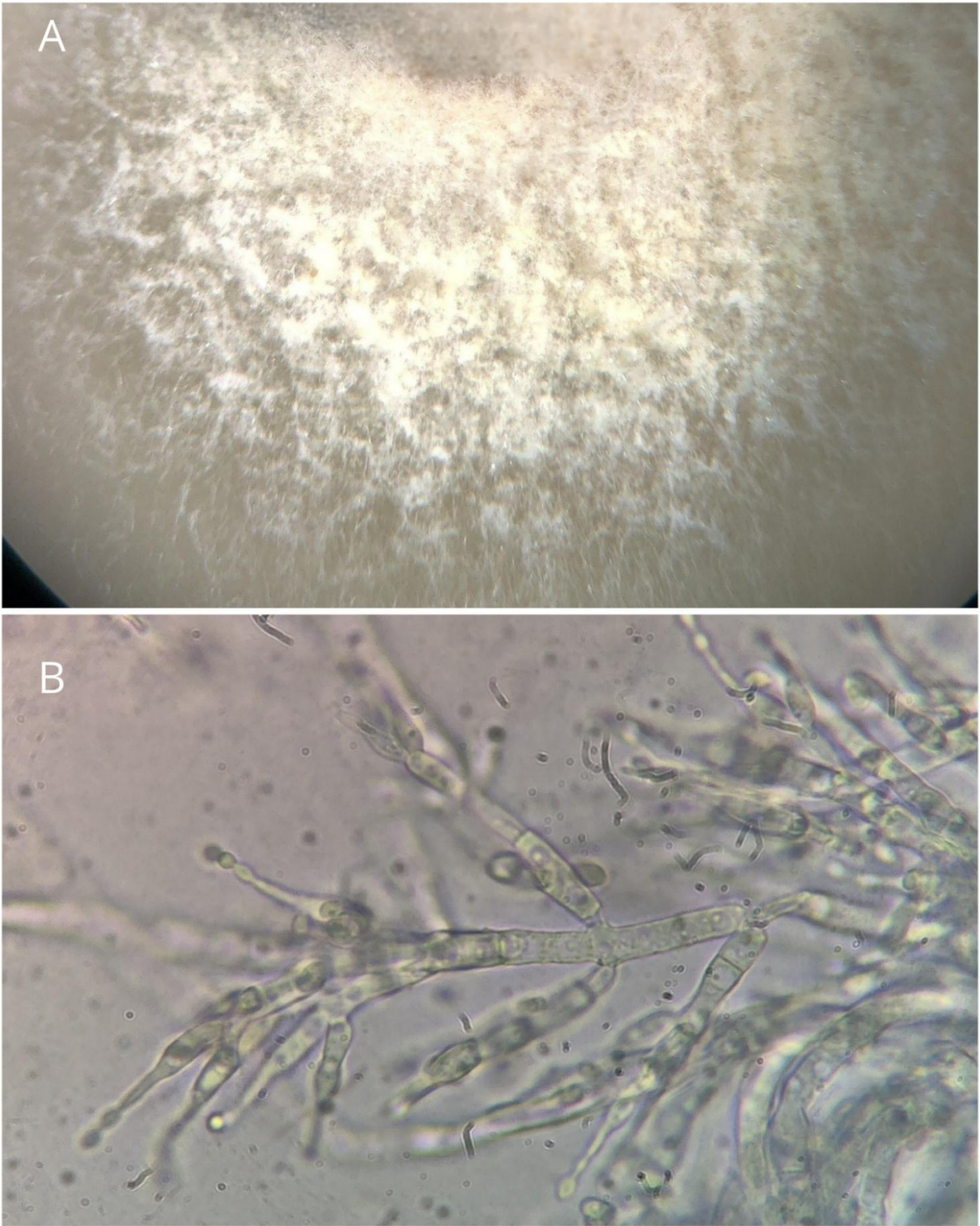
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Células en cadena de Micelio vistas a un aumento de 400X.

Rhodotorula sp.



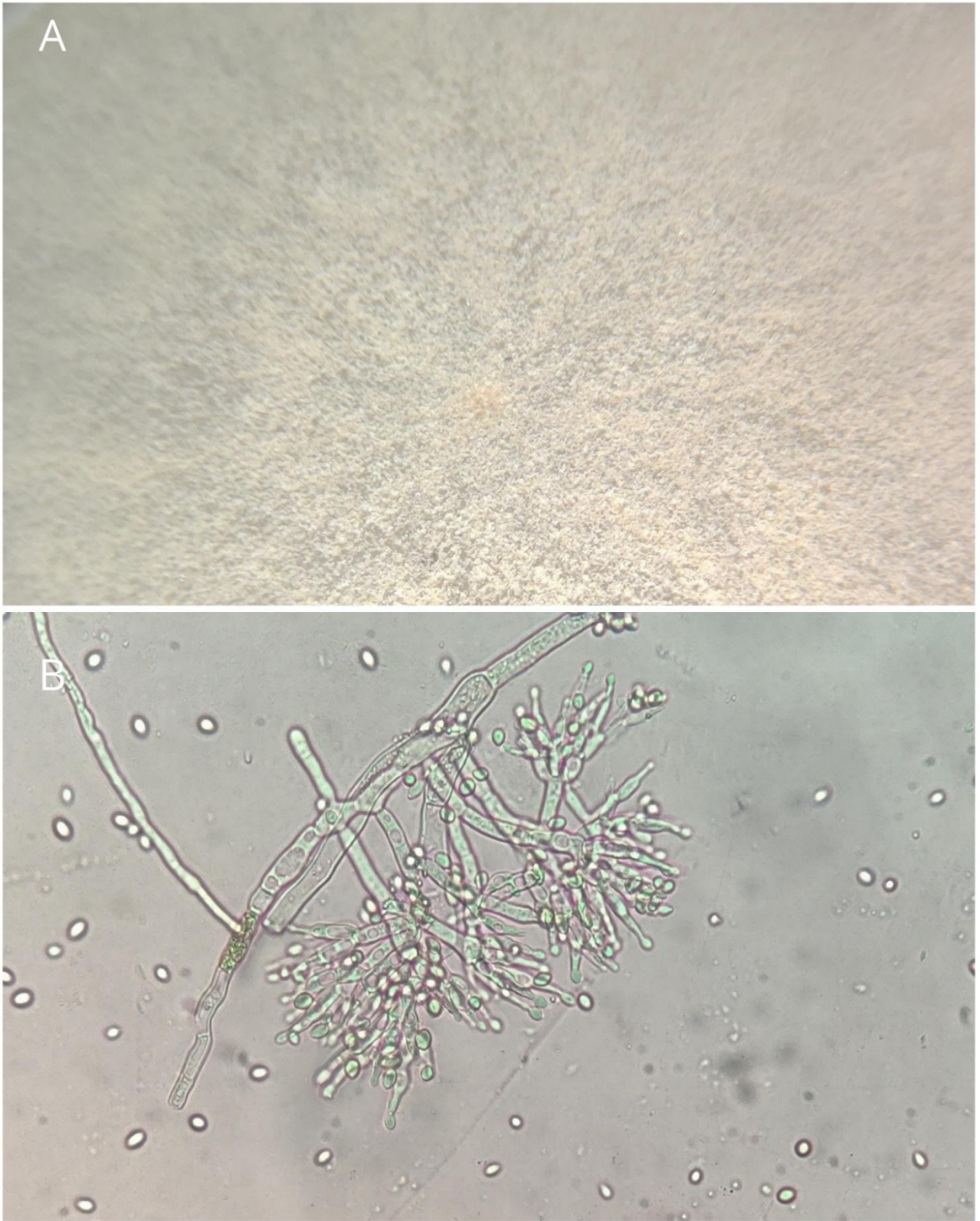
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Hongo unicelular *Rhodotorula* sp. visto a un aumento de 400X.

Scopulariopsis communis



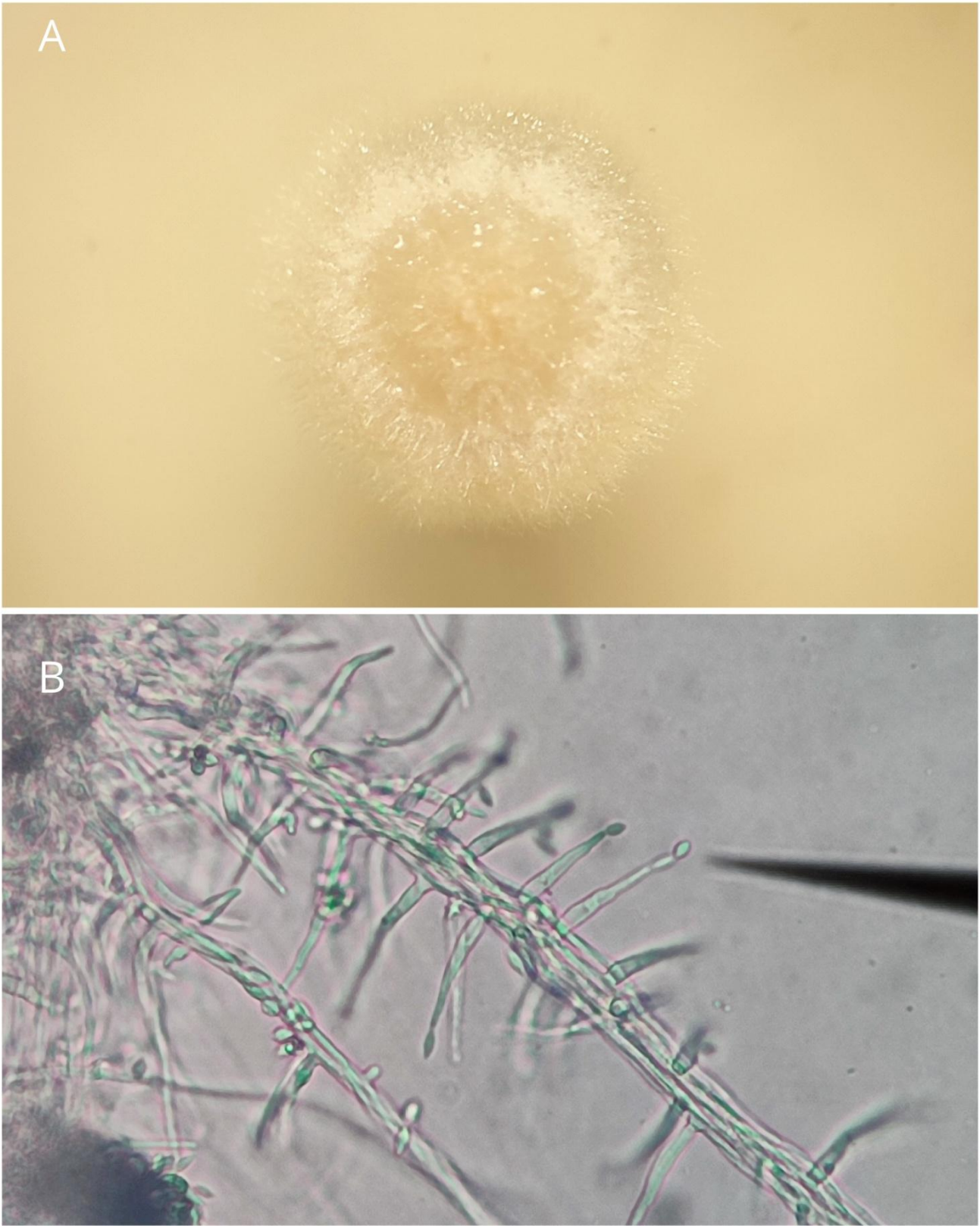
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Scopulariopsis constantini



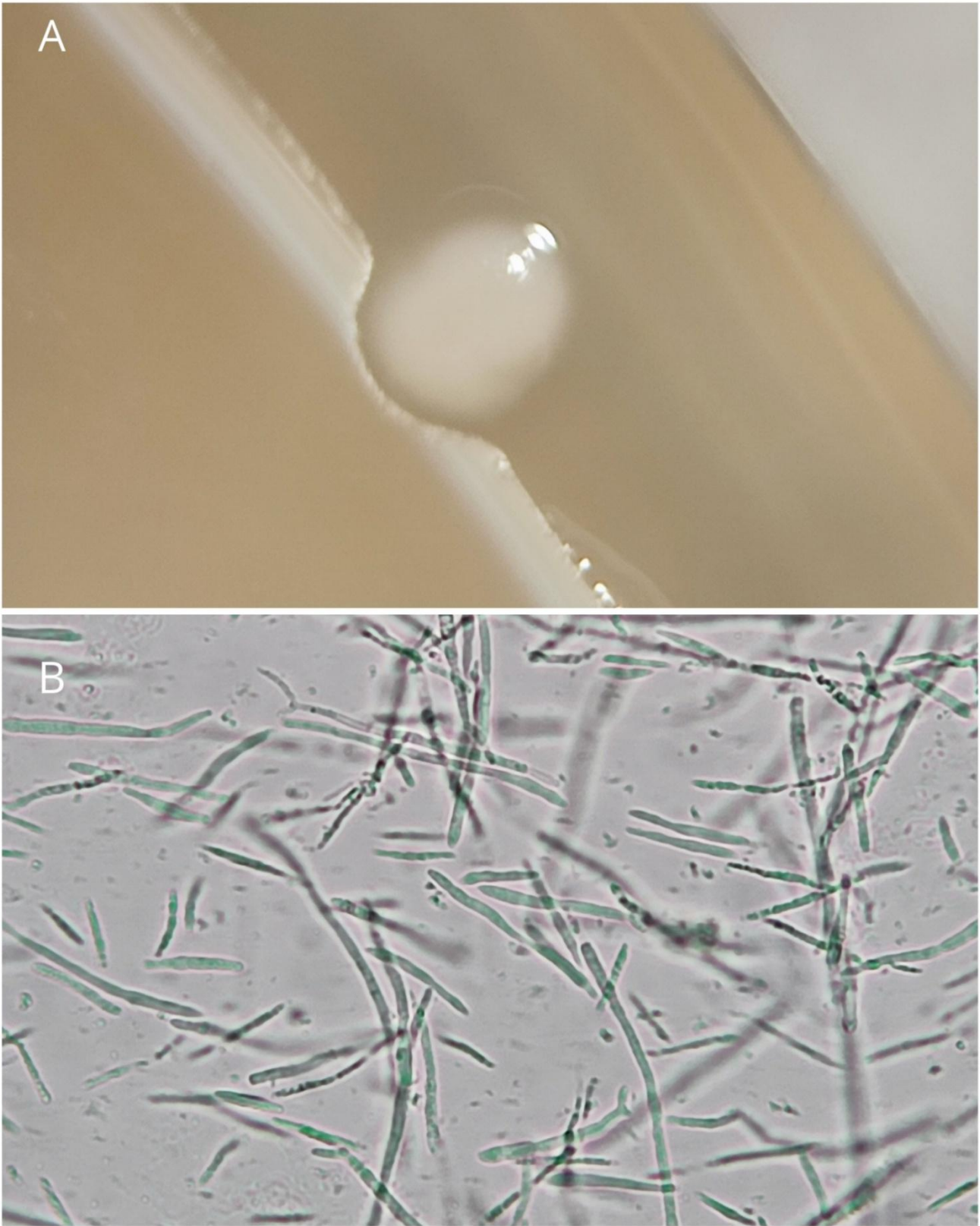
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Synnematium sp.



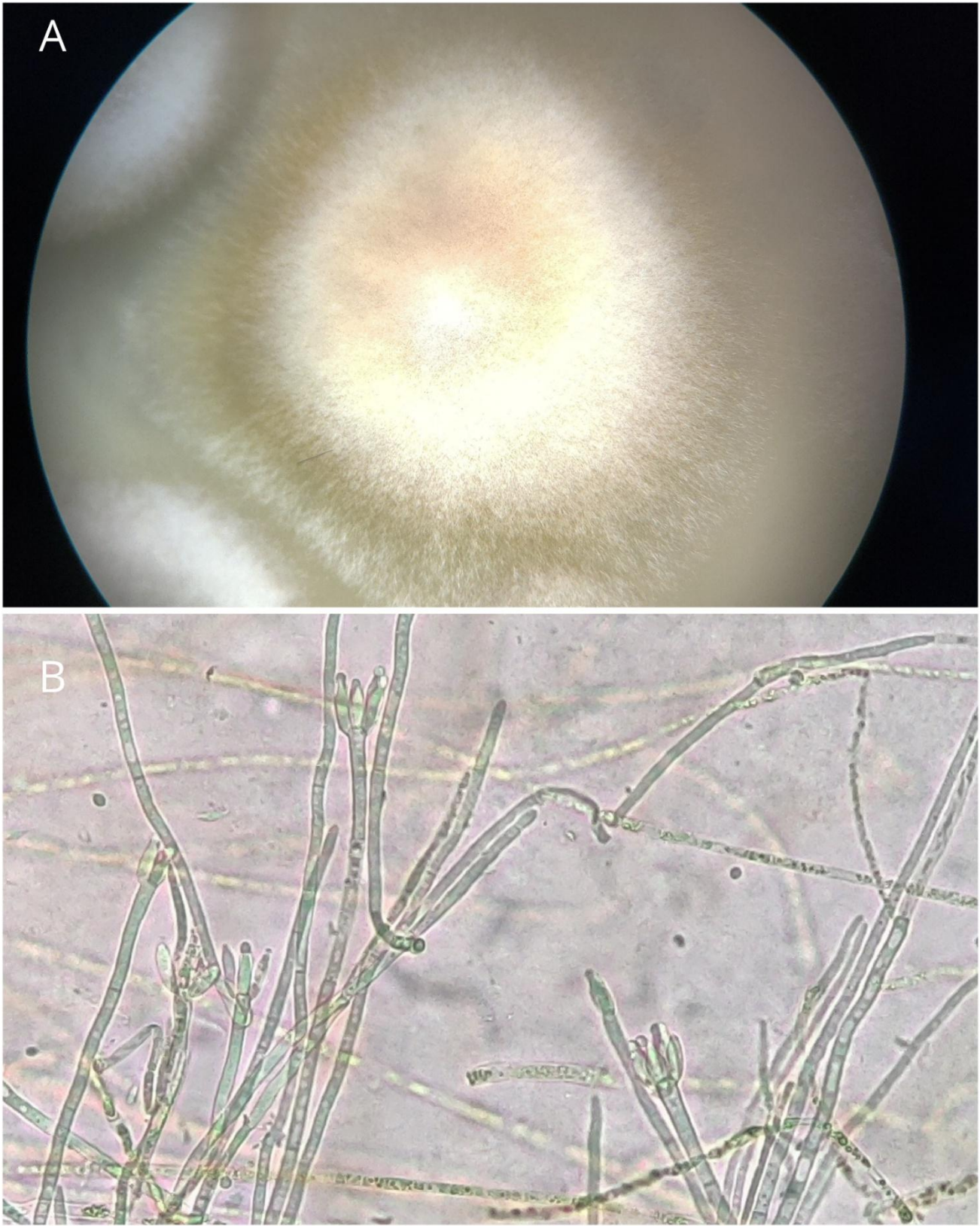
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos en forma de sinema vistos a un aumento de 1000X.

Tilletiopsis sp.



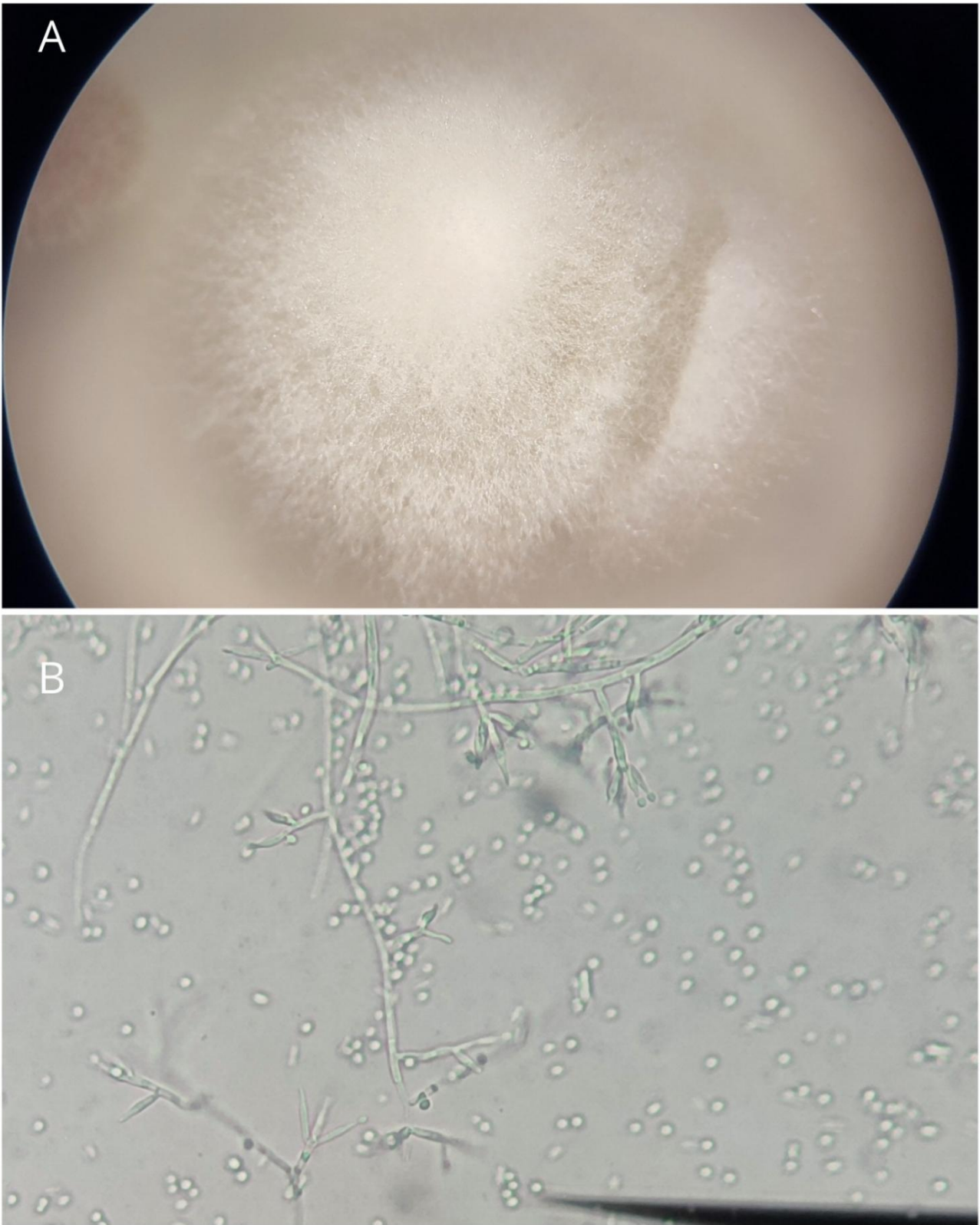
A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Hongo unicelular *Tilletiopsis* sp. visto a un aumento de 1000X.

Trichoderma sp.



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 1000X.

Verticillium sp.



A. Colonia fúngica vista en estereoscopio; **B.** Conidios en conidióforos vistos a un aumento de 400X.

Anexo 2. Protocolo de buenas prácticas de limpieza en colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES) y Universidad de El Salvador (UES).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



PROTOCOLO DE BUENAS PRÁCTICAS DE LIMPIEZA EN COLECCIONES BIOLÓGICAS

ELABORADO POR:

IRMA ELIZABETH MORALES VALENCIA
ESTEPHANY SOFIA ORTIZ TICAS

ASESORADO POR:

M.SC. RHINA ESMERALDA ESQUIVEL VÁSQUEZ



JULIO DE 2025

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO	2
4. COLECCIONES BIOLÓGICAS.....	5
5. PROTOCOLO DE LIMPIEZA GENERAL EN COLECCIONES BIOLÓGICAS	6
6. PROTOCOLO DE LIMPIEZA DE MICROHONGOS EN COLECCIONES BIOLÓGICAS.....	7
7. PROTOCOLO DE TRATAMIENTO DE AMBIENTES	13
8. PERSONAL RESPONSABLE	16
9. REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN	16
10. MEDIDAS DE SEGURIDAD	17
11. GLOSARIO	17
12. BIBLIOGRAFÍA	21

1. INTRODUCCIÓN

Las colecciones biológicas son fundamentales para la investigación, educación y conservación de la biodiversidad. Su preservación requiere protocolos específicos que garanticen su integridad a largo plazo. Este documento establece las buenas prácticas para la limpieza y tratamiento de los ambientes que albergan estas colecciones, con el fin de prevenir el deterioro de los especímenes en las colecciones y los daños causados en la salud humana que laboran.

El protocolo que hemos desarrollado se apoya en estándares internacionales reconocidos, como los que propone el International Council of Museums (ICOM) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Estas organizaciones son referentes mundiales en la conservación de colecciones, ya sea de tipo cultural o natural. En el caso de las colecciones biológicas, el ICOM, por ejemplo, ha publicado una serie de directrices que destacan la importancia de la conservación preventiva.

Por otro lado, la UNESCO, a través de su Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, también juega un papel clave. Este acuerdo internacional promueve la protección del patrimonio natural, lo que incluye, por supuesto, las colecciones biológicas. La UNESCO insta a los países a tomar medidas concretas para preservar su biodiversidad y su patrimonio natural, lo que se traduce en la creación de protocolos y normas específicas para museos e instituciones que albergan este tipo de colecciones (UNESCO, 2006).

Ahora bien, en el caso de El Salvador se presenta la Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural, impulsada por el Ministerio de Cultura, esta ley, establecida mediante el Decreto Legislativo N.º 513 del 22 de abril de 1993, tiene como objetivo regular el rescate, investigación, conservación, protección, promoción, fomento, desarrollo, difusión y valoración del patrimonio cultural del país (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1993).

Así mismo, el Ministerio de Cultura de El Salvador ha desarrollado normativas complementarias, como la "Norma de Seguimiento a Declaratorias de Bienes Culturales de Origen Natural", que establece procedimientos para el registro y seguimiento de bienes culturales declarados, incluyendo colecciones biológicas. Esta norma es aplicada por el personal técnico del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), encargado de las colecciones nacionales (Ministerio de Cultura de El Salvador, 2020).

En resumen, el protocolo que se elaboró no parte de cero. Por el contrario, se nutre de una base sólida de estándares internacionales y normativas nacionales. Esto no solo garantiza que las prácticas de conservación sean efectivas, sino que también asegura que estén adaptadas al contexto local. Al final, el objetivo es claro: proteger estas colecciones biológicas, que no solo tienen un valor científico, sino también cultural y educativo, para que puedan ser disfrutadas y estudiadas por las generaciones futuras.

2. OBJETIVOS

- ❖ Establecer bases conceptuales para normas de cuidado, manejo y conservación de colecciones biológicas.
- ❖ Brindar información especializada sobre conservación preventiva y manejo de colecciones biológicas.
- ❖ Promover la protección de las colecciones mediante el control ambiental en espacios de almacenamiento.

3. MARCO TEÓRICO Y NORMATIVO

3.1. ¿Qué es la Conservación?

Según Ibermuseos (2020), la conservación en los museos comprende un conjunto de estrategias y acciones destinadas a proteger, estabilizar y prolongar la vida de las colecciones, asegurando su disponibilidad para las generaciones futuras. Su objetivo principal es prevenir el deterioro de los objetos, minimizar los riesgos asociados y, cuando sea necesario, intervenir para restaurar su integridad.

Uno de los enfoques esenciales es la conservación preventiva, que implica el control de factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, la iluminación y la calidad del aire, así como la adecuada manipulación y almacenamiento de los objetos. Mantener condiciones estables resulta fundamental, especialmente en el caso de las colecciones biológicas, donde la degradación de los materiales puede acelerarse debido a fluctuaciones ambientales o a la acción de agentes biológicos como los microhongos y los insectos.

Además, Ibermuseos (2020) resalta la importancia de la conservación curativa y la restauración. La conservación curativa comprende intervenciones específicas para detener procesos de deterioro, mientras que la restauración busca recuperar tanto el valor estético como la estructura original de los objetos, siempre respetando su autenticidad y sus materiales históricos.

3.2. Directrices para la conservación de colecciones en museos según:

Las directrices establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Consejo Internacional de Museos (ICOM) proporcionan un marco fundamental para la conservación y el manejo de las colecciones en los museos (UNESCO, 2015; ICOM, 2020). Ambos organismos subrayan la relevancia de la conservación preventiva, enfocándose en la reducción de riesgos de deterioro sin necesidad de intervenciones invasivas sobre los objetos.

Uno de los pilares centrales de estas directrices es el control ambiental, ya que factores como la temperatura, la humedad relativa, la luz y la contaminación del aire influyen directamente en la estabilidad de los materiales. Se recomienda mantener condiciones ambientales constantes y adaptadas a las necesidades específicas de cada colección, evitando fluctuaciones que puedan provocar daños irreversibles. En el caso particular de las colecciones biológicas, este control se vuelve aún más crítico, dado que cambios bruscos en el ambiente pueden causar resequedad en tejidos, proliferación de microorganismos o incluso la evaporación de líquidos conservantes.

El almacenamiento y la manipulación adecuada de los objetos también son componentes cruciales. Se promueve el uso de materiales de embalaje libres de ácido, soportes adecuados y métodos de protección contra impactos o vibraciones. Para los especímenes conservados en líquidos, se enfatiza la necesidad de realizar inspecciones periódicas de los frascos y de las soluciones de preservación, asegurando su integridad y evitando la contaminación.

Asimismo, tanto la UNESCO como el ICOM hacen hincapié en la necesidad de contar con planes de gestión de riesgos y protocolos de emergencia. Los museos deben estar preparados para actuar frente a desastres como incendios, inundaciones o terremotos, mediante la capacitación del personal y la dotación de equipos de seguridad adecuados.

Finalmente, las organizaciones resaltan la importancia de la formación continua del personal técnico. La conservación efectiva no depende únicamente de las condiciones físicas de los museos, sino también del conocimiento y la experiencia de quienes gestionan las colecciones. Se fomenta, por tanto, un enfoque interdisciplinario donde conservadores, científicos y gestores trabajen de manera coordinada para diseñar estrategias de preservación a largo plazo.

En definitiva, la conservación de las colecciones en museos debe entenderse como una labor integral, que no se limita a reparar daños visibles, sino que busca garantizar la estabilidad y el acceso a los bienes culturales y científicos a lo largo del tiempo. Para los museos que albergan colecciones

biológicas, ello implica la adopción de medidas especializadas que aseguren la preservación de los especímenes para su uso en investigación, educación y divulgación científica.

3.3. Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural de El Salvador

En el contexto nacional, la Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural de El Salvador (Asamblea Legislativa de la República de El Salvador, 1993) establece un marco legal sólido para la conservación, investigación y difusión de los bienes culturales, asegurando su protección para las futuras generaciones. Esta ley reconoce como parte del patrimonio cultural no solo a los monumentos históricos y obras de arte, sino también a las colecciones científicas que incluyen ejemplares de zoología, botánica, mineralogía y anatomía.

Un aspecto relevante es que estos bienes culturales pueden ser de propiedad pública o privada, pero en todos los casos el Estado tiene la responsabilidad de su protección. Para ello, la ley exige su identificación, registro y conservación adecuada. Además, los municipios están obligados a seguir normas específicas para la protección del patrimonio cultural en sus respectivas jurisdicciones.

La conservación también abarca la prevención del deterioro de los bienes, permitiendo que el Ministerio de Cultura, o la entidad correspondiente, pueda intervenir cuando se considere que algún bien cultural está en peligro. En cuanto a la circulación de estos bienes, la ley establece que su exportación está prohibida salvo que se cuente con una autorización especial emitida por la Asamblea Legislativa, y cuando se apruebe su salida temporal, deben cumplirse estrictos requisitos para garantizar su preservación y retorno.

El incumplimiento de estas disposiciones puede acarrear sanciones económicas severas, que van desde multas considerables hasta la posibilidad de expropiación de los bienes culturales si no se cumplen las medidas de conservación obligatorias. Asimismo, la ley prohíbe expresamente acciones que puedan modificar, dañar o alterar los bienes culturales sin autorización previa.

En paralelo, se promueven incentivos para quienes inviertan en la restauración o el mantenimiento de bienes culturales, a través de beneficios fiscales que buscan incentivar la protección del patrimonio nacional. En conjunto, esta legislación refuerza la importancia de salvaguardar el legado histórico, científico y artístico de El Salvador, garantizando su transmisión a las generaciones venideras.

4. COLECCIONES BIOLÓGICAS

Según Borja Sanchiz (1994), las colecciones científicas de historia natural están formadas por conjuntos de especímenes organizados de manera sistemática, cuyo fin principal es servir como material de referencia para la investigación científica, la docencia y la conservación del conocimiento sobre la biodiversidad. Estas colecciones son esenciales para el estudio de la taxonomía, la evolución, la ecología y la distribución de las especies, además de apoyar actividades prácticas en áreas como la biología, la medicina y la conservación ambiental.

De acuerdo con la forma en que se preservan los especímenes y el uso que se les da, las colecciones biológicas se clasifican en diferentes tipos:

- ❖ **Colecciones en seco:** Agrupan especímenes preservados sin el uso de líquidos conservantes. Entre ellas destacan los herbarios, que contienen plantas secas y prensadas, así como las colecciones zoológicas de huesos, pieles, plumas, caparzones y otros restos animales. También se incluyen las colecciones entomológicas, donde los insectos se montan en alfileres o se conservan en sobres especiales, almacenados en condiciones ambientales controladas.
- ❖ **Colecciones en líquido:** Compuestas por organismos o partes de ellos almacenados en soluciones conservantes como etanol, formalina o glicerina. Este método es habitual para preservar peces, anfibios, reptiles e invertebrados acuáticos, permitiendo mantener su estructura anatómica y detalles morfológicos durante largos periodos.
- ❖ **Colecciones de tejidos y ADN:** Especializadas en conservar muestras para estudios genéticos y moleculares. Los tejidos se almacenan congelados, generalmente a temperaturas muy bajas o en nitrógeno líquido, asegurando su viabilidad para análisis posteriores de ADN y otros estudios biomoleculares.
- ❖ **Colecciones paleobiológicas:** Incluyen fósiles de organismos extintos ya sea de origen animal o vegetal, fundamentales para el estudio de la evolución y la historia de la vida en la Tierra. Estas colecciones pueden resguardar fósiles de vertebrados e invertebrados como: huesos, conchas, dientes y otras estructuras mineralizadas conservadas en rocas sedimentarias y de paleobotánica: fósiles de plantas que revelan cambios climáticos y ecológicos a lo largo de millones de años.

5. PROTOCOLO DE LIMPIEZA GENERAL EN COLECCIONES BIOLÓGICAS

La correcta conservación y limpieza de las colecciones biológicas es fundamental para garantizar la preservación a largo plazo de los especímenes. A continuación, se presenta un protocolo detallado basado en las prácticas y directrices establecidas por diversas instituciones especializadas en el manejo de colecciones biológicas, como el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia (2017) y el manual de Simmons y Muñoz (2005), expertos en el área de conservación y manejo de colecciones científicas.

5.1. Frecuencia de limpieza

La limpieza de las colecciones biológicas debe realizarse de manera periódica, dependiendo de las necesidades específicas de cada tipo de espécimen. Se recomienda realizar una limpieza general cada tres meses, con inspecciones más frecuentes en áreas de alto riesgo o donde se hayan detectado problemas específicos. Además, es esencial hacer una inspección detallada de los ejemplares cada vez que se manipulan para actividades como catalogación, exhibición o investigación.

5.2. Materiales y productos

Para la limpieza de las colecciones biológicas, es crucial utilizar materiales y productos que no comprometan la integridad de los especímenes. Se deben emplear herramientas como brochas de cerdas suaves, aspiradoras con filtros HEPA, pinzas de punta fina y guantes de algodón o nitrilo. En cuanto a los productos de limpieza, es recomendable evitar los químicos agresivos. Se sugiere el uso de soluciones desinfectantes suaves, como alcohol isopropílico al 70%, y detergentes neutros diluidos en agua destilada. Es esencial verificar que los productos sean compatibles con los materiales de los especímenes y que no dejen residuos que puedan causar deterioro.

5.3. Procedimientos de limpieza

- ❖ **Preparación:** Antes de iniciar la limpieza, se debe preparar el área de trabajo, asegurándose de que esté limpia y libre de contaminantes. Se debe disponer de una estación de trabajo con superficies limpias y herramientas desinfectadas.
- ❖ **Inspección inicial:** Cada espécimen debe ser inspeccionado cuidadosamente para identificar signos de deterioro, infestación de plagas o acumulación de polvo.
- ❖ **Limpieza de superficies:** Usando una brocha de cerdas suaves o una aspiradora con filtro HEPA, se debe eliminar el polvo y los residuos de las superficies de los especímenes. Es importante evitar el uso de aspiradoras sin filtros adecuados, ya que pueden dispersar partículas dañinas.

- ❖ **Limpieza de áreas específicas:** Para áreas de difícil acceso o contaminadas, se pueden utilizar hisopos de algodón humedecidos con una solución desinfectante suave. Se debe proceder con extrema precaución para no dañar las superficies.
- ❖ **Secado:** Después de la limpieza, es esencial permitir que los especímenes se sequen completamente en un ambiente controlado antes de su almacenamiento o exhibición.

5.4. Precauciones especiales

- ❖ **Manejo delicado:** Durante todo el proceso de limpieza, se debe manipular cada espécimen con sumo cuidado para evitar daños físicos.
- ❖ **Control de plagas:** Es fundamental implementar medidas preventivas contra plagas, como el control de humedad y temperatura, y la inspección regular de los especímenes. En caso de infestación, se deben aplicar tratamientos específicos, como la congelación de los ejemplares afectados, siguiendo protocolos establecidos para cada tipo de plaga o realizar una fumigación especial en las colecciones.
- ❖ **Uso de productos adecuados:** Se deben evitar productos de limpieza que contengan sustancias químicas agresivas, fragancias o colorantes que puedan dañar los materiales de los especímenes.
- ❖ **Capacitación del personal:** Es esencial que el personal encargado de la limpieza esté debidamente capacitado en técnicas de conservación y manejo de colecciones biológicas para garantizar la eficacia y seguridad de los procedimientos.

6. PROTOCOLO DE LIMPIEZA DE MICROHONGOS EN COLECCIONES BIOLÓGICAS

La presencia de microhongos en las colecciones biológicas puede poner en peligro la integridad de los especímenes. Para garantizar la preservación a largo plazo de estos ejemplares, es fundamental implementar un protocolo de limpieza adecuado.

A continuación, se describe un protocolo específico para la limpieza de microhongos en colecciones biológicas, basado en las prácticas establecidas por instituciones especializadas en conservación, como la Universidad Nacional de Colombia (Simmons y Muñoz, 2005), Instituto Nacional de Antropología e Historia de México (2011), el Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional Autónoma de Colombia (2017), la Universidad Industrial de Santander de Colombia (2019), Universidad de San Carlos de Guatemala (2020) y la Universidad de Costa Rica (2020).

6.1. Frecuencia de limpieza

La limpieza de las colecciones biológicas debe realizarse de forma regular y sistemática para prevenir la acumulación de microhongos, que pueden prosperar en ambientes húmedos y mal ventilados. La frecuencia recomendada incluye:

- ❖ **Inspección y limpieza preventiva mensual:** Cada mes, se debe realizar una inspección detallada de las colecciones para detectar cualquier signo de crecimiento fúngico. Esto es particularmente importante en colecciones que se almacenan en condiciones de alta humedad o en áreas propensas a infestaciones.
- ❖ **Limpieza inmediata ante signos de contaminación:** Si se detecta la presencia de microhongos, es necesario aplicar medidas de limpieza de inmediato. Esto previene que la infestación se propague a otros especímenes.
- ❖ **Revisión adicional durante cambios estacionales:** Durante los cambios de época seca y lluviosa o viceversa, especialmente cuando la temperatura y humedad varían, es recomendable realizar revisiones adicionales para asegurarse de que las condiciones de almacenamiento sean adecuadas.

6.2. Materiales y productos

Para la limpieza eficaz de los microhongos, es esencial utilizar materiales y productos que eliminen el crecimiento fúngico sin dañar los especímenes biológicos. Los materiales recomendados incluyen:

Herramientas:

- ❖ **Brochas de cerdas suaves:** Para retirar el polvo y esporas superficiales sin dañar las superficies.
- ❖ **Aspiradoras con filtro HEPA:** Para eliminar esporas de microhongos sin dispersarlas en el ambiente.
- ❖ **Guantes de nitrilo o algodón:** Para evitar la transferencia de humedad o aceites de las manos a los ejemplares.

Productos de limpieza:

- ❖ **Alcohol isopropílico al 70%:** Eficaz para eliminar las esporas fúngicas sin dañar los materiales biológicos.
- ❖ **Soluciones fungicidas suaves:** Existen productos fungicidas específicos para la conservación de colecciones biológicas, que deben ser utilizados según las instrucciones del fabricante.
- ❖ **Desinfectantes a base de peróxido de hidrógeno diluido:** Puede ser útil para eliminar microhongos sin alterar la estructura de los especímenes.

6.3. Procedimientos de limpieza

El proceso de limpieza debe realizarse con cuidado para evitar daños a los especímenes y a las colecciones en general. Los pasos recomendados son los siguientes:

- ❖ **Preparación del área de trabajo:** Antes de iniciar, asegurarse de que el espacio de trabajo esté limpio y desinfectado. Todos los utensilios y herramientas deben ser desinfectados para evitar la contaminación cruzada.
- ❖ **Inspección inicial de los especímenes:** Realizar una inspección minuciosa de los especímenes para detectar signos de crecimiento fúngico. Prestar atención a áreas oscuras, húmedas o donde se haya acumulado polvo.
- ❖ **Eliminación de esporas superficiales:** Usar una brocha de cerdas suaves para retirar el polvo visible y las esporas fúngicas de las superficies de los especímenes. Si es necesario, utilizar una aspiradora con filtro HEPA para succionar las esporas sin dispersarlas.
- ❖ **Aplicación de productos desinfectantes:** Humedecer un pincel suave con alcohol isopropílico al 70% o con una solución fungicida diluida, y pasar el pincel suavemente por las áreas afectadas. Evitar el uso de productos en exceso para no empapar los especímenes.

Entre las soluciones fungicidas que sean efectivas contra microhongos sin comprometer la integridad de los especímenes están:

- 1) **Alcohol isopropílico al 70%:** Generalmente se utiliza en la limpieza de especímenes biológicos debido a su capacidad para eliminar esporas de hongos sin afectar la estructura del material biológico.
 - 2) **Peróxido de hidrógeno diluido (3-5%):** Se utiliza como una alternativa más segura para la limpieza de superficies y especímenes, ya que elimina microhongos sin dejar residuos tóxicos.
 - 3) **Parahidroxibenzoato de metilo (Metilparabeno):** Usado como conservante antifúngico en colecciones botánicas y zoológicas, especialmente en ejemplares en medios húmedos.
 - 4) **Timol o aceite de clavo (Eugenol):** Recomendado para evitar el desarrollo de hongos en colecciones entomológicas y de material seco, ya que tiene propiedades antifúngicas naturales.
 - 5) **Óxido de etileno (ETO):** Utilizado en la desinfección de colecciones biológicas cuando la infestación es severa, aunque su uso está regulado debido a sus efectos tóxicos.
- ❖ **Secado adecuado:** Después de la limpieza, permita que los especímenes se sequen completamente en un ambiente bien ventilado. Es importante evitar la humedad residual que podría favorecer el crecimiento de microhongos nuevamente.

6.4. Precauciones especiales

El manejo adecuado de las colecciones biológicas y la prevención de nuevos brotes de microhongos requieren de precauciones adicionales:

- ❖ **Control de temperatura y humedad:** Mantener un ambiente controlado, con una temperatura de entre 15-25°C y humedad relativa entre el 40-60%, es esencial para prevenir el crecimiento de microhongos.
- ❖ **Manejo adecuado de materiales contaminados:** Los especímenes que han sido gravemente afectados por microhongos pueden necesitar tratamiento adicional, como la congelación a temperaturas muy bajas (aproximadamente -18°C) durante 48 horas para matar las esporas fúngicas.
- ❖ **Uso de productos de limpieza compatibles:** Es crucial asegurarse de que los productos de limpieza sean adecuados para cada tipo de espécimen, evitando aquellos que puedan dañarlos o alterar sus características físicas.
- ❖ **Capacitación del personal:** Todo el personal encargado del manejo y limpieza de las colecciones debe recibir capacitación en la identificación de signos de contaminación fúngica y en el uso adecuado de los productos y técnicas de limpieza.

La implementación adecuada de estas prácticas contribuirá a la eliminación efectiva de microhongos y a la prevención de futuros brotes.

6.5. Microhongos del aire presentes en colecciones biológicas del Museo de Historia Natural de El Salvador y Universidad de El Salvador

En el marco de la investigación, se llevaron a cabo doce muestreos en las colecciones biológicas de la Universidad de El Salvador (UES) y del Museo de Historia Natural de El Salvador (MUHNES), ubicados en San Salvador, entre mayo y agosto de 2024. Los resultados obtenidos en las colecciones de la UES revelaron la presencia de un total de 2,209 colonias de hongos del aire, que corresponden a 28 especies distintas, además de dos tipos de Micelios Estériles, uno Cristalino y otro Pigmentado.

Por otro lado, en las colecciones biológicas del MUHNES se registraron 551 colonias de microhongos del aire, distribuidas en 23 especies diferentes, también con la presencia de los mismos Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado). Estos hallazgos destacan la diversidad micológica presente en ambas colecciones, reflejando un importante panorama de la diversidad fúngica asociada a estos ambientes de conservación.

De esta investigación se ha diseñado un catálogo de los especímenes encontrados en estas colecciones donde se detalla cada una de los géneros, especies y Micelios Estériles (Cristalino y Pigmentado) identificados durante la investigación, la cual presenta información sobre su taxonomía, características generales, su reproducción, descripción morfológica y su importancia clínica. Este apartado proporciona un recurso valioso para profundizar en el conocimiento específico de cada organismo fúngico encontrado, ofreciendo una visión integral tanto para la clasificación como para su posible impacto en el ámbito de la salud y conservación.

A continuación, se presenta un cuadro elaborado a partir de distintas referencias bibliográficas con los tratamientos y/o soluciones recomendadas para aplicar a los microhongos:

Cuadro 1. Tratamientos o soluciones recomendadas para tratar diversos microhongos presentes en el ambiente de las colecciones biológicas.

Tratamiento o solución recomendada	Aplicación	Referencia
Método de Control ambiental.		
*Humedad relativa y temperatura:		
Se recomienda mantener la humedad relativa por debajo del 60% y la temperatura en un rango controlado de entre 15°C y 25°C.	Monitorear de forma constante mediante sensores ambientales para garantizar un ambiente adecuado para la conservación de los especímenes.	Simmons y Muñoz (2005); Canadian Conservation Institute (2017).
Método de Tratamiento Físico.		
*Congelación:		
Es eficaz para matar las esporas fúngicas y evitar su propagación sin causar daños a los materiales de las colecciones.	Este proceso consiste en congelar los especímenes (pieles, plantas, insectos) a temperaturas de -18°C durante un período de 48 horas.	Martínez et al. (2021); Development Services (2017).

Tratamiento o solución recomendada	Aplicación	Referencia
Métodos de Tratamientos Químicos.		
*Etanol al 70%:		
Tiene la capacidad de desinfectar las superficies afectadas, eliminando tanto las esporas fúngicas como los restos de hongo presentes en los materiales.	Limpiar suavemente las áreas afectadas por el hongo con ayuda de un pincel o hisopo y dejar secar bien. Debe realizarse con cuidado para evitar daños a los materiales más delicados.	Sequeira et al. (2016); Meng et al. (2023).
*Peróxido de Hidrógeno (3-5%):		
Este compuesto funciona liberando oxígeno cuando entra en contacto con las esporas fúngicas, destruyendo la estructura celular del hongo. Es eficaz, pero debe usarse con precaución, ya que en concentraciones elevadas puede dañar las fibras del material.	Se puede aplicar directamente sobre las superficies afectadas con un pincel o hisopo limpio o mediante pulverización ligera. Es importante realizar pruebas preliminares en áreas no visibles para asegurar que el material no se degrade. Dejar que el material se seque al aire en un lugar ventilado.	Sequeira et al. (2012); Smithsonian Institution Archives (2016).
*Hipoclorito de Sodio (0.5-1%):		
Se utiliza para eliminar hongos en superficies duras, textiles y otros materiales no porosos. Su acción se basa en su capacidad para descomponer las proteínas del hongo, matando las esporas y previniendo la propagación de la infestación.	El hipoclorito de sodio se debe diluir adecuadamente para evitar que cause daño a los materiales. Es recomendable usarlo en un ambiente ventilado y evitar su uso en materiales delicados o finos, ya que puede blanquear o deteriorar el material.	Meng et al. (2023).
*Ácido Peracético (0.2%):		
Es capaz de destruir las membranas celulares de los hongos, eficaz para eliminar esporas y prevenir la propagación del moho. Es más ecológico en comparación con otros productos químicos más agresivos.	Tratamiento eficaz que puede aplicarse mediante pulverización de los materiales afectados. Debe utilizarse con precaución en materiales delicados debido a su alta reactividad.	Canadian Conservation Institute (2017).
*Amonios Cuaternarios (0.5%):		
Su acción se basa en la interrupción de las membranas celulares de los microorganismos, lo que mata a las esporas fúngicas y previene su crecimiento. Útil en situaciones en las que se requiere una limpieza de superficie sin dañar materiales frágiles.	Se puede aplicar mediante pulverización directa o con un pincel o hisopo limpio. Son generalmente seguros para una amplia gama de materiales, pero siempre es recomendable hacer una prueba en áreas pequeñas antes de su uso extensivo.	National Park Service (2015).

Las soluciones químicas utilizadas para eliminar microhongos en colecciones biológicas varían en cuanto a su agresividad y seguridad.

El hipoclorito de sodio y el ácido peracético son altamente efectivos, pero también son corrosivos, por lo que deben usarse con precaución, tomando medidas de seguridad adecuadas como ventilación y equipo de protección (Meng et al., 2023; Canadian Conservation Institute 2017).

El peróxido de hidrógeno es menos agresivo, pero debe aplicarse en concentraciones controladas para evitar daños a las muestras (Sequeira et al., 2012; Smithsonian Institution Archives, 2016).

En cambio, el etanol es la opción más suave y generalmente más segura, aunque también deben ser utilizados con cuidado. Se recomienda hacer pruebas previas en áreas pequeñas de las colecciones antes de aplicar estas soluciones en todo el material (Sequeira et al., 2016; Meng et al., 2023).

7. PROTOCOLO DE TRATAMIENTO DE AMBIENTES

Condiciones Ambientales y su Impacto en la Conservación de las Colecciones Biológicas

Según Ibermuseos (2020), las colecciones biológicas representan un valioso recurso científico, cultural e histórico, por lo que su conservación adecuada es esencial. Sin embargo, diversos factores ambientales pueden comprometer su estabilidad, acelerando su deterioro y reduciendo su valor a largo plazo. Para evitar estos daños, es fundamental controlar variables como la humedad relativa, la temperatura, la iluminación, la radiación y la contaminación atmosférica, a través de estrategias de monitoreo y mitigación.

7.1. Humedad Relativa y su Influencia en las Colecciones Biológicas

La humedad relativa (HR) es uno de los factores más críticos en la conservación, ya que influye directamente en la estabilidad de los materiales orgánicos e inorgánicos que componen las colecciones. Una HR inadecuada puede ocasionar diversos problemas:

- ❖ **Exceso de humedad (>70%):** Favorece el crecimiento de microhongos y bacterias, deteriora adhesivos y pigmentos, y acelera la degradación de materiales higroscópicos como papel, madera y textiles. En especímenes entomológicos y osteológicos, puede generar corrosión en alfileres y estructuras metálicas.
- ❖ **Deficiencia de humedad (<45%):** Puede provocar desecación y fracturas en materiales biológicos, como pieles, plumas y tejidos vegetales, haciéndolos más frágiles y susceptibles a daños mecánicos.

Para mitigar estos efectos, se recomienda:

- ❖ Uso de dataloggers para registrar variaciones de HR.
- ❖ Instalación de deshumidificadores en áreas propensas a condensación.
- ❖ Implementación de sistemas de climatización con control automático de HR.
- ❖ Revisión periódica de techos, tuberías y paredes para evitar filtraciones de agua.

7.2. Temperatura y su Relación con la Estabilidad de las Colecciones

Las fluctuaciones térmicas pueden generar tensiones en los materiales de las colecciones, causando expansión y contracción que aceleran su deterioro. El rango de temperatura ideal para la conservación varía según el tipo de material, pero generalmente se recomienda mantenerla entre 18°C y 20°C, con variaciones diarias no mayores a $\pm 2^\circ\text{C}$.

- ❖ **Temperaturas elevadas ($>25^\circ\text{C}$):** Favorecen la actividad biológica, incluyendo la proliferación de microorganismos e insectos, además de acelerar reacciones químicas de degradación en materiales orgánicos e inorgánicos.
- ❖ **Temperaturas bajas ($<15^\circ\text{C}$):** Pueden volver quebradizos algunos materiales, especialmente en colecciones de tejidos, plumas y pieles.

Estrategias para su control:

- ❖ Instalación de sensores de temperatura en puntos estratégicos.
- ❖ Uso de sistemas de aire acondicionado con regulación automática.
- ❖ Aislamiento térmico de los espacios de almacenamiento mediante doble pared, cortinas térmicas o puertas herméticas.

7.3. Iluminación y Radiación: Efectos en la Degradación de Materiales

La luz es un factor clave en la conservación de colecciones biológicas, ya que la radiación puede provocar fotodegradación en materiales orgánicos y sintéticos. Los efectos más comunes incluyen decoloración, oxidación, fragilización y alteraciones químicas en los especímenes.

- ❖ **Radiación ultravioleta (UV, $<400\text{ nm}$):** Causa rupturas en las cadenas moleculares, afectando especialmente tintes, pigmentos y papel.
- ❖ **Radiación infrarroja (IR, $>700\text{ nm}$):** Genera acumulación de calor, lo que puede alterar la composición de los materiales.
- ❖ **Luz visible (400-700 nm):** Aunque menos dañina que la UV, puede provocar cambios de color y deterioro en algunos materiales.

Medidas de protección:

- ❖ Uso de iluminación LED con control de intensidad, ya que emite menos calor y radiación UV.
- ❖ Instalación de filtros UV en ventanas y vitrinas de exhibición.
- ❖ Regulación del nivel de iluminación en función del material:
 - 1) 50 lux o menos para documentos, pieles y textiles.
 - 2) 200 lux máximo para colecciones minerales y geológicas.

7.4. Contaminación Atmosférica y su Impacto en la Conservación

La presencia de contaminantes en el aire puede acelerar procesos de degradación química y biológica en las colecciones. Entre los agentes más dañinos se encuentran:

- ❖ **Gases corrosivos:** Dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) pueden formar ácidos en contacto con la humedad, deteriorando papel, tejidos y superficies metálicas.
- ❖ **Ozonización:** El ozono (O₃) oxida materiales orgánicos, afectando plásticos, tintes y barnices.
- ❖ **Partículas en suspensión:** El polvo y las partículas finas pueden depositarse en las colecciones, actuando como abrasivos y transportando esporas fúngicas y contaminantes químicos.

Estrategias de mitigación:

- ❖ Uso de filtros HEPA y/o de carbón activado en los sistemas de ventilación.
- ❖ Mantenimiento frecuente del sistema de aire acondicionado y eliminación de fuentes de emisión de contaminantes.
- ❖ Reducción de polvo mediante limpieza con métodos secos y controlados, evitando el uso de productos químicos agresivos.

7.5. Importancia del Monitoreo y Control Ambiental

El control de las condiciones ambientales es esencial para garantizar la estabilidad y longevidad de las colecciones biológicas. Se recomienda implementar programas de monitoreo continuo, combinando tecnología y estrategias preventivas. Entre las acciones más efectivas se incluyen:

- ❖ Instalación de sensores en puntos críticos para registrar humedad, temperatura e iluminación.
- ❖ Uso de bases de datos para analizar tendencias y tomar decisiones informadas sobre ajustes en las condiciones ambientales.
- ❖ Capacitación del personal en prácticas de conservación preventiva y manejo adecuado de las colecciones.
- ❖ Diseño de espacios de almacenamiento adecuados, con barreras físicas contra contaminantes y regulaciones de luz y temperatura.

8. PERSONAL RESPONSABLE

El mantenimiento y la limpieza de las colecciones biológicas en museos requieren un equipo capacitado que comprenda la importancia de la conservación y las medidas necesarias para evitar daños o contaminación. El personal responsable debe recibir formación específica en manejo de materiales biológicos, control de microhongos y uso adecuado de productos de limpieza que no comprometan la integridad de las colecciones. Además, es fundamental asignar roles específicos dentro del equipo y supervisar periódicamente el cumplimiento de los protocolos establecidos, garantizando así la preservación adecuada de las muestras.

Contar con un plan de capacitación continuo y actualizado permite que el personal esté preparado para enfrentar posibles riesgos y actuar de manera eficiente ante cualquier incidencia en el entorno de conservación. Según la American Alliance of Museums (2019), establecer estándares claros en la formación del personal de museos es clave para asegurar prácticas de conservación óptimas y sostenibles a largo plazo.

9. REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN

El registro y la documentación son fundamentales en la conservación de colecciones biológicas, ya que permiten un seguimiento adecuado de las intervenciones realizadas. Es importante mantener un registro detallado de todas las actividades de limpieza y mantenimiento, en el que se incluyan fechas, nombres del personal responsable y los productos utilizados en cada procedimiento. Esta información facilita la evaluación de la efectividad de los protocolos aplicados y permite realizar ajustes cuando sea necesario para optimizar la conservación de las colecciones (Simmons y Muñoz, 2005).

De acuerdo con la norma ISO/TR 19814:2017, se aplica a la preservación de colecciones físicas de archivos y bibliotecas de instituciones, por lo que se puede aplicar a las colecciones naturales. Se aplica a todas las colecciones que alberga una institución, tanto a sus propias colecciones como a los depósitos o préstamos de otras instituciones. Se incluye información de referencia sobre colecciones, tanto físicas como digitalizadas, para su conservación (International Organization for Standardization, 2017).

10. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Según la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (2021), el personal debe utilizar equipo de protección personal como guantes y mascarillas, para evitar la exposición a productos químicos o agentes biológicos. Además, deben establecerse protocolos de emergencia para responder de manera eficiente ante situaciones imprevistas, como derrames de sustancias químicas, incendios o inundaciones, garantizando así la protección tanto del personal como de las colecciones. Estas no solo reducen los riesgos laborales, sino que también contribuyen a la conservación a largo plazo de los materiales biológicos.

11. GLOSARIO

1. **Alcohol isopropílico al 70%:** utilizada para la eliminación de esporas fúngicas sin dañar materiales biológicos.
2. **Amonios cuaternarios (0.5%):** Compuestos químicos empleados como desinfectantes contra microhongos.
3. **Aspiradora con filtro HEPA:** Dispositivo utilizado para eliminar esporas de microhongos sin dispersarlas en el ambiente.
4. **Biodiversidad:** Variedad de especies de seres vivos en un ecosistema, incluyendo su variabilidad genética y los ecosistemas que conforman.
5. **Brocha de cerdas suaves:** Herramienta utilizada para la limpieza de polvo y esporas sin dañar las superficies.
6. **Catalogación:** Proceso de registro, clasificación y organización de especímenes dentro de una colección biológica o museística.
7. **Colección biológica:** Conjunto organizado de especímenes de organismos conservados con fines científicos, educativos o de conservación.
8. **Colecciones biológicas:** Conjunto de especímenes preservados en museos para estudio y conservación.
9. **Conservación curativa:** Estrategia de intervención directa en un objeto o espécimen para detener o revertir su deterioro.

10. **Conservación preventiva:** Conjunto de medidas que buscan evitar el deterioro de una colección sin necesidad de intervenir directamente en los objetos o especímenes.
11. **Conservación restaurativa:** Proceso enfocado en la recuperación estética y estructural de un objeto, respetando su autenticidad y materiales originales.
12. **Contaminación atmosférica:** Presencia de partículas y gases en el aire que afectan la conservación de materiales.
13. **Contaminación fúngica:** Presencia y proliferación de hongos microscópicos en colecciones biológicas, lo que puede provocar su deterioro.
14. **Control ambiental:** Regulación de factores como temperatura, humedad, iluminación y calidad del aire para preservar adecuadamente las colecciones.
15. **Corrosividad:** Propiedad de una sustancia química que le permite degradar o destruir materiales con los que entra en contacto, como metales, tejidos orgánicos o superficies de almacenamiento, afectando la conservación de colecciones biológicas.
16. **Desecación:** Proceso de pérdida de humedad que puede afectar la integridad de materiales biológicos.
17. **Deshumidificador:** Dispositivo empleado para regular la humedad relativa en ambientes de conservación.
18. **Desinfectante:** Sustancia utilizada para eliminar microorganismos en superficies y especímenes.
19. **Desinfección:** Eliminación de microorganismos patógenos de superficies, herramientas o especímenes mediante el uso de agentes químicos o físicos.
20. **Esporas:** Estructuras de reproducción de hongos que pueden dispersarse en el aire y contaminar colecciones.
21. **Especímenes en líquido:** Organismos o partes de ellos almacenados en sustancias conservantes como etanol al 70% o formalina al 4% para su preservación a largo plazo.
22. **Etanol:** Alcohol utilizado en la limpieza de colecciones biológicas por su acción desinfectante.

23. **Evaporación de conservantes:** Pérdida gradual del líquido en el que se almacenan especímenes, lo que puede comprometer su integridad.
24. **Filtros HEPA:** Mecanismos que eliminan partículas en suspensión y esporas fúngicas del aire.
25. **Fotodegradación:** Deterioro de materiales biológicos causado por la exposición a la luz.
26. **Fumigación:** Aplicación controlada de sustancias químicas para eliminar plagas en colecciones biológicas y evitar su deterioro.
27. **Gestión del riesgo:** Planificación y aplicación de medidas para minimizar los daños potenciales en una colección ante desastres naturales o accidentes.
28. **Herbario:** Colección de plantas prensadas y secas, organizadas sistemáticamente para su estudio y conservación.
29. **Hipoclorito de sodio:** Solución desinfectante usada para eliminar hongos en colecciones biológicas.
30. **Humedad relativa:** Cantidad de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad máxima que podría contener a una temperatura determinada.
31. **Iluminación controlada:** Regulación de la intensidad y tipo de luz en espacios de almacenamiento y exhibición para evitar daños en los especímenes.
32. **Iluminación LED:** Fuente de luz recomendada para la conservación de colecciones por su bajo impacto térmico.
33. **Infestación de plagas:** Presencia de organismos como insectos o roedores que pueden deteriorar colecciones biológicas si no se controlan adecuadamente.
34. **Integridad estructural:** Estado de conservación de un espécimen o colección, garantizando su estabilidad y resistencia ante factores ambientales o mecánicos.
35. **Materiales libres de ácido:** Insumos utilizados para la conservación de documentos o especímenes que evitan reacciones químicas dañinas a largo plazo.
36. **Microhongos:** Hongos microscópicos que pueden proliferar en colecciones biológicas bajo condiciones inadecuadas.

37. **Monitoreo ambiental:** Control y registro de variables ambientales como temperatura y humedad en museos.
38. **Normativa de conservación:** Conjunto de leyes y directrices que regulan el manejo y protección de colecciones biológicas en instituciones científicas y museos.
39. **Óxido de etileno:** Compuesto químico en forma de gas utilizado para la desinfección de colecciones con infestaciones severas.
40. **Patrimonio natural:** Conjunto de elementos biológicos y geológicos con valor científico, cultural y educativo que deben ser protegidos.
41. **Peróxido de hidrógeno (3-5%):** Desinfectante utilizado en la eliminación de microhongos sin dejar residuos tóxicos.
42. **Pigmentado:** Característica de ciertos Micelios Estériles presentes en colecciones biológicas.
43. **Prevención de plagas:** Estrategias utilizadas para evitar la proliferación de organismos que pueden afectar negativamente a las colecciones.
44. **Registro museológico:** Documento detallado que incluye información sobre cada objeto o espécimen dentro de una colección.
45. **Registro y documentación:** Procedimiento de seguimiento de actividades de limpieza y conservación.
46. **Restauración:** Proceso mediante el cual se interviene un objeto deteriorado con el fin de recuperar su apariencia original y prolongar su vida útil.
47. **Solución fungicida:** Mezcla química empleada para eliminar hongos en colecciones biológicas.
48. **Soluciones conservantes:** Líquidos empleados en la preservación de especímenes en colecciones húmedas, evitando su descomposición o deterioro.
49. **Timol:** Sustancia con propiedades antifúngicas utilizada en la conservación de colecciones.
50. **Ventilación:** Estrategia para prevenir la acumulación de humedad y la proliferación de microhongos.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (2021). *Personal protective equipment standards*. Recuperado de: <https://www.osha.gov/personal-protective-equipment>
- American Alliance of Museums. (2019). *Core standards for museums*. American Alliance of Museums. Recuperado de: <https://www.aam-us.org/programs/ethics-standards-and-professional-practices/collections-stewardship-standards/>
- Asamblea Legislativa de la República de El Salvador (1993). *Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural de El Salvador*. https://www.transparencia.gob.sv/descarga_archivo.php?id=MjQ2ODA4
- Borja Sanchíz (Ed.). (1994). *Manual de catalogación y gestión de las colecciones científicas de historia natural*. Museo Nacional de Ciencias Naturales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Recuperado de: http://aleph.csic.es/imagenes/mad01/mncn/P_000436154_436154000003_V00.pdf
- Canadian Conservation Institute. (2017). *Mould prevention and collection recovery: Guidelines for heritage collections*. Recuperado de <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins/mould-prevention-collection-recovery.html>
- Development Services. (2017). *Treatment of mould | Development Services - Collections Care Manual*. Recuperado de <https://manual.museum.wa.gov.au/conservation-and-care-collections-2017/mould-and-insect-attack-collections/treatment-mould/index.html>
- Ibermuseos. (2020). *La conservación de colecciones en museos iberoamericanos: Experiencias y desafíos*. Ibermuseos. Recuperado de: <https://www.iber museos.org/wp-content/uploads/2020/03/la-conservacion-de-colecciones-col.pdf>
- Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional Autónoma de Colombia. (2017). *Protocolo de manejo de las colecciones biológicas del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional Autónoma de Colombia* [PDF]. Recuperado de: <https://anterior.inciva.gov.co/component/phocadownload/category/15-biodiversidad?download=103%3Aprotocolo-manejo-de-colecciones-zoologicas-de-referencia-cientifica>

- Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC), y Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CNCA). (2011). *Normas básicas para la conservación preventiva de los bienes culturales en museos*. INAH.
https://www.conservacion.inah.gob.mx/pdf/recursos_conservacion/recurso%2839417%29-6398.pdf
- International Council of Museums (ICOM) (2020). *Conservación en los museos*.
<https://icom.museum/es/covid-19/recursos/conservacion-en-los-museos/>
- International Organization for Standardization. (2017). ISO/TR 19814:2017. *Información y documentación. Gestión de colecciones para archivos y bibliotecas*.
<https://www.iso.org/standard/66263.html>
- Martínez Vargas, J., Roqué, L., Del Canto, I., Carrillo-Ortiz, J., Orta, C., y Quesada, J. (2021). *The impact of prolonged frozen storage on the preparation quality of bird skins and skeletons in zoological collections*. The Science of Nature, 108(3), 25. <https://doi.org/10.1007/s00114-021-01726-0>
- Meng, Q., Li, X., Geng, J., Liu, C., y Ben, S. (2023). *A biological cleaning agent for removing mold stains from paper artifacts*. Heritage Science, 11(1), Article 115.
https://www.researchgate.net/publication/375826836_A_biological_cleaning_agent_for_removing_mold_stains_from_paper_artifacts
- Ministerio de Cultura de El Salvador (2020). *Norma de seguimiento a declaratorias de bienes culturales de origen de natural*.
https://www.transparencia.gob.sv/descarga_archivo.php?id=MzcxMTcx&inst=371171
- Museo de la Universidad de Costa Rica (Eds.). (2020). *Catálogo de las colecciones científicas de la Universidad de Costa Rica (CC-UCR)* [PDF]. Universidad de Costa Rica.
<https://museo.ucr.ac.cr/ccucr.pdf>
- National Park Service. (2015). *Conserve O Gram Volume 3 Issue 4: Mold*. Recuperado de <https://www.nps.gov/museum/publications/conservoogram/03-04.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2015). *Recomendación relativa a la protección y promoción de los museos y colecciones, su diversidad y su función en la sociedad*. <https://www.unesco.org/es/legal->

affairs/recommendation-concerning-protection-and-promotion-museums-and-collections-their-diversity-and-their

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2006). *Textos básicos de la Convención del Patrimonio Mundial de 1972*. Centro del Patrimonio Mundial de la UNESCO. <https://whc.unesco.org/document/101837>
- Pérez, S. (2020). *Manual de uso y manejo de colecciones zoológicas* (R. Roldán, Ed.). Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://cbm-ccqqfar.usac.edu.gt/wp-content/uploads/2020/10/Manual-de-uso-y-manejo-de-colecciones-zool%C3%B3gicas-2020.pdf>
- Sequeira, S. O., Phillips, A. J. L., Cabrita, E. J., y Macedo, M. F. (2016). *Ethanol as an antifungal treatment for paper: short-term and long-term effects*. *Studies in Conservation*, 62(1), 33–42. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00393630.2015.1137428?scroll=top&needAccess=true>
- Simmons, J. E., y Muñoz, Y. (Eds.). (2005). *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas*. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: http://www.ibiologia.unam.mx/pdf/directorio/c/cervantes/clases/sistem/Cuidado_Manejo_y_Conservacion_de_las_Colecciones_Biologicas.pdf
- Smithsonian Institution Archives. (2016). *Conserving archival collections suffering from fungal attack*. Smithsonian Institution Archives. <https://siarchives.si.edu/blog/conserving-archival-collections-suffering-fungal-attack>
- Universidad Industrial de Santander. (2019). *Protocolo de manejo de las colecciones biológicas de la Universidad Industrial de Santander* [PDF]. Recuperado de: https://bio.uis.edu.co/eisi/images/ArchivosEditor/20190930145219-protocolo_de_colecciones_uis_v30.pdf