

**Análisis de microhongos y Protocolo para el manejo de la Colección Biológica de  
Artrópodos y Aves del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica  
Nacional**

**Brayan Stev Cruz Bermúdez**

**Mariel Mendivelso Núñez**

**Director**

**Hugo Mauricio Jiménez Melo**

**Microbiólogo, M. Sc**

**Línea de investigación Biodiversidad, Biotecnología y Conservación**

**Universidad Pedagógica Nacional**

**Facultad de Ciencia y Tecnología**

**Departamento de Biología**

**Bogotá D.C., 2024**

## **Dedicatoria**

Me gustaría citar una frase de una película de superhéroes que ha marcado mi vida, tanto personal como académica: “Solo hay que hacer un salto de fe”. Este salto de fe ha consistido en creer en mí, así como en todas las personas que han estado conmigo durante este proceso. Este salto lo hice por mis padres, Fredy y Paola, quienes siempre me han motivado a mejorar y a mostrar quién soy; por mi hermano Jerónimo, que me recuerda que puedo llegar a ser un gran maestro en ciencias; por mis abuelos paternos, Carlos y Graciela, quienes me han brindado un apoyo incondicional a lo largo de mi vida; por mis abuelos maternos, Luscely y Guillermo, que siempre me han dado su amor; por mi tío Carlos, quien constantemente me impulsa a enfrentar nuevos retos y a perseguir mis sueños; por mis tías, Lina y Xiomara, quienes siempre han creído en mí y me han ofrecido su apoyo; y por mi novia Laura, que me ha acompañado en cada momento de este logro y ha confiado en mí incondicionalmente. A todos ellos, quienes son los pilares de mi vida, les dedico este trabajo. Gracias por creer en mí, por brindarme su amor y por motivarme a ser siempre mejor.

Brayan

Este trabajo de grado es el reflejo de un camino lleno de esfuerzos, desafíos y aprendizajes, pero, sobre todo, es el resultado de la invaluable ayuda y amor de aquellos que me han acompañado en cada paso de este recorrido. A mi madre, que me ha dado siempre un ejemplo de resiliencia, fortaleza y amor incondicional, a ella, le debo mi persistencia y mi motivación. A mi padre por volver y quedarse. A mi hermano Alexander, por sus palabras de aliento en los momentos de duda y por construir en mí un sueño, enseñándome de amor por todo lo vivo y creyendo en mí incluso cuando yo misma dudaba. A mis amigas Angie y Alejandra Milena

por su ayuda para mantenerme y culminar este proceso, por su paciencia y comprensión y por las risas infinitas que hicieron más liviano el camino. A mis amigos, Santiago y Brayán, por resistirme, por escucharme y por muchas veces callar cuando no tenía nada bueno que decir. A mí amor bello, Felipe Velásquez, por todo el tiempo brindado, por su compañía y por nuestros sueños. A una gran amiga Jeisel Moreno, por acompañarme y sujetarme en unos de los momentos más difíciles de mi vida. A Lina Alméciga por recorrer parte de este camino juntas. A Nevada, Kase y Chetty por su compañía en las madrugadas. Y a todos aquellos que, de una u otra manera y desde lo rutinario y sin saberlo, me han brindado su confianza y cariño, sin los cuales este logro no habría sido posible. Este trabajo es para ustedes, quienes son mi inspiración diaria y mi razón para seguir adelante, y a quienes agradezco de todo corazón por cada gesto, cada palabra y cada apoyo. Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que me han  
tenido en su  
pensamiento y he sido parte de sus preocupaciones.

Mariel

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Pedagógica Nacional por abrirnos las puertas y por pertenecer al grupo de ciudadanos que la universidad pública transforma. Agradecemos al Museo de Historia

Natural de la UPN y profundamente a todas las personas que, de alguna u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo de grado.

En primer lugar, deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestros profesores y asesores, quienes nos guiaron durante todo el proceso de investigación. A Hugo Mauricio

Jiménez Melo, por su invaluable apoyo, orientación y paciencia, siempre dispuesto a ofrecernos sus consejos y sugerencias que enriquecieron significativamente nuestro trabajo. Su conocimiento y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto, además, destacar su gran sentido humano, que siempre estuvo presente.

A la profesora Martha García, por permitirnos la realización de esta investigación y por sus observaciones impulsando nuestra curiosidad académica. Su experiencia y conocimiento fueron determinantes para la culminación de este proceso.

A todos los demás docentes que, a lo largo de nuestra formación académica, nos proporcionaron las herramientas necesarias para llegar hasta aquí. Sus enseñanzas fueron esenciales para nuestro crecimiento personal y profesional, y les estamos profundamente agradecidos.

Gracias a todos.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	1
Justificación.....	4
Marco teórico .....	6
Museo.....	6
Museo de Historia Natural .....	7
Museo de Historia Natural UPN .....	8
Museo Faunístico .....	9
Colecciones biológicas.....	10
Antigüedad y Edad Media.....	12
Renacimiento y la Era de los Descubrimientos.....	12
Desarrollo de las Colecciones Biológicas .....	12
Rol Actual de las Colecciones Biológicas.....	13
Colecciones Biológicas de Aves y Artrópodos del MHN.....	15
Causas del Deterioro de las Colecciones Biológicas .....	16
Causas Físicas .....	17
Causas Biológicas .....	17
Causas Químicas .....	18
Causas Antrópicas.....	18
Agentes biológicos contaminantes: Hongos .....	20
Microhongos.....	20
Estructuras microscópicas. ....	20

Clasificación de los Hongos.....	23
Ascomycota.....	23
Reproducción .....	23
Ciclo de Vida.....	24
Mucoromycota .....	25
Reproducción .....	26
Ciclo de Vida.....	26
Deuteromycetes .....	27
Reproducción. ....	27
Protocolo de Conservación de Colecciones Biológicas .....	28
Almacenamiento.....	28
Control Ambiental.....	28
Manejo y Manipulación .....	28
Mantenimiento y Limpieza .....	29
Restauración y Conservación .....	29
Digitalización y Acceso .....	29
Acceso y Uso.....	29
Normativas y Buenas Prácticas .....	30
Antecedentes .....	31
Antecedentes Internacionales .....	31
Antecedentes Nacionales.....	36
Planteamiento del problema de investigación .....	44
Pregunta Problema .....	46

Objetivos .....	47
Objetivo General .....	47
Metodología .....	48
Recolección de las muestras de aire .....	48
Recolección de las muestras de la colección de Artrópodos .....	52
Recolección de las muestras colección de aves .....	53
Siembra y Aislamiento de los Microhongos .....	54
Identificación.....	56
Agentes biológicos contaminantes: Bacterias .....	57
Elaboración de Protocolo para el manejo de colecciones de Artrópodos y Aves del MHN.....	57
Resultados y Análisis .....	59
Monitoreo Ambiental MHN.....	59
Total de muestras por visita y tipo de muestreo .....	60
Diversidad y abundancia de microhongos: Colección Artrópodos .....	61
Porcentaje de Presencia en los géneros de la colección .....	62
Diversidad y abundancia de microhongos: Colección Aves.....	67
Identificación de Microhongos encontrados en las colecciones de artrópodos y aves .....	68
Género Penicillium.....	68
Género Aspergillus.....	71
Género Mucor. ....	73
Género Microscoporum.....	76
Género Botrytis, .....	78
Género Sclerotium,.....	80
Género Cladosporium,.....	82

Género Rhodotorula .....	83
Levadura.....	85
Bacterias contaminantes .....	86
Protocolo para el manejo y preservación de la colección biológica de artrópodos y aves del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional.....	86
Otros Resultados Relevantes.....	87
Conclusiones .....	94
Recomendaciones .....	96
Referencias bibliográficas .....	99

## Introducción

El Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) está ubicado en la localidad de Chapinero de la Ciudad de Bogotá, dentro de las instalaciones de la universidad, también llamado La Casita de la Vida. Es considerado patrimonio arquitectónico, material de la ciudad y científico, teniendo una importancia histórica de carácter formativo, cultural e investigativa. Hacia 1950, albergó las aulas del Instituto Pedagógico Nacional como escenario de educación para niños, donde posteriormente se transformaría en un depósito; no sería sino hasta el año 1974, donde este lugar se recuperaría por la iniciativa de profesores, estudiantes y funcionarios para la organización y exposición de especímenes disecados y otros organismos vivos, permitiendo la formación e investigación en ciencias y artes; pues allí convergen las Ciencias Naturales, Ciencias Humanas, Ciencias sociales y el Arte (Romero, C. 2019).

### Figura 1

*Fotografía de Museo de Historia Natural UPN*



*Nota.* La fotografía representa el estado actual del museo.

El museo cuenta con colecciones vivas y no vivas, que se emplean como material educativo, que lo convierte en un espacio de aprendizaje, donde docentes, estudiantes, niños, niñas, adolescentes y adultos pueden descubrir gran diversidad de organismos que allí se exhiben. Estas colecciones han permitido realizar ejercicios de investigación, prácticas pedagógicas, trabajos de grado y cursos optativos que ofrece el programa de la Licenciatura en Biología y la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Actualmente, el museo alberga colecciones biológicas que están registradas en el Instituto Alexander Van Humboldt. Colecciones de organismos que varían de la siguiente manera: aproximadamente 400 hongos, 25.000 ejemplares del orden *Insecta*, entre los cuales, se encuentran, 10.000 insectos acuáticos. También alberga fósiles y herbarios los cuales son considerados como un fragmento de la diversidad colombiana.

En este momento, algunas colecciones biológicas, presentan deterioro causado por diversos agentes, tanto en los especímenes como en los recursos utilizados para su preservación y montaje. El deterioro en las colecciones se presenta por causas naturales y por otros factores, pero, se incrementa por el uso de técnicas inadecuadas en el manejo de los ejemplares y condiciones ambientales.

Entre los factores que influyen en la conservación de las colecciones, se encuentra los físicos y los bióticos. En los bióticos son recurrentes las esporas fúngicas, que están en ambientes internos, como el aire y también en los ambientes externos, los cuales presentan altas concentraciones de esporas contaminantes, que dan origen al crecimiento de hongos, debido a los altos niveles de humedad, que a su vez utilizan la materia orgánica como sustrato, en este caso específico las aves e insectos de la colección del MHN.

Hay hongos que crecen en ambientes internos y obtienen para su crecimiento y metabolismo materia orgánica muerta o sustratos como el papel, la madera, pinturas y pieles (Albrith, 2001). Los hongos ambientales tienden a generar deterioro en diferentes sustratos y también se relacionan con condiciones ambientales. Sin embargo, esto depende de la concentración fúngica de los ambientes externos y los tipos de esporas que se desarrollan en los ambientes internos, tomando cada espacio como un caso separado y único, generalmente la concentración de fúngica es mayor en ambientes externos que en los internos (Herrera *et. al*, 2015). Del mismo modo Klanova (2001) determinó que una concentración de hongos en ambientes cerrados por encima de 2,000 UFC/m<sup>3</sup>, se considera como un factor de riesgo que puede afectar gravemente colecciones biológicas manipuladas inadecuadamente.

En el Museo de Historia Natural (MHN) de la UPN se ha observado que los especímenes de insectos y aves se encuentran contaminados por microhongos, lo que dificulta su preservación y estudio. Por lo anterior, el problema de investigación que motiva este estudio, radica en el deterioro observado en algunas de las colecciones biológicas del museo, causado por la contaminación de microhongos en especímenes de insectos y aves almacenados en cajas de conservación. Esta situación plantea interrogantes sobre la naturaleza de dicha contaminación, sus causas subyacentes y las medidas necesarias para su control y prevención.

## **Justificación**

Este trabajo resulta importante desde la perspectiva de la línea de investigación en Faunística con Énfasis en Artrópodos, asociada al Museo de Historia Natural y la línea Biodiversidad, Biotecnología y Conservación, ambas, vinculadas con la Licenciatura en Biología de la UPN.

Por un lado, la primera línea de investigación, trabaja alrededor de la colección entomológica y la colección de aves (conservados en seco) del MHN de la UPN, por lo que resulta de gran importancia científica, educativa y cultural, mantener en buen estado el material. Sin embargo, las colecciones se encuentran afectadas por el crecimiento de microhongos, generando la biodegradación del material. En ese sentido, se requiere la elaboración de una ruta de control o protocolo que permita la manipulación de las colecciones y al mismo tiempo el cuidado de estas, impidiendo futuras contaminaciones.

Por otro lado, la segunda línea de investigación, Biodiversidad, Biotecnología y Conservación, elabora investigaciones rigurosas alrededor del reino Fungí, debido a que, los hongos no se estudian con tanta profundidad, como otros organismos, lo que impide muchas veces su adecuada aplicación, control y manejo. Así las cosas, la investigación realizada, amplía el conocimiento alrededor de los hongos, debido a que, el sustrato (colecciones) en el que se encuentran los microhongos estudiados, no habían sido abordados anteriormente en la UPN.

En ese sentido, el MHN necesita establecer normas de conservación y restauración adecuadas a sus condiciones. No existen normas nacionales o mejor una estandarización para el cuidado de las colecciones biológicas, ya que, cada institución enfrenta microclimas, materiales y problemas específicos. Es crucial conocer los materiales más útiles para las colecciones y qué materiales están disponibles en la UPN.

Por otra parte, es importante mejorar el ambiente de almacenamiento de las colecciones biológicas, sin aumentar los costos, puesto que el manejo correcto de las colecciones impacta directamente otras actividades del museo. El uso inadecuado de las colecciones y la poca información asociada puede causar deterioro, reduciendo la "vida útil" de los especímenes; las colecciones que no se emplean resultan inútiles. Por lo tanto, el aumento de su utilización debe ir acompañado de mejoras en la preservación, debido a que, el uso de las colecciones, resulta de alta importancia porque permiten preservar especímenes de flora, fauna y otros organismos, muchos de los cuales pueden estar en peligro de extinción o incluso extintos en la naturaleza. Esto asegura que su información genética y morfológica esté disponible para estudios futuros. Además, los especímenes almacenados en colecciones biológicas son esenciales para la investigación en diversas áreas, como la taxonomía, ecología, evolución, biogeografía, genética, entre otras. Los científicos pueden estudiar la variabilidad entre especies, describir nuevas especies y entender las relaciones filogenéticas entre organismos. Finalmente, sirven como una herramienta pedagógica para la enseñanza de la biología, la conservación y la historia natural. Las instituciones que albergan estas colecciones pueden crear exposiciones que sensibilicen al público sobre la biodiversidad y la importancia de su conservación, lo que termina mejorando la interacción entre investigadores, estudiantes, educadores y otros profesionales.

En consecuencia, este trabajo resulta relevante, para mantener viva la misión del MHN, pues aún no se comprende plenamente el valor de las colecciones biológicas; ya que, deben ser vistas como bibliotecas o centros de documentación cuya información es insustituible.

Particularmente, las colecciones biológicas del MHN de la UPN, representan el registro de diversas especies, en lugares y tiempos determinados, permitiendo establecer la biodiversidad pasada y presente de nuestro país y parte del planeta. Por otro lado, la investigación científica

permite al maestro mantenerse actualizado en su área de conocimiento. En un mundo en constante cambio, con avances tecnológicos y nuevos descubrimientos, el maestro que investiga puede ofrecer a sus estudiantes una educación basada en la ciencia más reciente y relevante.

### **Marco teórico**

En el presente apartado se presenta el estado del arte de los diferentes estudios relacionados con el problema de investigación. Seguidamente, se define como los microhongos pueden afectar a las colecciones biológicas y que métodos de identificación y preservación, se emplean en micología desde diferentes autores. Finalmente, se exponen los postulados teóricos que sustentan el trabajo. Se necesitó una revisión de artículos científicos (entre los años 2010 a 2020) y documentos normativos que articulen los antecedentes y marco teórico.

### **Museo**

Según la definición proporcionada por Deloche (2007), el museo es concebido como una función específica dentro de la sociedad humana, destinada a facilitar la comprensión de la interdependencia del ser humano con su entorno natural, social y estético. Este concepto resalta el papel del museo como un instrumento para ofrecer información y experiencia, permitiendo a las personas comprenderse a sí mismas en un contexto más amplio. Esta visión enfatiza la función educativa y cultural del museo, destacando su importancia en la transmisión y preservación del patrimonio cultural de la humanidad.

Además, Rivière (1978) aporta una perspectiva que resalta la relación del museo con la comunidad y su entorno. Según este autor, el ecomuseo se define como una institución que articula el desarrollo de una comunidad con la preservación, presentación e interpretación de su

patrimonio natural, social y cultural. Esta concepción amplía el alcance del museo más allá de sus paredes físicas, integrando elementos tangibles e intangibles que representan la identidad y la historia de una comunidad en un territorio específico.

Por otro lado, Schweibenz (2004) introduce el concepto de cibermuseo, que se refiere a una colección de objetos digitalizados y articulados lógicamente, que trascienden los modos tradicionales de comunicación e interacción con el visitante. Este enfoque destaca la evolución del museo en la era digital, donde la conectividad y el acceso múltiple permiten la difusión global de objetos y conocimientos, sin necesidad de un espacio físico definido.

### ***Museo de Historia Natural***

Los museos de Historia Natural surgen en el siglo XVI hasta el XIX, con una fuerte relación entre universidades y disciplinas fundamentadas en ciencias, con la misión de contribuir al conocimiento científico, donde las exposiciones son similares a libros de texto tridimensionales y ricos en objetos, preparados por curadores encargados de seleccionar las piezas, el diseño de etiquetas y la ubicación de las colecciones en una vitrina (Rodríguez & Torales, 2021).

La labor de un museo de historia natural va más allá de la pura preservación de amplias colecciones de especímenes u objetos, así como de la difusión del patrimonio natural y cultural mediante exposiciones y actividades educativas. Estos museos también representan centros de investigación activos, constantemente generando nuevo conocimiento sobre las especies que habitan el planeta. De esta manera, han desempeñado un papel fundamental en el establecimiento de los fundamentos que sustentan los avances contemporáneos en diferentes disciplinas científicas relacionadas con los organismos vivos, como la Ecología, la Biogeografía y la Biología Molecular, entre otras. Así mismo, su influencia trasciende el campo científico, debido

a que, desempeña un papel relevante, aunque a menudo subestimado, en el desarrollo de las sociedades humanas, cuya subsistencia se encuentra intrínsecamente ligada al conocimiento de la naturaleza. Los museos constituyen el depósito de ejemplares que posibilitan el reconocimiento inequívoco de las especies, incluyendo ejemplares encontrados por la sociedad civil y otros ejemplares identificados por especialistas, información de suma importancia para el aprovechamiento y la gestión de la biodiversidad por parte del ser humano (Museo Nacional de Historia Natural de Chile, 2023).

### ***Museo de Historia Natural UPN***

El Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) es una institución dedicada a la conservación, estudio y divulgación de la biodiversidad y el patrimonio natural. A lo largo de su historia, el museo ha evolucionado para convertirse en un centro de referencia en la educación y la investigación en ciencias naturales.

Sus orígenes se remontan a la década de 1970, pues la UPN, consciente de la necesidad de promover la educación y la investigación en ciencias naturales, comenzó a reunir colecciones de especímenes biológicos y geológicos. Hacia 1980, se formaliza la creación del Museo de Historia Natural, con el objetivo de apoyar la formación de maestros y la investigación en Biología, Geología y otras ciencias afines (Díaz, J. 2005).

En la década comprendida entre 1980 y 1990, el museo experimenta un crecimiento significativo en sus colecciones, gracias a la colaboración con otras instituciones y las expediciones científicas realizadas por profesores y estudiantes de la UPN. En 1995, se inaugura una nueva sede para el museo, equipada con instalaciones modernas para la conservación de especímenes y la realización de actividades educativas y de investigación (Martínez, P. 2010).

En cuanto a la investigación científica, el museo ha sido un centro activo de investigación, contribuyendo con importantes estudios sobre la biodiversidad y la geología del país. A lo largo de los años, el museo ha jugado un papel crucial en la conservación de especies y ecosistemas, colaborando con programas nacionales e internacionales. Por otra parte, el museo ha desarrollado numerosos programas educativos para estudiantes de todos los niveles, así como actividades de divulgación científica para el público en general (García, M. et. al. 2015).

El MHN, ha establecido acuerdos de colaboración con otras instituciones científicas y educativas a nivel mundial, facilitando el intercambio de conocimientos y recursos. Entre sus proyectos más destacados se encuentran la digitalización de sus colecciones y la creación de exposiciones itinerantes para llevar la ciencia a diferentes comunidades. Sin embargo, enfrenta desafíos relacionados con la financiación, la conservación de sus colecciones y la actualización tecnológica. Empero, continúa trabajando para expandir sus colecciones, mejorar sus instalaciones y fortalecer sus programas educativos y de investigación, con el objetivo de seguir siendo un referente en la educación y la conservación de la biodiversidad.

Es un lugar en el que, por más de cuatro décadas, profesores, estudiantes e investigadores de la UPN, han invertido tiempo para reunir, preservar y desarrollar las colecciones del Museo de Historia Natural, perteneciente al Departamento de Licenciatura en Biología. Este espacio educativo nos ofrece una visión del mundo natural y su diversidad, además de resaltar las oportunidades académicas que brindan sus colecciones (Universidad Pedagógica Nacional, 2015).

### ***Museo Faunístico***

Son instalaciones que tienen como objetivo adquirir, conservar, investigar, comunicar y exhibir colecciones biológicas de individuos de fauna no vivas con fines educativos y de difusión

entre la sociedad (Barriuso, 2015), dado lo anterior, la importancia que tiene los museos yace en la preservación de material genético, siendo considerados como centros de información ya que permiten tener una imagen física de una especie o comunidad en un espacio y tiempo determinado; por lo tanto, como menciona Viscardi (2016) son estos datos que hacen que las colecciones de los museos tengan un gran valor.

Los museos tienen diferentes formas de categorizarse, es decir, están los de historia, arte y colecciones biológicas, los cuales son fáciles de identificar, pues la única diferencia es la metodología que se utiliza y también el valor que se da a los objetos allí conservados, caso contrario con las colecciones biológicas, donde la importancia está en varios especímenes, que a su vez son similares, los cuales permiten construir la variabilidad de alguna especie, por lo cual lo único que los hace similares es la manera de ingresar, registrar y catalogar las muestras (Simmons J.E. citado en Gonzales N., 2019).

Además de la promoción, protección, los recursos físicos y financieros del capital natural, deben cumplir con la función de atraer al público en donde se destacan colegios, universidades y personas interesadas (que trabajen en el campo científico), permitiendo fomentar la educación en los museos (Londoño, Bdigital, 2017).

### **Colecciones biológicas**

Las colecciones biológicas son repositorios de especímenes de plantas, animales y otros organismos, conservados para su estudio y referencia. Estas colecciones han jugado un papel crucial en el avance de la Biología, la Ecología y otras ciencias relacionadas (Daston, L. et. al., 1998). Según Fiocruz, A (2013) las colecciones biológicas son un conjunto de organismos que se encuentran de manera organizada, permitiendo proporcionar datos acerca de una especie, como su origen geográfico, características, filogenia, métodos de conservación, entre otras.

En Biología las colecciones se determinan, como agrupaciones de individuos o partes de estos mismo las cuales serán implementadas posteriormente en investigaciones. Según Parra & Ortega (2013) estas tienen que estar regidas bajo lineamientos específicos de manejo, en orden y sistematizadas; Así mismo, las colecciones biológicas se deben manejar bajo una conservación preventiva, pues son todas las medidas que se deben de tomar para extender la vida útil de las mismas, permitiendo la representación del registro de cualquier especie en un lugar y tiempo determinado.

Dado lo anterior, el no utilizar las colecciones biológicas la vuelve inservibles, y el manejo inadecuado provoca que se dañen o disminuya la vida útil de los especímenes. Por su parte, los museos que albergan colecciones se les debe considerar como bibliotecas o fuentes de investigación irremplazables; debido a que, el daño en las mismas puede generar pérdidas irreparables del capital natural (Simmons J.E., 2005).

Por otra parte, existen 3 formas en las que se maneja la información en las colecciones biológicas, en primera instancia esta los ejemplares en seco los cuales se dividirán en: Categoría 1, en donde se agrupan, nidos de aves e insectos, pieles de mamíferos, reptiles y de aves, pieles montadas en taxidermia, invertebrados montados en alfileres; Categoría 2, huesos exceptuando fósiles, Categoría 3, caparazones de cangrejos, conchas y Categoría 4, minerales, piedras y fósiles.

En el caso de los ejemplares en liquido se encuentran las plantas y animales, enteros o en partes, preparaciones de tejidos en partes o enteras, también fósiles, minerales y piedras; y por último se manejará la documentación, la cual es la sección donde se pueden encontrar archivos en cinta, películas y papel además también se pueden encontrar documentos electrónicos (Universidad Autónoma de ciudad Juarez, 2016).

A continuación, se presenta una visión general de su historia, según Yoon (2009).

### ***Antigüedad y Edad Media***

Las primeras formas de colecciones biológicas se remontan a las antiguas civilizaciones de Egipto, Grecia y Roma, donde se recolectaban plantas y animales para su estudio y uso medicinal. Durante la edad media, los monjes, sacerdotes y estudiosos europeos comenzaron a recopilar plantas en jardines de monasterios para su uso en la medicina herbolaria.

### ***Renacimiento y la Era de los Descubrimientos***

El Renacimiento marcó el inicio de una recolección más sistemática de especímenes biológicos. Los naturalistas europeos, como Carl Linnaeus, desarrollaron sistemas de clasificación que facilitaron la organización de estas colecciones.

Las grandes exploraciones marítimas llevadas a cabo por europeos resultaron en la recolección de plantas, animales y otros organismos de todo el mundo. Los especímenes eran traídos de regreso a Europa y se integraban en colecciones de museos y jardines botánicos.

### ***Desarrollo de las Colecciones Biológicas***

Durante los siglos XIX y XX, se fundaron muchos de los museos y jardines botánicos más importantes del mundo, como el Museo de Historia Natural de Londres y el Jardín Botánico de Kew. Naturalistas como Charles Darwin y Alexander Van Humboldt realizaron expediciones científicas que enriquecieron significativamente las colecciones biológicas. Sus especímenes ayudaron a desarrollar teorías fundamentales, como la teoría de la evolución por selección natural. Las colecciones biológicas crecieron en número y tamaño, y su gestión se profesionalizó. Se establecieron métodos estandarizados para la recolección, preservación y catalogación de especímenes.

El avance de la tecnología, especialmente en Biología Molecular y Genética, permitió a los científicos estudiar los especímenes de nuevas maneras, mediante el análisis de ADN, lo cual aportó información valiosa sobre la biodiversidad y la evolución.

### ***Rol Actual de las Colecciones Biológicas***

Las colecciones biológicas son fundamentales para la conservación de la biodiversidad. Proporcionan un registro histórico de la vida en la Tierra y permiten el monitoreo de cambios en las poblaciones y ecosistemas. Siguen siendo una fuente invaluable de información para la investigación en taxonomía, ecología, biogeografía y otras disciplinas. Los especímenes pueden ser estudiados para entender mejor la evolución, la adaptación y las interacciones ecológicas.

Museos y jardines botánicos utilizan sus colecciones para educar al público sobre la biodiversidad y la importancia de su conservación. Con el avance de la tecnología digital, muchas colecciones están siendo digitalizadas, lo que facilita el acceso a investigadores y al público en general en todo el mundo.

Según Shaffer, Fisher y Davison (1998), existen diversas aplicaciones de las colecciones biológicas agrupadas en tres grandes grupos:

**Científica:** En primer lugar, nombraremos a la Taxonomía y Sistemática, debido a que las colecciones biológicas permiten la identificación y clasificación de nuevas especies. Ayudan a clarificar relaciones evolutivas entre diferentes organismos. En consecuencia, la Biogeografía, puesto que facilitan el estudio de la distribución geográfica de las especies a lo largo del tiempo. Además, permiten rastrear cambios en la distribución de las especies debido a factores como el

cambio climático. Así mismo, la Ecología y Evolución, resultan involucradas, ya que las colecciones proporcionan datos para estudiar las interacciones entre especies y su entorno.

También, ayudan a entender los procesos evolutivos a través del análisis de especímenes antiguos y modernos. Finalmente, Biología Molecular y Genética, pues permiten el análisis de ADN y otros materiales genéticos, proporcionando información sobre la variabilidad genética y las relaciones filogenéticas. Ayudando en la identificación de genes responsables de características específicas y enfermedades.

Conservación: Las colecciones biológicas sirven como referencia para monitorear cambios en la biodiversidad a lo largo del tiempo. Permiten identificar especies en peligro de extinción y a desarrollar estrategias de conservación.

Proporcionan información sobre la composición original de los ecosistemas, lo que es crucial para los esfuerzos de restauración. Posibilita la identificación de especies clave y sus roles en los ecosistemas. Se utilizan para evaluar el impacto de actividades humanas en la biodiversidad, con el fin de desarrollar políticas y medidas para mitigar el impacto ambiental.

Educación Científica: Las colecciones biológicas son recursos valiosos para la educación en biología y otras ciencias naturales. Proporcionan material de estudio para estudiantes y científicos en formación. Los museos y jardines botánicos utilizan sus colecciones para educar al público sobre la biodiversidad y la importancia de su conservación. Las exposiciones y actividades educativas ayudan a aumentar la conciencia sobre temas ambientales y de conservación.

Finalmente, la digitalización de las colecciones biológicas facilita el acceso a estos recursos por parte de investigadores y el público en general. Las bases de datos digitales permiten el análisis y la comparación de especímenes de diferentes partes del mundo.

## **Colecciones Biológicas de Aves y Artrópodos del MHN**

Las colecciones biológicas de aves e insectos son fundamentales para la investigación científica, la conservación de la biodiversidad y la educación. Estas colecciones albergan especímenes que proporcionan datos esenciales sobre la diversidad, distribución, ecología y evolución de estas especies. A continuación, se describen las características, la importancia y los desafíos asociados con las colecciones biológicas de aves e insectos, junto con una bibliografía relevante.

En cuanto a los especímenes, las colecciones de aves incluyen pieles, esqueletos, huevos, nidos y especímenes en fluidos. Los especímenes son cuidadosamente preparados para su conservación a largo plazo. Las pieles de aves se montan en posiciones naturales o se preparan como "pieles de estudio". Cada espécimen va acompañado de datos detallados sobre su recolección, como la fecha, el lugar, el recolector y el hábitat.

Las colecciones de aves son esenciales para la identificación y clasificación de especies, así como para estudios filogenéticos. Proporcionan información importante, sobre la distribución histórica y actual de las especies, lo que es vital para los esfuerzos de conservación. Permiten estudios sobre la ecología y el comportamiento de las aves, incluyendo cambios en la morfología y patrones migratorios.

Uno de los desafíos para el mantenimiento de las colecciones de aves es el control ambiental riguroso para evitar daños por plagas, humedad y luz. La digitalización de las colecciones facilita el acceso a los datos y la colaboración entre instituciones, pero es un proceso costoso y laborioso.

Los individuos de las colecciones de insectos incluyen ejemplares montados en alfileres, en alcohol, o en portaobjetos para microscopía. Las colecciones de insectos son increíblemente

diversas, reflejando la vasta variedad de formas, tamaños y hábitos de vida de estos organismos. Cada espécimen está acompañado de etiquetas con información sobre su recolección, incluyendo detalles sobre el lugar, la fecha y el recolector.

Las colecciones de insectos son cruciales para el estudio de la biodiversidad, ya que los insectos constituyen el grupo más diverso de organismos en la Tierra. Proporcionan datos sobre la ecología, la biogeografía y la evolución de los insectos. Son fundamentales para la identificación y control de plagas agrícolas y vectores de enfermedades.

Los especímenes de insectos son vulnerables al daño por plagas como escarabajos y hongos, y requieren condiciones de almacenamiento controladas, por lo que se requiere mejorar la accesibilidad y el intercambio de datos entre colecciones, aunque es un desafío continuo que implica esfuerzos de digitalización y estandarización de datos.

### **Causas del Deterioro de las Colecciones Biológicas**

Las colecciones resultan indispensables, ya que son las agrupaciones de individuos o partes de estos, las que se implementen posteriormente en investigaciones. Según Parra & Ortega (2013) estas tienen que estar regidas bajo lineamientos específicos de manejo, en orden y sistematizadas; así mismo, las colecciones biológicas se deben manejar bajo una conservación preventiva, pues son todas las medidas que se deben de tomar para extender la vida útil de las colecciones, lo que permite la representación del registro de cualquier especie en un lugar y tiempo determinado.

Existen tres formas en las que se maneja la información en las colecciones biológicas, en primera instancia esta los ejemplares en seco los cuales se dividirán en: Categoría 1; nidos de aves e insectos, pieles de mamíferos, reptiles y de aves, pieles montadas en taxidermia, invertebrados montados en alfileres, Categoría 2; huesos exceptuando fósiles, Categoría 3;

caparazones de cangrejos, conchas y Categoría 4; minerales, piedras y fósiles. En el caso de los ejemplares en líquido, se tendrán en cuenta las plantas y animales, enteros o en partes, preparaciones de tejidos, también fósiles. Por último, se manejará la documentación, la cual es la sección donde se pueden encontrar archivos en cinta, películas y papel además también se pueden encontrar documentos electrónicos (Universidad Autónoma de ciudad Juarez, 2016).

Por lo anterior, en este documento se abordará los diversos factores que pueden afectar, en especial, las colecciones de insectos y aves. Según Williams & Hawks (1987), existen diversos agentes que inciden en el deterioro de las colecciones. A continuación, se presentan las principales causas que los autores mencionan y que se consideran inciden en la colección del MHN.

### ***Causas Físicas***

Fluctuaciones en la temperatura y la humedad pueden causar daños físicos a los especímenes, como el agrietamiento y la deformación. Por otro lado, la alta humedad puede favorecer el crecimiento de moho y hongos. La exposición prolongada a la luz, especialmente a la luz ultravioleta, puede provocar la decoloración y degradación de los especímenes. La luz también puede acelerar el deterioro de materiales orgánicos.

### ***Causas Biológicas***

Insectos como escarabajos y polillas pueden causar daños significativos a las colecciones, especialmente a los especímenes de plantas y animales. Las plagas pueden consumir y destruir tejidos orgánicos.

Las condiciones de alta humedad pueden fomentar el crecimiento de hongos y bacterias, que degradan los materiales orgánicos. Los hongos pueden descomponer las fibras de los especímenes, debilitándolos y haciéndolos más frágiles.

### *Causas Químicas*

Los contaminantes como el dióxido de azufre, el ozono y otros compuestos químicos pueden reaccionar con los materiales de los especímenes, provocando su degradación. La contaminación atmosférica puede acelerar la oxidación y otros procesos químicos que deterioran los especímenes.

Algunos productos químicos utilizados en la conservación y preservación de especímenes pueden, con el tiempo, causar daños. Por ejemplo, los productos basados en formaldehído pueden volverse inestables y dañinos. La exposición prolongada a ciertos químicos puede hacer que los especímenes se vuelvan quebradizos o se degraden.

### *Causas Antrópicas*

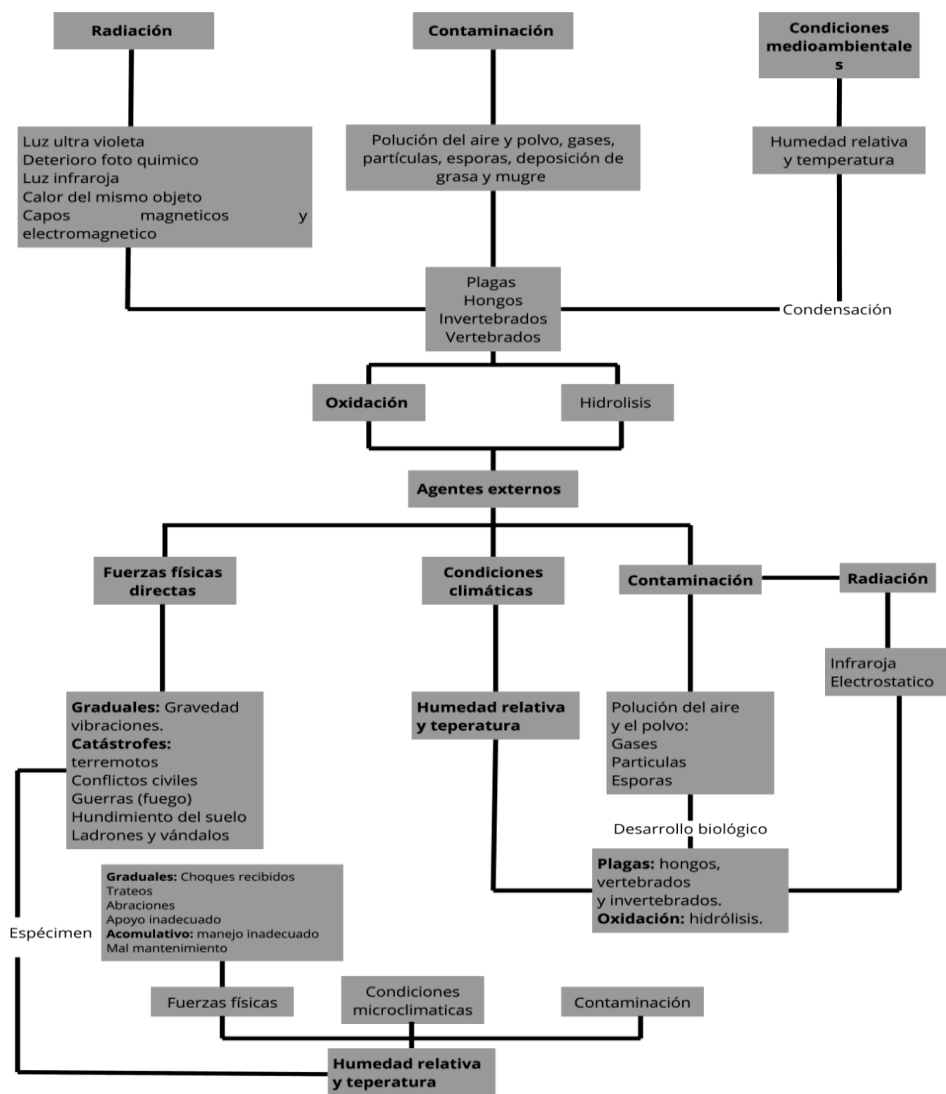
El manejo incorrecto de los especímenes durante su transporte o manipulación puede causar daños físicos. La falta de formación y protocolos adecuados para el manejo de las colecciones puede resultar en daños accidentales.

**Almacenamiento Inadecuado:** La falta de almacenamiento adecuado, como la utilización de materiales poco adecuados o la falta de control de condiciones ambientales, puede acelerar el deterioro de los especímenes. El almacenamiento en condiciones inadecuadas puede facilitar la invasión de plagas y la exposición a contaminantes.

Dado lo anterior, las colecciones tienen deterioro durante la manipulación, mantenimiento o almacenamiento, exhibición o transporte; donde pueden presentar accidentes;

donde agentes específicos, intrínsecos o extrínsecos llegan a actuar; resaltando los agentes físicos (negligencia, accidentes o desastres y condiciones ambientales inadecuadas como humedad, temperatura e iluminación incorrectas) y agentes biológicos (alteraciones producidas por bacterias, mohos u hongos, insectos, aves, roedores o vegetación), no obstante, también existen factores químicos que pueden llegar a afectar las estructuras de las colecciones (Bernal & Ramírez, 2005). Otros agentes que afectan las colecciones en seco se relacionan en la Figura 1.

**Figura 2**  
*Flujograma agentes oxidantes*



*Nota.* Flujograma de posibles agentes oxidantes presentes en una colección biológica.

## **Agentes biológicos contaminantes: Hongos**

Los hongos presentan características generales como, una pared celular conformada por quitina, núcleo, orgánulos rodeados por membrana la cual es igual a las características que definen a los eucariontes, además, dentro del núcleo se encuentran uno o dos nucleolos pequeños y varios cromosomas (Deacon, 2006). No obstante, los hongos necesitan de carbohidratos complejos, los cuales a su vez hacen de fuente de energía, pues no tienen la capacidad de realizar fotosíntesis, ni de fijar carbón, por lo tanto, son heterótrofos. Son quimiorganotrofos, ya que necesitan compuestos orgánicos preformados como fuente de energía, asimismo, se nutren por medio de la absorción, siendo este el resultado de la degradación de compuestos complejos donde se encargan las exoenzimas que posteriormente se liberan al medio (Carpero, J. et al, 2005) lo que les permite utilizar demasiados tipos de sustrato como nutrientes y fuentes de energía. De esta manera, Carpero et. al. (2005) propone que “Debido a esta característica los hongos intervienen de forma activa en los ciclos del carbono y el nitrógeno y, por ende, en el reciclaje de nutrientes” (P.24). Por otra parte, es importante mencionar que algunos de estos organismos pueden ser facultativos, es decir, pueden utilizar otras moléculas como receptores de electrones.

### ***Microhongos***

Los microhongos son un grupo diverso de organismos que incluyen mohos, levaduras y hongos filamentosos. Son de gran importancia ecológica, económica y médica debido a su papel en la descomposición, producción de alimentos y bebidas, y enfermedades en plantas y animales.

### **Estructuras microscópicas.**

Los hongos filamentosos poseen una estructura básica la cual se llama hifa, esta es una estructura tubular que se ramifica a medida que el hongo crece en forma apical. El conjunto de las hifas que produce un hongo se conoce como micelio; el cual posee características

microscópicas y macroscópicas, las cuales son más evidentes cuando se forman en un medio de cultivo, por lo tanto, son bastante útiles, al momento de identificarlos. Otra característica microscópica que poseen, son los propágulos, encargados de dar color a una colonia (Cepero et. Al., 2012). En cuanto al color, las hifas pueden ser incoloras o hialinas (oscuras o dematiáceas), donde el color se debe a la presencia de melanina en la pared.

Por otra parte, las medidas, como el diámetro o el área alcanzada en el cultivo y la presencia o no de septos en las hifas (Cepero et. Al. 2012), permiten clasificarlos. Deacon (2006) menciona que pueden poseer diámetros diferentes, pudiendo ser delgadas de 2 a 6  $\mu\text{m}$  y anchas con 7  $\mu\text{m}$  de diámetro, dependiendo de la formación de las paredes transversales de la hifa en segmentos. Estos se pueden dividir en hifas regularmente septadas en los filos *Ascomycota* y *Basidiomycota*, o cenocíticas en el filo *Chytridiomycota*, *Glomeromycota* y *Mucoromycota*, entre otros.

#### *Septos.*

Los septos tienen una apariencia de pared con formas transversales, desarrollados por el crecimiento centrípeto de la pared celular, las cuales dividen las hifas y dan origen al micelio septado; además, algunos de los grupos de hongos se conocen como cenocitos, debido a que solo producen septos en la base del celular reproductoras, esto con el fin de separar la parte senescente del micelio y aislar esta sección. Presentan un rompimiento, con el fin de evitar la pérdida de protoplasma (Webster & Weber, 2007).

El septo posee poros y aberturas que permiten el paso de citoplasma con las células adyacentes, no obstante, existen varios tipos de septos y cada uno posee una característica propia de un grupo taxonómico. Dado lo anterior, Dianese y Zambrano (2017) mencionan que los hongos poseen un septo simple, el cual representa a los *Ascomycotas*, y en fases sexuales este agrupa hongos como los *Conidiales*, *Mitospóricos*, *Anamórficos* o *Deuteromycetes*; así mismo, se caracterizan por presentar un poro en el centro por el cual circula el contenido citoplasmático.

El septo doliporo se presenta en muchos hongos del filo *Basidiomycota*, donde autores

como Deacon (2006) y Dianase & Zambrano (2017), sostienen que las características más representativas de estos, donde destacan el poro septal ubicado en ambos lados del hongo, el engrosamiento en forma de anillo, el cual está cubierto por una membrana especializada denominadas parenteosomas, los cuales se pueden presentar en capuchones simples o en capuchones con extensiones tubulares.

#### *Microtúbulos.*

Roberson et al. (2010) describe estos orgánulos de la siguiente manera:

Los microtúbulos se encuentran en el citoesqueleto de las células fúngicas. Son estructuras tubulares formadas por heterodímeros de  $\beta$ -tubulina, que al ensamblarse extremo con extremo forman trece protofilamentos paralelos conectados lateralmente, constituyendo un cilindro hueco no flexible de 20-24 nm de diámetro. Los microtúbulos presentan un rango de longitud de 0,1 a 20  $\mu\text{m}$  y están dispersos en el citoplasma: en la región subapical están orientados principalmente de forma paralela a la dirección longitudinal de la hifa y de las gemaciones, en el caso de las levaduras; en la región central del citoplasma tienden a concentrarse en mazas o formar uniones entre microtúbulos cercanos creando una red flexible. Los microtúbulos que se encuentran en las células de los hongos son considerablemente más pequeños de lo que ocurren en las células de los animales (p.123).

#### *Microfilamentos.*

Los microfilamentos, como los microtúbulos forman el citoesqueleto, están compuestos por actina, que es una proteína contráctil. Los filamentos de actina tienen un diámetro aproximado de 7 nm. La observación con microscopía electrónica es difícil porque es un polímero que no se conserva en las condiciones necesarias para la preparación del montaje; sin embargo, imágenes de los microfilamentos revelan que estos pueden presentar varios arreglos,

incluyendo agrupaciones o manchas corticales, cables longitudinales y anillos contráctiles, asociados con la formación del septo (Roberson, et al., 2010).

### **Clasificación de los Hongos**

El reino *Fungi* abarca una amplia diversidad de organismos, que desempeñan roles cruciales en numerosos ecosistemas. Actualmente, se reconocen 7 phylas; *Microsporidia*, *Blastocladiomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Chytridiomycota*, *Glomeromycota*, *Ascomycota* y *Basidiomycota*, clasificación obtenida a partir de investigaciones en sistemática fúngica molecular (Jiménez, H. 2017). Sin embargo, para efectos de esta investigación ampliaremos información referente al *phylum Ascomycota* y dos subphulim *Mucoromycota* y *Deuteromycetes*, identificados en la contaminación de colecciones biológicas.

### ***Ascomycota***

También llamados hongos ascomicetos, es uno de los grupos más grandes y diversos dentro del reino *Fungi*. Comprende aproximadamente el 75% de todas las especies de hongos conocidas, constituyen un grupo sumamente diverso, encontrándose en una amplia gama de ambientes, como agua salada, dulce, suelos y en todos los climas. Tienen aplicaciones ecológicas tanto como saprófitos como patógenos de plantas y animales. Sus hifas son septadas y tienen un promedio de 2.5  $\mu\text{m}$  de ancho, con micelio septado y una pared celular compuesta de quitina y glucano (Jiménez, H. 2017).

### **Reproducción**

La reproducción asexual en los Ascomicetos se realiza mediante la producción de conidios, que son esporas asexuales formadas en estructuras especializadas llamadas

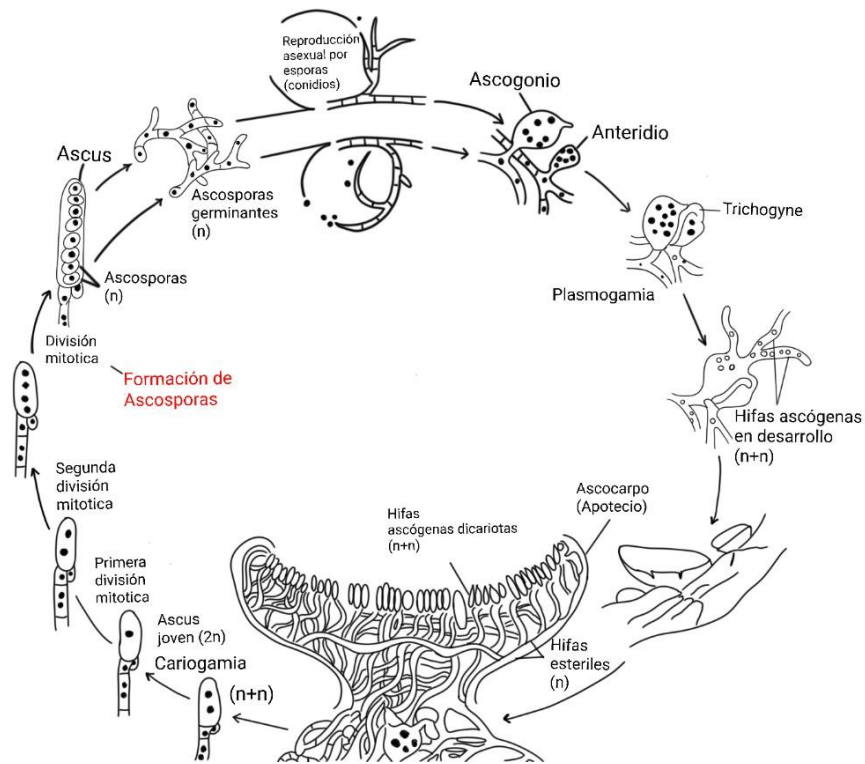
conidióforos (Deacon, 2005). La reproducción sexual se caracteriza por la formación de ascos, estructuras en forma de saco que contienen ascosporas. Los ascos generalmente se encuentran en cuerpos fructíferos llamados ascocarpos (o ascomas), que pueden tener formas diversas como peritecios, cleistotecios y apotecios (Carlile, M. et, al. 2001).

Para su identificación, las estructuras reproductivas son clave. En su fase sexual, conocida como telomorfo, forman ascosporas dentro de un asco. Estas ascosporas pueden encontrarse en estructuras reproductivas como peritecios (clase Sordariomycetes), cleistotecios (clase Eurotiomycetes) y apotecios (clase Pezizomycetes). En la fase asexual, denominada anamorfo, producen conidios, los cuales pertenecen al taxón de forma Deuteromycetes. La identificación de estos microhongos, incluso a nivel de especie, puede lograrse observando sus estructuras reproductivas y el origen de los conidios, ya sea enteroblástico o fialídico, así como su forma, tamaño y color (Jiménez, H. 2017).

### **Ciclo de Vida**

El ciclo de vida de los ascomicetos incluye fases haploides y diploides, con la formación de ascosporas resultantes de la meiosis dentro de los ascos. Estas ascosporas germinan para formar nuevas hifas haploides, completando el ciclo (Kavanagh, K. 2005).

**Figura 3**  
Ciclo de Vida Ascomycota



### ***Mucoromycota***

*Mucoromycota* es un grupo diverso de hongos que incluye varios géneros importantes tanto desde el punto de vista ecológico como económico. Habitan principalmente en el suelo, por lo que desarrollaron adaptaciones biológicas en la descomposición de materia orgánica compleja como carbohidratos, proteínas y lípidos, reciclando nutrientes esenciales en este habitat (Benny G, 2006).

En realidad pertenecen al filo *Glomeromycota*, nominándose Subphylum *Mucoromycotina*, como argumenta Jiménez (2017), “Incluye a los hongos de formación de esporangiosporas a partir de un esporangio originado en un espongióforo cuyos representantes más conocidos son *Mucor* sp., *Rhizopus* sp., *Zygorrhynchus* sp. y *Absidia* sp. los *Mucoromycota*, anteriormente conocidos como *Zygomycota*, son un grupo de hongos caracterizados por su

micelio no tabicado y la formación de zigosporas como parte de su ciclo de vida sexual. Incluyen hongos como *Mucor*, *Rhizopus* y *Absidia*, algunos de los cuales son saprobios y se encuentran en descomposición de materia orgánica, mientras que otros pueden ser patógenos de plantas, animales e incluso humanos”.

## Reproducción

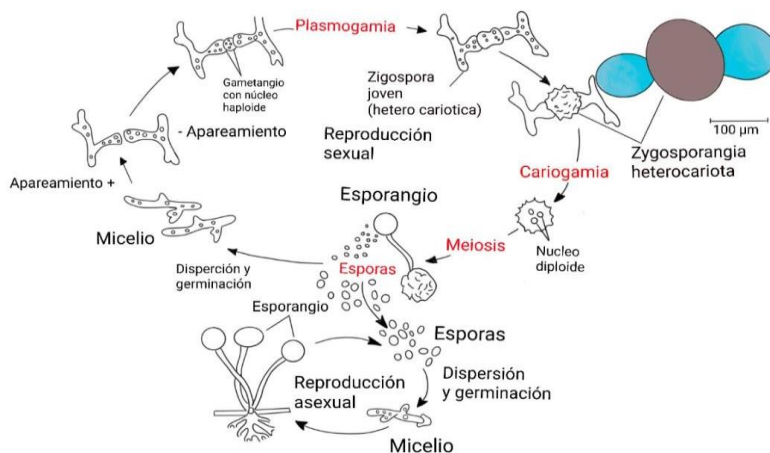
La reproducción asexual se realiza principalmente a través de la formación de esporangios, que producen esporangiosporas. La reproducción sexual implica la formación de zigosporas, que son esporas gruesas y resistentes resultantes de la fusión de gametangios (Spatafora, J. W., et al. 2016).

## Ciclo de Vida

El ciclo de vida de los *Mucoromycota* incluye fases asexuales y sexuales. Las esporangiosporas germinan para formar un micelio cenocítico, y bajo condiciones desfavorables, los hongos pueden formar zigosporas sexuales para sobrevivir hasta que las condiciones mejoren (Alexopoulos, C. et al.1996).

**Figura 4**

Ciclo de vida de *Mucoromycota*



*Nota.* Diagramación propia

## *Deuteromycetes*

Los *Deuteromycetes*, también conocidos como hongos imperfectos, constituyen un grupo de hongos debido a la falta de una fase sexual observada. Este grupo se caracteriza por su reproducción asexual a través de la formación de conidios, y su clasificación se basa principalmente en características morfológicas y de desarrollo de sus estructuras reproductivas asexuales (Ainsworth, G., et al. 1995).

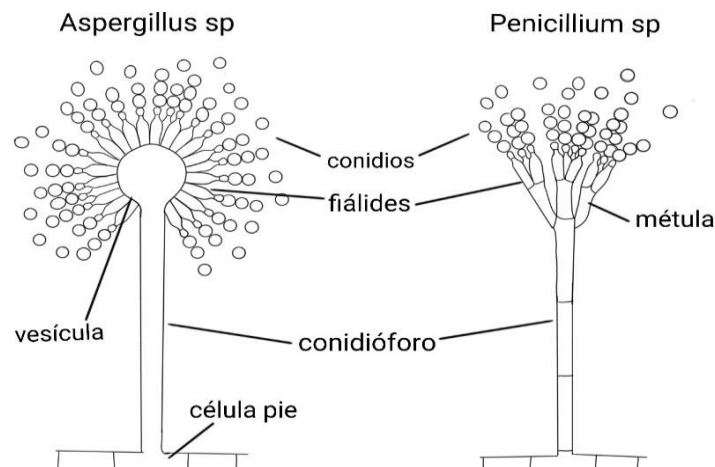
Desempeñan, un papel importante, en la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes en los ecosistemas. Algunos son patógenos importantes de plantas, animales y humanos. Ejemplos incluyen *Fusarium*, que causa enfermedades en cultivos, y *Candida*, que causa infecciones en humanos (Webster, J., et al. 2007).

### **Reproducción.**

Predominantemente se reproducen asexualmente mediante conidios. La forma y disposición de los conidios y conidióforos son clave para la identificación de las especies. No se ha observado una fase sexual en estos hongos, lo que ha llevado a su denominación como "hongos imperfectos" (Kendrick, B. 2000).

### **Figura 5**

*Estructuras de microhongos*



## **Protocolo de Conservación de Colecciones Biológicas**

La conservación de colecciones biológicas es esencial para mantener su integridad y valor científico a largo plazo. Estas colecciones incluyen especímenes de plantas, animales y otros organismos, y son fundamentales para la investigación, la educación y la conservación de la biodiversidad. A continuación, se describe los elementos que se tuvieron en cuenta para la elaboración del protocolo de conservación de colecciones biológicas del MHN, sugerido por National Park Service, (2000), abordando aspectos clave como el almacenamiento, el control ambiental, el manejo y la digitalización.

### ***Almacenamiento***

Utilizar contenedores de almacenamiento adecuados, como frascos de vidrio con tapas herméticas para especímenes en fluidos, y cajas de cartón sin ácido para especímenes secos. Las etiquetas deben estar hechas de materiales resistentes al agua y a los productos químicos, con información clara y legible. Estanterías y gabinetes deben ser de metal o materiales no reactivos para evitar la degradación de los especímenes. Los gabinetes deben ser cerrados y sellados para evitar la entrada de polvo y plagas.

### ***Control Ambiental***

Mantener una temperatura constante de aproximadamente 18-22°C y una humedad relativa de 45-55% para la mayoría de los especímenes, teniendo en cuenta la ubicación geográfica del museo. Monitorear constantemente las condiciones ambientales con sensores y registradores de datos. Minimizar la exposición a la luz natural y artificial, ya que puede causar decoloración y degradación de los especímenes. Utilizar iluminación con filtros UV. Implementar un programa de control integrado de plagas (IPM) que incluya inspecciones regulares, trampas y tratamiento preventivo.

### ***Manejo y Manipulación***

Capacitar al personal en el manejo adecuado de los especímenes, utilizando guantes y

herramientas apropiadas. Registrar todos los movimientos de especímenes dentro y fuera de la colección en un sistema de gestión de datos.

### ***Mantenimiento y Limpieza***

Limpiar regularmente los espacios de almacenamiento y exposición para prevenir la acumulación de polvo y otros contaminantes. Inspeccionar los especímenes periódicamente para detectar signos de deterioro y tomar medidas correctivas de inmediato.

### ***Restauración y Conservación***

Evaluar el estado de conservación de los especímenes y aplicar tratamientos de conservación según sea necesario, como la consolidación de materiales frágiles o la desinfección de especímenes infestados. Documentar todas las intervenciones de conservación, incluyendo los materiales y métodos utilizados, para mantener un registro detallado del historial de cada espécimen.

### ***Digitalización y Acceso***

Digitalizar los especímenes utilizando cámaras de alta resolución y escáneres 3D para crear réplicas digitales precisas. Asociar los datos digitales con la información de los especímenes en una base de datos accesible y bien organizada.

### ***Acceso y Uso***

Facilitar el acceso a las colecciones digitales para investigadores, educadores y el público en general, respetando las políticas de préstamo y uso. Promover el uso de las colecciones a través de colaboraciones con instituciones educativas y de investigación.

### ***Normativas y Buenas Prácticas***

Desarrollar y mantener políticas claras y actualizadas sobre la conservación de colecciones, siguiendo las recomendaciones de organizaciones como la Sociedad para la Conservación de las Colecciones de Historia Natural (SPNHC). Ofrecer programas de capacitación continua para el personal de conservación, incluyendo talleres y cursos sobre las últimas técnicas y metodologías en conservación de colecciones.

## **Antecedentes**

A continuación, se presentan diferentes investigaciones desde el campo internacional, nacional y local relacionadas con el problema de investigación, biodegradación, aislamiento de micro hongos e importancia de las colecciones vivas de los museos como categorías principales del presente estudio.

Para establecer los antecedentes del presente ejercicio investigativo se consultaron buscadores de fuentes académicas como Scielo, Google Académico. En total se revisaron 4 trabajos a nivel internacional y 8 a nivel nacional o local.

### **Antecedentes Internacionales**

A continuación, se presentan aportes de estudios en la materia a nivel internacional. “Protocolos de conservación y restauración aplicables a la colección de aves y mamíferos naturalizados del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCM-CSIC)” Gil, R. (2016). Universidad Complutense de Madrid, España.

Este estudio es realizado en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCN-CSIC) enfocándose en la conservación y restauración de la colección de aves y mamíferos, que comprende aproximadamente 57,000 especímenes de diversas formas de preparación, desde pieles hasta especímenes montados. La investigación evidencia, los múltiples desafíos que enfrentan estas colecciones, a lo largo de los años, incluyendo la falta de espacio adecuado y asignación económica para su preservación, lo que ha resultado en deterioros significativos. Los especímenes destinados a exposición presentan una estructura compleja y una variedad de materiales, lo que supone dificultades técnicas para su conservación integral. Esta investigación se centra en la identificación de criterios museísticos y de conservación que permitan establecer protocolos de actuación para preservar y recuperar estas colecciones, complementando

así los esfuerzos previos de restauración realizados por la institución.

El objetivo general del estudio en mención es investigar las características físicas de los especímenes y las metodologías utilizadas en su preparación, con el fin de establecer pautas de conservación y recuperación. Para lograr este objetivo, se empleó una metodología que combinó un estudio general de colecciones naturalizadas en España y áreas de influencia colonial con un análisis detallado de los especímenes alojados en el MNCN. Se recopiló información sobre técnicas de naturalización, métodos de conservación y restauración, y se realizan estudios científicos para comprender la morfología y los materiales constituyentes de los especímenes.

Los resultados obtenidos de este estudio en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCN-CSIC) destacan varios aspectos clave para la preservación de las colecciones de aves y mamíferos. En primer lugar, se ha identificado la importancia de comprender la historia de la taxidermia y las técnicas de preparación empleadas a lo largo del tiempo. Esta comprensión es muy importante para documentar correctamente los especímenes, datarlos y realizar intervenciones de conservación respetando su historicidad. Además, se ha destacado la necesidad de conocer a fondo la morfología, comportamiento y hábitos de las especies representadas en la colección, lo que ayuda a evitar malas interpretaciones durante las intervenciones de conservación y restauración.

Otro aspecto relevante de los resultados es el análisis de los materiales constituyentes de las naturalizaciones. Este análisis proporciona información clave sobre el comportamiento de los especímenes frente a los agentes de deterioro y permite abordar de manera adecuada las tareas de conservación. Se ha observado que algunos especímenes poseen sustancias tóxicas para el organismo, lo que resalta la importancia de medidas de control y protección durante la manipulación y exposición de las piezas.

“Investigación y conservación de la biodiversidad en Perú: importancia del uso de técnicas modernas y procedimientos administrativos eficientes” Von May, R. *et al.* (2012). Universidad

Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

En esta investigación se demuestra la importancia de emplear secuencias de ADN en los estudios de biodiversidad y la necesidad de transformar los procedimientos administrativos relacionados con las investigaciones de biodiversidad en Perú. La acelerada pérdida de biodiversidad y recursos naturales en este país justifica la urgencia de respaldar investigaciones que ayuden a identificar, describir y caracterizar la biodiversidad lo más rápido posible, facilitando así la adopción de medidas adecuadas de conservación y mitigación. Se enfatiza en el uso de técnicas y prácticas modernas en el ámbito de una taxonomía integradora, que incluye el estudio de procesos evolutivos en regiones de alto endemismo y diversidad, del mismo modo, que incorpora los efectos del cambio climático en la biodiversidad peruana.

En consecuencia, recalca la importancia de evaluar planes, solicitudes y requisitos relacionados con investigaciones de biodiversidad en Perú por parte de las entidades gubernamentales responsables para que reconozcan y respalden el enfoque de la taxonomía integradora. Por otra parte, destaca las técnicas modernas dentro de este enfoque, junto con procedimientos administrativos eficientes, que puede convertirse en la mejor herramienta para proteger la biodiversidad peruana y otros territorios.

Del mismo modo, expone como en el ámbito de la biodiversidad, este análisis es fundamental para identificar especies nuevas, especialmente especies crípticas, que debido a su similitud morfológica con otras especies conocidas no han sido reconocidas como entidades taxonómicas diferentes. Además, ayuda a detectar especies endémicas y variedades únicas, con distribuciones geográficas restringidas.

Los autores, también enfatizan que estas investigaciones han aumentado el conocimiento sobre la diversidad biológica en Perú, en la última década, gracias al incremento en investigaciones, colaboraciones internacionales y el uso de herramientas modernas como sistemas de información geográfica y análisis filogenéticos. Sin embargo, aún existen vacíos de

información que requieren más exploración, especialmente en áreas de alta diversidad y endemismo.

Concluyen afirmando que es fundamental que en un país megadiverso como Perú se reconozca y apoye la investigación que incorpora el enfoque de la taxonomía integradora. Esto, junto con una mejora en los procedimientos administrativos, puede contribuir significativamente a la conservación de la biodiversidad peruana.

“Riesgos en la Manipulación de Colecciones de Historia Natural” Santos, C. M. *et al.* (2013). Unesco. España.

En este análisis, se estudió la manipulación de especímenes de colecciones de historia natural desde dos perspectivas distintas pero complementarias. La primera, consiste en la necesidad de manipular objetos de historia natural, ya sea durante labores habituales y rutinarias de preservación y mantenimiento o durante su uso científico y educativo, implica un riesgo inherente tanto para los propios ejemplares como para las personas que los manipulan. Es fundamental abordar de manera concisa los dos tipos de riesgos: aquellos que afectan a los ejemplares y los que pueden afectar a las personas, así como discutir formas de prevenir o minimizar estos riesgos.

Este trabajo aporta a esta investigación, aspectos metodológicos relacionados con los objetos de historia natural, aunque requieren ser manipulados para su preservación y uso, también pueden representar una amenaza si no se manejan correctamente. Desde especímenes frágiles hasta objetos potencialmente peligrosos, como ciertos venenos o materiales biológicos, la manipulación inadecuada puede causar daños irreparables tanto a los ejemplares como a quienes los manipulan.

Finalmente, muestra la necesidad de establecer normas y procedimientos de seguridad claros para minimizar los riesgos asociados con la manipulación de colecciones de historia natural. Esto incluye capacitación adecuada para el personal, el uso de equipos de protección

personal cuando sea necesario y el desarrollo de protocolos específicos para el manejo de objetos delicados o potencialmente peligrosos.

“Técnicas de colecta y preservación de insectos” Márquez, J. M. (2005). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.

Esta investigación da cuenta del estudio detallado de los insectos, que resulta fundamental para comprender su papel en los ecosistemas y su interacción con otros organismos. Proporciona elementos metodológicos para la colecta y preservación de insectos de colecciones. Actividades y directrices que permiten la construcción de colecciones entomológicas, que son invaluable recurso para la investigación científica y la educación. Plantea dilemas éticos sobre la necesidad de sacrificar organismos para su estudio y la importancia de garantizar un tratamiento respetuoso y adecuado a los ejemplares colectados.

El trabajo en mención, tuvo como objetivo principal hacer accesible al público en general, y especialmente a los estudiantes de Biología, las principales técnicas de colecta y preservación de insectos. En México, la información sobre este tema con un enfoque exclusivo para el grupo de insectos es limitada o poco accesible. Por lo tanto, se pretendió llenar este vacío proporcionando ejemplos e ilustraciones que faciliten la comprensión y aplicación de estas técnicas.

Además de abordar las técnicas de colecta y preservación, se discutieron las razones detrás de estas actividades y se destacó la importancia de las colecciones entomológicas para la investigación científica y la conservación de la biodiversidad. Aunque existen otros temas relacionados, como el estudio de insectos en laboratorio, el marcaje y la fotografía científica, estos se dejaron fuera del alcance de este trabajo, reconociendo la necesidad de abordarlos en futuras investigaciones.

Los estudios presentados abordan diversos aspectos relacionados con la conservación y el estudio de la biodiversidad, señalando la importancia de entender los procesos de degradación de

material orgánico, la conservación de colecciones de historia natural, la aplicación de técnicas modernas en la taxonomía integradora y la manipulación segura de ejemplares. Desde la degradación de toxinas por hongos hasta la necesidad de mejorar los procedimientos administrativos en la investigación de biodiversidad, se menciona la importancia de un enfoque integral que combine la comprensión científica con la preservación efectiva de los recursos naturales, todo ello respaldado por una base de conocimientos técnicos y éticos en el estudio y conservación de la vida silvestre.

### **Antecedentes Nacionales**

Por otra parte, en Colombia se han desarrollado estudios afines a la materia objeto de estudio, cuya revisión reviste de especial importancia para el desarrollo del presente estudio, a continuación, se relacionan:

“Colecciones biológicas: una alternativa para los estudios de diversidad genética” Díaz *et al.* (2012)

Díaz *et al.* (2012) en su estudio abarcan la importancia del cuidado de las colecciones biológicas y la importancia que tienen para diversos estudios, más precisamente en la parte de diversidad genética; resaltando que las preservaciones de las colecciones presentan un gran potencial para la obtención de material genético, permitiendo que Colombia sea una de los epicentros de investigación genética por su gran diversidad.

“Colección biológica de insectos: de la recolección a la conservación” García, R. D. *et al.* (2022). Universidad Lasallista. Caldas, Colombia

García *et al.* (2022), en su estudio, se centraron en colecciones de historia natural en Colombia, resaltando la importancia de estos archivos históricos para la conservación de especies. Proporcionan una visión detallada de cómo las colecciones biológicas pueden ser herramientas esenciales en la investigación y conservación medioambiental, especialmente en el contexto de los museos de historia natural.

En particular, este estudio subraya el papel esencial de las colecciones entomológicas, destacando cómo estas pueden generar información valiosa sobre la diversidad de insectos en Colombia y su papel en los ecosistemas locales. Además, resalta los desafíos específicos que enfrentan las colecciones biológicas en Latinoamérica, como la falta de especialistas y los problemas económicos, lo cual puede ser relevante para comprender la situación de los museos de historia natural en Colombia.

Este análisis también destaca la importancia de la divulgación y valoración de las colecciones biológicas como parte del patrimonio regional y nacional, lo cual puede inspirar iniciativas para promover la conservación de especies en los museos de historia natural colombianos.

“Protocolo de Manejo de las Colecciones Biológicas de la Universidad Industrial de Santander”  
Arbeláez, E. *et al.* (2019). Universidad Industrial de Santander, Colombia.

Este trabajo muestra el Protocolo de Manejo de las Colecciones Biológicas de la Universidad Industrial de Santander (UIS) como pieza fundamental para la conservación y documentación de la biodiversidad en Colombia. Durante más de dos siglos, las colecciones biológicas han sido vitales para la documentación científica de la biodiversidad del planeta, y en Colombia, estas colecciones juegan un papel crucial en la generación de nuevo conocimiento sobre la fauna y flora del país.

El protocolo revela la importancia de las colecciones biológicas como herramientas esenciales para aumentar el conocimiento sobre la biodiversidad colombiana, proporcionando datos detallados sobre la distribución y características morfológicas de las especies. Además, subraya cómo estas colecciones permiten realizar identificaciones objetivas, visualizar cambios a largo plazo en la biología de las especies y verificar datos e información para garantizar la reproducibilidad en la investigación científica.

En el marco legal, el protocolo se articula con el Decreto 1375 de 2013 del Ministerio de

Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual reglamenta las colecciones biológicas en Colombia y establece estándares de curaduría y mantenimiento para preservar el valioso patrimonio nacional de biodiversidad. Es crucial que las instituciones, como la UIS, establezcan políticas claras de apoyo y destinen recursos financieros adecuados para mantener estas colecciones, evitando así la pérdida de material valioso y la información asociada.

En el caso específico de la UIS, las colecciones biológicas tienen una larga historia, comenzando con la fundación del Museo de Historia Natural en 1967 y continuando con la creación del Herbario en 1978, el Cepario y la colección de Tejidos entre 2018 y 2019. Estas colecciones, registradas y reconocidas por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, son parte del patrimonio nacional en biodiversidad y deben ser preservadas como tal.

El protocolo representa un referente para el manejo, curaduría y uso de las colecciones biológicas de la UIS, garantizando su conservación a largo plazo y su contribución continua al conocimiento científico y la conservación de la biodiversidad en Colombia.

“Protocolo para la Conservación y Zoo cría de tres especies de mariposas del género *Hamadryas*, (*H laodamia*, *H Februa* y *H Amphinome*) del Parque Nacional Tinigua, Vereda la Belleza en La Uribe - Meta” Castañeda, L. (2019). UNIMETA, Colombia.

La presente investigación aborda la importancia de conservar y proteger las poblaciones de mariposas en un área específica de Colombia. Este trabajo se enfoca en la elaboración de un protocolo destinado a preservar y criar tres especies de mariposas, destacando la relevancia de estas acciones en el contexto de la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de los ecosistemas locales.

La investigación resalta la necesidad de proteger la fauna silvestre, en este caso, las mariposas del género *Hamadryas*, que se encuentran en el Parque Nacional Natural Tinigua. Se identifica el riesgo de deforestación en esta área debido a actividades como la tala masiva, lo que

subraya la urgencia de implementar medidas de conservación para prevenir impactos negativos en el ecosistema.

El estudio se lleva a cabo utilizando la metodología de Investigación-Acción Participativa (IAP), lo que implica la participación activa de la comunidad local en el proceso de conservación. Esto no solo fortalece el sentido de pertenencia de la comunidad hacia sus recursos naturales, sino que también genera conciencia sobre la importancia de evitar prácticas como la fumigación con químicos, que pueden dañar el ecosistema.

Entre los resultados obtenidos, se destaca la caracterización de 19 especies de lepidópteros presentes en la Vereda La Belleza, lo que contribuye al conocimiento y la comprensión de la diversidad de mariposas en la región. Además, se realiza un seguimiento de los ciclos de vida de las tres especies de mariposas del género *Hamadryas*, lo que proporciona información valiosa sobre su biología y comportamiento.

Las conclusiones del estudio resaltan el impacto positivo de las acciones de conservación y zoocría en la comunidad local y el ecosistema en general. Se evidencia el aumento del sentido de pertenencia de la comunidad hacia sus recursos naturales y se destacan los beneficios ecológicos de la presencia de mariposas, como la polinización de plantas y su papel en la cadena alimentaria.

Las recomendaciones del estudio incluyeron medidas específicas para la zoocría de las especies estudiadas, así como la importancia de sembrar plantas hospederas endémicas para mantener la integridad del ecosistema. Además, se hizo hincapié en la necesidad de contar con elementos de protección personal adecuados durante el trabajo de campo para garantizar la seguridad de los investigadores y colaboradores.

“Protocolos para la Preservación y Manejo de Colecciones Biológicas” Mesa, D. P. & Bernal, A. A. (2005). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Boyacá, Colombia.

El estudio de Mesa, D. P. & Bernal, A. A. (2005) aborda la importancia clave de conservar y gestionar adecuadamente estas colecciones, que representan el patrimonio natural de una región o país. Las colecciones biológicas no solo son vitales para la comunidad científica, sino que también desempeñan un papel fundamental en la sociedad, contribuyendo a la salud humana y al monitoreo de cambios ambientales. Sin embargo, estas colecciones enfrentan diversos problemas de deterioro debido a agentes internos y externos, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias efectivas de preservación.

El trabajo recopila y revisa protocolos existentes para la preservación y manejo de colecciones biológicas, centrándose en la preservación preventiva como una herramienta clave para reducir el deterioro. Además, se lleva a cabo una práctica aplicada de estos protocolos en las instalaciones del Instituto Alexander Van Humboldt, lo que agrega una perspectiva práctica a la investigación.

Este estudio es esencial porque contribuye a llenar un vacío de información sobre la preservación y manejo de colecciones biológicas en el país, proporcionando bases teórico-prácticas para su adecuada conservación. Asimismo, se convierte en una valiosa fuente de consulta para cualquier colección biológica, promoviendo la protección del patrimonio natural histórico. Su enfoque en la preservación preventiva y la aplicación práctica de los protocolos lo convierten en un recurso invaluable para la comunidad científica y los gestores de colecciones biológicas.

“Protocolo para la formulación de planes de conservación y manejo de especies focales” Kattan, G. et al. (2005). Fundación EcoAndina. Cali, Colombia.

El protocolo para la formulación de planes de conservación y manejo de especies focales se enmarca en la necesidad de proteger la biodiversidad frente a amenazas como la reducción y fragmentación de poblaciones, la degradación del hábitat y la contaminación. Este protocolo surge como una herramienta de planificación que recopila el estado del conocimiento sobre la biología y conservación de especies, identifica amenazas y propone acciones para su protección, todo ello dentro de un contexto socio-político y económico.

En el contexto colombiano, este protocolo se alinea con la Política Nacional de Biodiversidad y el Plan de Acción Nacional en Biodiversidad, estableciendo acciones concretas para la conservación y manejo de especies. Se basa en una extensa consulta bibliográfica sobre planes de conservación a nivel mundial, presentando una propuesta estructurada para la elaboración de estos documentos, incluyendo los tipos de información necesarios y la forma de presentarla.

“Protocolo de conservación y manejo de las aves como base fundamental en el plan turístico del departamento del Vaupés” Guerrero, S. (2019). SENA, Mitú, Vaupés, Colombia.

El protocolo de conservación y manejo de aves desarrollado por Guerrero (2019) se centra en la promoción del Aviturismo como una fuente innovadora de ingresos en el departamento del Vaupés. Reconociendo la importancia de las aves en los ecosistemas y su relevancia cultural, económica y ambiental. Frente a las amenazas que enfrentan las aves, como la reducción de poblaciones y la degradación del hábitat, el Aviturismo se erige como una estrategia de conservación que busca prevenir la extinción de especies y mantener sus poblaciones saludables. Este protocolo busca ser una herramienta para iniciar actividades de Aviturismo en el Vaupés, aprovechando sus territorios de resguardos indígenas con áreas boscosas en estado de conservación. Identifica el potencial de estos ecosistemas como refugios

de fauna y propone actividades de bajo impacto para el ecosistema con repercusiones económicas positivas para el departamento.

“Curaduría y potencial de investigación de la colección Herpetológica del Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas, Manizales, Colombia” Serna, V & Ramírez, A. (2017). Caldas, Colombia.

La investigación se centra en la colección herpetológica del Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas, la cual ha sido parte fundamental en diversos estudios y procesos de enseñanza desde su creación en 1976. Sin embargo, a lo largo del tiempo, la preservación de esta colección se ha visto comprometida por varios factores. Por tanto, el objetivo del estudio fue mejorar las condiciones de almacenamiento de los especímenes de anfibios y reptiles, aplicando estándares nacionales de conservación preventiva. Se llevó a cabo la curaduría de los ejemplares, así como la actualización de información asociada en las bases de datos y catálogos físicos. Además, se evaluó el estado de la colección utilizando índices de salud y prioridades de gestión para colecciones biológicas. Se identificaron y curaron una gran cantidad de especímenes, lo que evidencia un potencial importante para promover actividades de educación e investigación científica, principalmente en la ecorregión andina de Colombia.

A pesar de ser una colección relativamente joven y de tamaño modesto, la colección herpetológica del Museo de Historia Natural de la Universidad de Caldas posee un valor científico significativo, especialmente en lo que respecta a la representatividad de la herpetofauna de los Andes centrales de Colombia, incluyendo la ecorregión cafetera. Esta colección ha sido crucial para la investigación regional, proporcionando datos valiosos sobre la diversidad de anfibios y reptiles en la zona. No obstante, se destaca la necesidad de continuar con

el mantenimiento y la curaduría de la colección para garantizar su calidad y precisión, así como para fomentar su uso en futuros estudios de biodiversidad en la región.

Los estudios revisados en Colombia comprenden diversos aspectos relacionados con la conservación y el manejo de colecciones biológicas y su importancia para la investigación científica y la conservación de la biodiversidad en el país. Resulta muy relevante estas colecciones como archivos históricos que documentan la diversidad genética y biológica, así como su papel en la generación de nuevo conocimiento sobre la fauna y flora colombianas. Además, se descubren los desafíos que enfrentan estas colecciones en Colombia, como la falta de especialistas y recursos económicos. A través de protocolos de manejo y conservación, se busca garantizar la preservación a largo plazo de estas valiosas colecciones, asegurando su contribución continua al conocimiento científico y la conservación de la biodiversidad en el país.

## **Planteamiento del problema de investigación**

Las colecciones biológicas son recursos vitales para la investigación científica, la educación y la conservación de la biodiversidad. Estas colecciones incluyen especímenes de plantas, animales, hongos y microorganismos, almacenados en museos, herbarios y otras instituciones. Sin embargo, estos valiosos recursos están afectados por diversos factores, entre los cuales se encuentran los microhongos.

La presencia de microhongos y/o sus diásporas en muestras biológicas de ámbito patrimonial, como los museos, son factores promotores de biodeterioro en las colecciones biológicas o bienes patrimoniales que se custodian. Se entiende por biodeterioro cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material a causa de la actividad vital de los organismos (Parfajt et al, 2020).

Los problemas de biodeterioro alcanzan gran importancia científica, educativa, cultural y económica cuando los sustratos colonizados pertenecen al patrimonio científico (Fazio et al., 2010), pues cabe resaltar, que como mencionan Simmons y Muñoz (2005) las colecciones biológicas permiten proporcionar datos acerca del origen de una especie, características generales, identificaciones de especímenes, filogenia de un grupo, etc. En ese sentido, las colecciones de los museos se exponen constantemente a diferentes tipos de agentes que deterioran la materia orgánica, resaltando que existen otros agentes que contribuyen a esta problemática como agentes físicos, químicos, biológicos e incluso humanos. Además, agentes como el oxígeno, el agua y la radiación pueden generar una degradación en los materiales de una manera más lenta, lo cual es difícil de documentar.

Los anteriores agentes, proporcionan las condiciones ambientales necesarias para la propagación y reproducción de microhongos que se nutren del material disecado, afectando de manera negativa y acelerando el deterioro de las colecciones biológicas a corto, mediano y largo plazo. Por lo tanto, los microhongos realizan la misma función que en sus ecosistemas, siendo

los mejores descomponedores de la materia. En el caso de las colecciones, no solo descomponen la materia orgánica, sino los metales como pinturas, papel, cartón, fotografías, textiles, cuero, plásticos, etc., que están relacionadas con el mismo material preservado.

En este marco, las muestras biológicas almacenadas y resguardadas en los museos no están exceptas del mismo proceso de descomposición, de acuerdo con Guiamet et al. (2010), este tipo de muestras pueden presentar daño físico, químico, biológico, inclusive estético debido a la propagación de poblaciones fugitivas, puesto que, las esporas que poseen tienen que caer en lugares húmedos, con temperaturas elevadas y con los suficientes nutrientes para crecer, así mismo, las esporas pueden encontrarse inactivas por largos periodos de tiempo, sin embargo, las condiciones cambiantes del ambiente, posibilitan la activación de los micelios inactivos, es decir y por colocar un ejemplo, una superficie húmeda, se convierte en el sustrato perfecto para la proliferación de los microhongos, propagándose por toda la colección contaminando otros especímenes y áreas de almacenamiento, ampliando el problema y generando un mayor deterioro en el tiempo (Simmons y Muñoz, 2005).

Según Borrego et al., 2010; Ardelean A. & Melniciuc-Puică N., (2013). Cáneva et al., 1991 citado en Fazio, 2020) ((Rodríguez García, 2016). ŻukiewiczSobczak, 2013), indican que los hongos son los agentes más importantes relacionados con el biodeterioro, puesto que, producen una amplia variedad de enzimas extracelulares las cuales se adhieren a diferentes tipos de sustratos como los ácidos orgánicos y pigmentos que favorecen el deterioro estético de los inmuebles y colecciones biológicas. Del mismo modo, el foxing, término que se emplea para nombrar las problemáticas que ejercen presión mecánica sobre el sustrato, y como consecuencia produce su debilitamiento, un ejemplo es el cambio de tonalidades en las muestras, colores pardo amarillentos o rojizos, adicionalmente los cambios en las condiciones ambientales como temperatura y humedad relativa pueden actuar como una cadena que desata lo procesos que aceleran el biodeterioro, debido al crecimiento y desarrollo fúngico sobre las mismas.

Otra afectación importante que se encuentra en las colecciones, relacionada con los microhongos, es el impacto en las investigaciones que se adelantan en el MHN, debido a que, la degradación de especímenes puede dificultar su estudio y análisis, comprometiendo la calidad y precisión de la investigación científica. Del mismo modo, la contaminación por microhongos puede interferir con los análisis moleculares y genéticos, introduciendo artefactos y errores en los resultados (Caneva. et. al. 1991).

Finalmente, la preservación de las colecciones biológicas es fundamental para el avance de la ciencia y la conservación de la biodiversidad. La contaminación en las muestras por los microhongos representa una amenaza significativa en la investigación y el valor de estos recursos. Por lo tanto, es crucial comprender la magnitud del problema, identificar los factores que contribuyen a la proliferación de microhongos y desarrollar estrategias efectivas para su prevención y control.

### **Pregunta Problema**

Dado lo anterior, en cada una de las circunstancias relacionadas con el deterioro que generan algunos microhongos, surge como base para el desarrollo del actual trabajo la pregunta ¿Cómo desarrollar un protocolo para el manejo y preservación de la colección biológica de artrópodos y aves del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional?

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Desarrollar un protocolo para el manejo y preservación de la colección biológica de artrópodos y aves del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional.

### ***Objetivos Específicos***

Identificar los microhongos patógenos en las colecciones biológicas de aves e insectos del MHN.

Diseñar un protocolo para el manejo y preservación de las colecciones de aves e insectos del MHN.

Contribuir al conocimiento científico sobre el manejo y preservación de las colecciones biológicas en entornos museísticos.

## **Metodología**

Para el desarrollo de este trabajo se estableció una ruta metodológica que orientó los procesos al momento de realizar el análisis como aislamiento de conidios y esporas de microhongos de las colecciones biológicas de aves e insectos del MHN, por ello, se describen las fases, técnicas e instrumentos que sirvieron para la recolección de datos y los análisis correspondientes. Este ejercicio investigativo se estructuró desde el paradigma positivista descrito por Ricoy (2006), como aquel que adquiere el conocimiento de manera objetiva pudiendo, cuantificando los fenómenos observables desde un control experimental y con la rigurosidad de las ciencias naturales, concibiendo las prácticas empíricas como uno de los medios para conocer el mundo basándose en el pensamiento hipotético-deductivo. Se opta por el enfoque mixto para abarcar aspectos socioambientales ligados con la manipulación de la colección biológica de aves y artrópodos del MHN, además, emplear elementos cuantitativos y cualitativos posibilitó abarcar desde una perspectiva más amplia el problema, donde el investigador resulto el actor principal.

### **Recolección de las muestras de aire**

Se tomaron 8 muestras, en dos sectores diferentes del MHN, por un lado, el salón de practicantes y por otro, el salón de almacenamiento de artrópodos y aves. A su vez, cada sector se dividió en cuatro ubicaciones, teniendo en cuenta, los puntos de manipulación, en donde regularmente se trabaja con estas colecciones.

Las muestras se realizaron en PDA (Papa dextrosa agar), previamente preparado en cajas de Petri, a una concentración de 20g de PDA por 500ml de agua destilada. Se empleó la técnica referenciada por Dales, R. E., et al. (2010), muestreo de aire, que consiste, en exponer el medio de cultivo (PDA) al ambiente, por un periodo de 15 minutos con el fin de capturar esporas y conidios de los hongos que circulan en el lugar. Las cajas de Petri se aislaron e incubaron a

20°C, por un periodo de 8 a 10 días, en condiciones ambientales estables en el Laboratorio de Biotecnología de la UPN.

**Figura 6**

*Muestra Salón de Practicantes*



*Nota.* Muestra tomada de la mesa de observación.

**Figura 7**

*Muestra de Salón de Practicantes*



*Nota.* Muestra tomada de la superficie del escritorio de la directora del MHN.

**Figura 8**

*Muestra de Salón de Practicantes*



*Nota. Muestra tomada de la mesa de identificación de Artrópodos, parte superior.*

**Figura 9**

*Muestra de Salón de Practicantes*



*Nota. Muestra tomada de la mesa de identificación, parte inferior.*

**Figura 10**  
*Muestra Salón de Almacenamiento*



*Nota.* Muestra sector salón almacenamiento, ubicación superficie estantería.

**Figura 11**  
*Muestra de Salón Almacenamiento*



*Nota.* Muestra sector salón almacenamiento, ubicación intermediación de estantería

**Figura 12.**

*Muestra Salón de Almacenamiento*



*Nota.* Muestra sector salón almacenamiento, ubicación interior de estantería.

**Figura 13**

*Muestra de Salón Almacenamiento*



*Nota.* Muestra sector salón almacenamiento, ubicación base de estantería.

**Recolección de las muestras de la colección de Artrópodos**

Se seleccionaron 80 cajas de almacenamiento de la colección biológica de insectos para recolectar el muestreo, de un total de 600. Las cajas seleccionadas, se eligieron a partir de criterios de contaminación como el color y apariencia, textura, proliferación, olor, cambios en la consistencia, crecimiento en la superficie. Según Flieder (2001), las colecciones pueden presentar cambios en el color de sus especímenes, portando manchas en tono negro, gris, blanco,

verde, azules, rosados o incluso naranjas, como consecuencia, cambia la apariencia del ejemplar. Con el cambio en la apariencia, regularmente la textura del ejemplar se altera, en muchos casos descomponiendo parte del mismo, causando cambios en la consistencia del tejido disecado. En cuanto a la proliferación, el material contaminado, posee una capa fina de polvillo o una masa gruesa, dependiendo de la especie del patógeno. Esta capa, desprende un olor parecido al de la humedad.

Teniendo en cuenta el método de aislamiento y rotulación planteado por Parfajt. Et. al. (2020), se divide la toma de muestras en 4 sesiones, en diferentes tiempos, con el fin de evitar la contaminación, entre colecciones y ejemplares. Las cajas contaminadas y seleccionadas se rotularon con un código, obtenido según el orden al que pertenece el ejemplar contaminado y el número de la caja contaminada, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{l} \textit{Orden} \longrightarrow \text{Código} + \text{N}^{\circ} \\ \textit{Himenóptera} \longrightarrow \text{HM1} \end{array}$$

De cada ejemplar contaminado se recolectaron tres muestras de esporas, con un asa tipo argolla estéril, en un ambiente esterilizado, mediante calor, producido por un mechero. Finalmente, se sembraron y almacenaron.

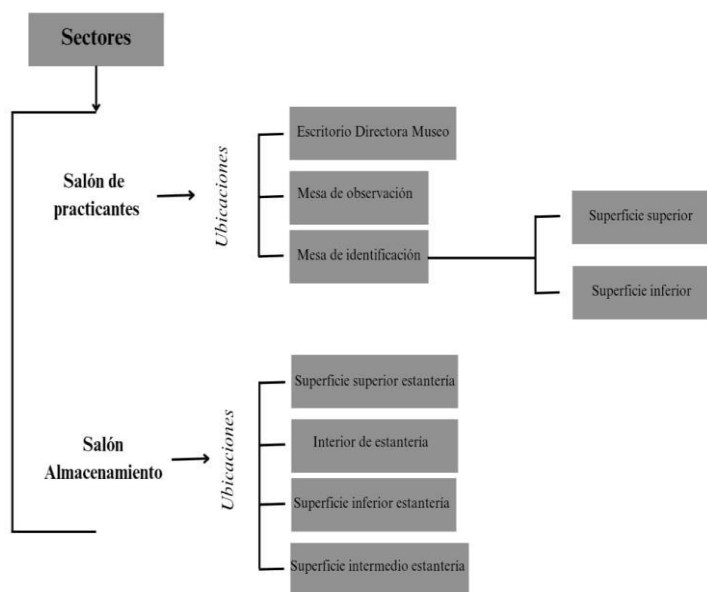
### **Recolección de las muestras colección de aves**

Se seleccionó una caja de almacenamiento de la colección biológica de aves para recolectar el muestreo, de un total de 40 cajas. La caja seleccionada, se eligió empleando los

mismos criterios descritos en el apartado anterior. Sin embargo, el aislamiento se realizó en una sesión y el código de rotulación es el nombre de la especie del ejemplar contaminado.

De cada ejemplar contaminado se recolectaron cinco muestras de esporas, con un asa bacteriológica redonda, en un ambiente esterilizado, mediante calor, producido por un mechero. La incubación se realizó por un periodo de 8 a 10 días, en una temperatura de 20 °C.

**Figura 14**  
*Esquema de distribución MHN*



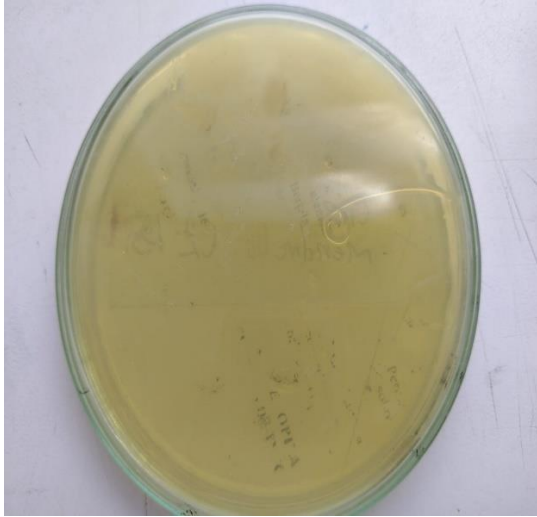
*Nota.* Esquema de distribución en el MHN, para la toma de muestras.

### **Siembra y Aislamiento de los Microhongos**

Se aislaron esporas de 80 muestras, obtenidas de la colección de artrópodos y 40 muestras de la colección de aves del MHN. Cada muestra se sembró en dos medios de cultivo Papa Destroxa Agar (PDA). Se preparó (PDA) con agua esterilizada, se vertió 26ml por caja

(Warcup, 1950). Las cajas se incubaron a 20°C por alrededor de 10 días, tiempo promedio suficiente, empíricamente determinado, para el desarrollo de colonias fúngicas.

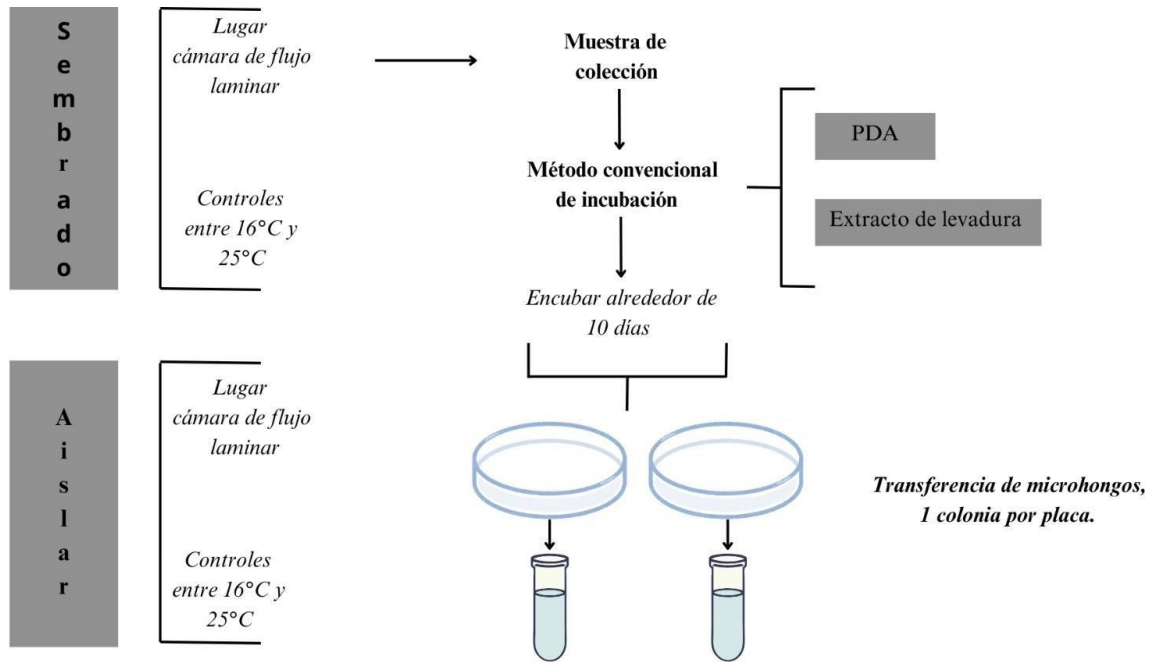
**Figura 15**  
*Medio de cultivo PDA*



*Nota. Medio de cultivo PDA en caja de Petri.*

Además, se tomaron muestra en ambas colecciones (artrópodos y aves), las cuales se sembraron en Caldo de Cultivo Extracto de Levadura al 2%, mediante el uso de isopos esterilizados. Este procedimiento se realizó en una cámara de flujo laminar, para mantener los procesos en forma aséptica.

**Figura 16**  
*Esquema de sembrado*



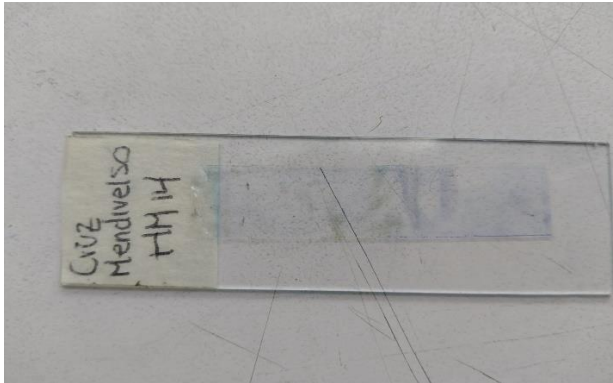
*Nota.* Esquema de sembrado y aislamiento en Extracto de Levadura

## Identificación

La identificación de los diversos aislados fúngicos se realizó, teniendo en cuenta, las características morfológicas, macroscópicas y microscópicas. Para la identificación de sus estructuras fúngicas y reproductivas, se colocó en un portaobjetos, con una gota de Azul de Trypan al 60%, un raspado fino de la colonia fúngica. Se presionó con cinta pegante transparente la colonia para provocar la liberación de conidios y esporas de los cuerpos frutíferos, en caso que los hubiere. Luego se llevó el montaje al microscopio para su observación, con un aumento de 40x y 100x.

## **Figura 17**

*Placa de muestras fijadas*



*Nota.* Placa de muestras fijadas para la observación al microscopio, con Azul de Lactofenol.

La identificación de microhongos se llevó a cabo en base al tamaño y la forma de las hifas, así como de sus conidios y esporas. También se documentó las características fenotípicas de las colonias tales como coloración, tamaño, textura y apariencia. Las observaciones microscópicas y macroscópicas fueron documentadas de manera fotográfica. Los datos obtenidos fueron comparados con publicaciones científicas y manuales de identificación para determinar, por lo menos, el género de los aislados obtenidos, como los de Arias y Piñeros (2008).

### **Agentes biológicos contaminantes: Bacterias**

Se aislaron dos colonias de bacterias, que posteriormente, se les realizó coloración de GRAM para determinar si eran Gram + o Gram – y su morfología.

### **Elaboración de Protocolo para el manejo de colecciones de Artrópodos y Aves del MHN**

Para la elaboración del Protocolo para el manejo y preservación de la colección biológica de artrópodos y aves del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional nos basamos en los criterios y recomendaciones de Baker & O'Connor, (2008). Quienes establecen realizar un inventario detallado de los especímenes, registrando su origen, estado y condiciones de almacenamiento, sin embargo, para esta parte tomamos otros criterios, como

categorizar los materiales de conservación, como frascos, etiquetas y soluciones preservantes (Kearney et al., 2014), además, se deben definir las condiciones ambientales óptimas, incluyendo temperatura, humedad y luz, asegurando que se minimicen los factores de degradación (López et al., 2017). Se realizaron 10 visitas al museo y sus respectivas colecciones, en diferentes periodos de tiempo, para determinar las condiciones de uso del material biológico y sus condiciones físicas.

Se tuvieron en cuenta las recomendaciones de Cameron y Du Toit (2006), para la revisión rigurosa del museo y los criterios a evaluar. Los criterios que se tuvieron en cuenta en la revisión son la identificación y clasificación de las muestras, condiciones de almacenamiento, manipulación y transporte, mantenimiento y vigilancia, registro y documentación, capacitación del personal, cumplimiento de Normativas. Se documentaron todos los procedimientos y hallazgos en un manual accesible para el personal, garantizando la continuidad en la conservación y el uso responsable de las colecciones (Stallard, 2016).

Por último, se tuvo en cuenta, las normativas internas y metodologías, implementadas actualmente en el MHN de la UPN, así como, la asesoría de curadores como Blanca Huertas y otros Protocolos en Colombia realizados en Colombia, como el del museo de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

## Resultados y Análisis

Se aislaron 9 hongos de las 80 muestras de artrópodos y 6 hongos de los mismos géneros en las muestras de aves. Las muestras se procesaron en el laboratorio de Biotecnología y Conservación de la Universidad Pedagógica Nacional. A continuación, se presentan los resultados y discusión de la investigación.

### Monitoreo Ambiental MHN

En el monitoreo ambiental del MHN, se encontró una humedad relativa (HR) de 57% y la temperatura promedio de 19 °C en el transcurso de la investigación. Se obtuvieron un total de 6 colonias fúngicas de las 7 muestras tomadas (Tabla I). Sin embargo, al realizar el aislamiento de colonias individuales sólo se encontraron 3 géneros de microhongos. Se observó que las colonias presentaban un diámetro mayor al de 2mm por estación de crecimiento.

**Tabla 1**

*Tabla de colonias fúngicas*

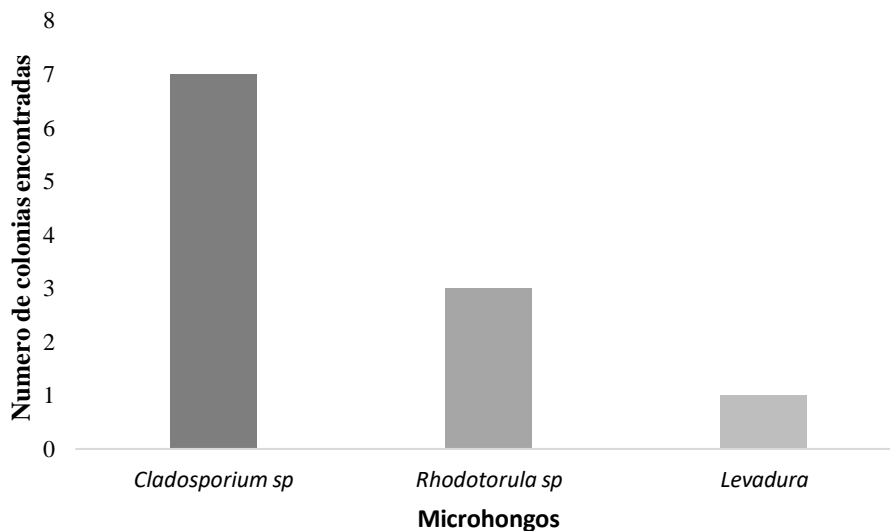
Lugar toma de muestras	Estaciones para la toma de muestras	Número de Colonias	Género de microhongos
Salón de Practicantes	Escritorio director del MHN	0	Ninguno
	Mesa de observación	3	<i>Cladosporium</i> sp
	Mesa de identificación	2	<i>Cladosporium</i> sp
Salón de Almacenamiento	Superficie superior estantería	1	Levadura sin identificar
	Interior estantería	2	<i>Cladosporium</i> sp
	Superficie inferior estantería	2	<i>Rhodotorula</i> sp
	Superficie intermedia estantería	1	<i>Rhodotorula</i> sp
	<b>Total</b>	11	3

*Nota.* Número de colonias fúngicas > 2mm por estación que crecieron después de procesos de

aislamiento.

De las estaciones evaluadas, en 3 se encontró *Cladosporium* sp, presente con 7 colonias desarrolladas y con una presencia del 42% respecto del total de las muestras. En dos estaciones se encontró levaduras. En una, se observó *Rhodotorula* sp, con 3 colonias desarrolladas, que representa el 28% del total de las muestras y la otra, sin identificar, con una sola colonia y con un 14% de presencia. Una estación no presentó ningún microhongo, correspondiente al 16%.

**Figura 18**  
*Cantidad de colonias*



*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género de microhongo.

***Total de muestras por visita y tipo de muestreo***

Este apartado se evidencia el análisis de muestras por visita y tipo de muestreo, resultado ser un proceso fundamental para obtener los datos base, representativos y precisos que sustentan esta investigación. El enfoque con el que se llevó a cabo, permite organizar, clasificar las muestras y nombrarlas según su origen y el método de selección empleado, lo que facilita la interpretación y comparación de los resultados. El "Total de muestras por visita" se refiere a la cantidad de muestras recolectadas durante cada visita al MHN, mientras que el "Tipo de muestreo" hace referencia al método que se empleó para seleccionar las muestras, en este caso, estratificado. Se aplica este

método con el fin que cada uno de los grupos de la colección de artrópodos y aves otuviera una representación significativa dentro del estudio. Este desglose es esencial para garantizar la calidad y la validez de los datos obtenidos en el proceso de recolección (Babbie, 2016).

**Tabla 2**

*Total de muestras por visita*

Fecha	Colección Muestreada							Total
	Aves	Artrópodos						
		HM	OD	LP	PH	OR	CI	
19/03/2024		12						12
02/04/2024							21	21
18/04/2024					4			4
25/04/2024			9					9
15/05/2024				16		2		18
23/05/2024	20	7						27
29/05/2024							9	9
05/06/2024	20							20
<b>Total</b>								<b>121</b>

*Nota.* Cantidad de muestras tomadas por género de la colección de Artrópodos y muestras tomadas en la colección de Aves, con su respectivas fechas y consecución de tiempo.

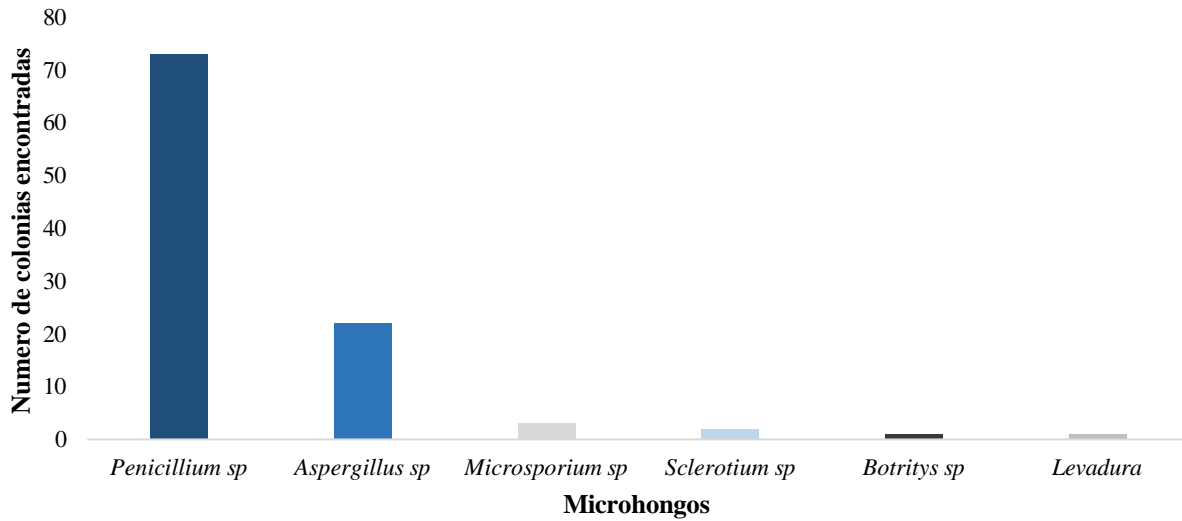
### **Diversidad y abundancia de microhongos: Colección Artrópodos**

Durante la siembra y aislado inicial, en la colección biológica de artrópodos, se observó diferencias de tamaños entre colonias de cada muestra obtenida. Las colonias crecieron en los tiempos determinados y con un amplio espectro. Esto dio como resultado una cantidad moderada de microhongos para su aislamiento e identificación.

Las colonias fúngicas se superponían unas a otras, y se encontraron hasta tres géneros en un mismo sembrado. Se obtuvieron un total de 104 colonias fúngicas de las 80 muestras de la colección de artrópodos.

**Figura 19**

*Cantidad colonias colección artrópodos*



*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género de microhongo, colección Artrópodos.

Se realizó una segunda siembra, con Caldo de Extracto de Levadura al 2%, donde únicamente se aislaron los microhongos en caja de Petri de PDA observándose colonias menores a 2mm de diámetro aproximadamente. En esta segunda siembra el número de colonias por estación varió de 3 a 6 microhongos.

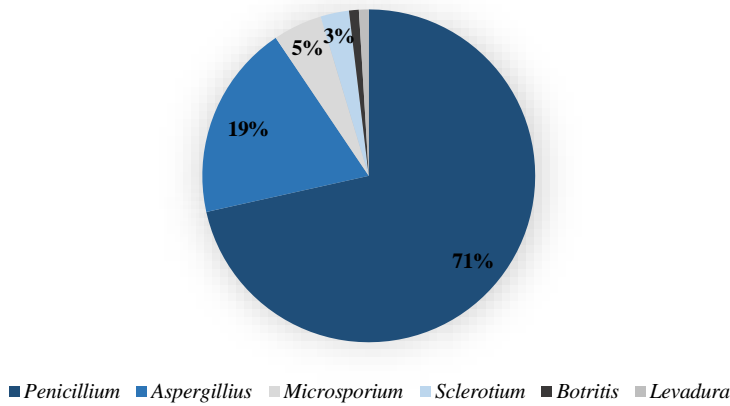
***Porcentaje de Presencia en los géneros de la colección***

El análisis de presencia se realizó para estimar la predominancia de microhongos en los géneros de artrópodos que se agrupan en la colección y se llevó a cabo por punto de muestreo y bajo las condiciones de cultivo, mencionadas en el apartado anterior. La fórmula utilizada para este cálculo fue:

$$P = \frac{\text{Total de microhongos por género}}{\text{Total de microhongos encontrados}} \times 100\%$$

En ese sentido, para la colección de artrópodos el nivel de Presencia varió según el grupo estudiado. Sin embargo, al realizar un análisis general del porcentaje de ocurrencia, se encontró que el género con mayor abundancia es *Penicillium* con 71%, seguido por *Aspergillus* con 19%. Los grupos con menor abundancia son *Botrytis* y una Levadura cada uno con 1%.

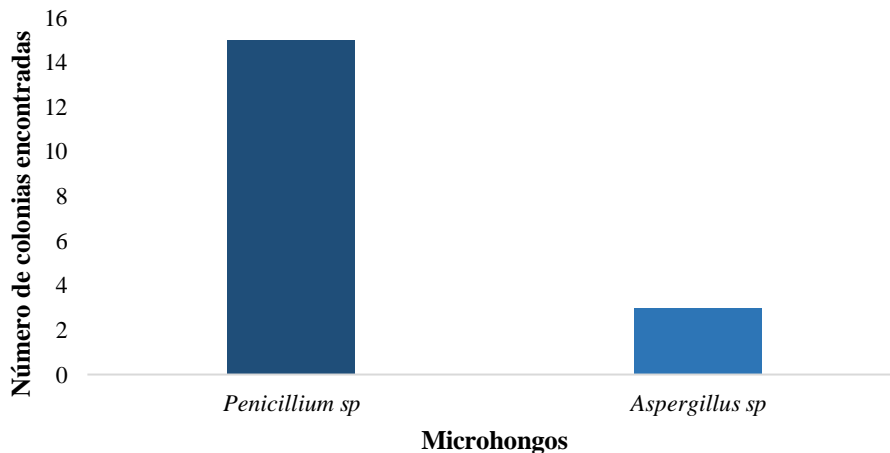
**Figura 20**  
Porcentaje de ocurrencia



*Nota.* Porcentaje de ocurrencia por microhongo, colección Artrópodos.

En el grupo *Hymenoptera (HM)*, se encontró un crecimiento de 19 colonias, distribuidas en dos géneros de microhongos, 78,9% identificado como *Penicillium sp.* y 21,1 % *Aspergillus sp.*

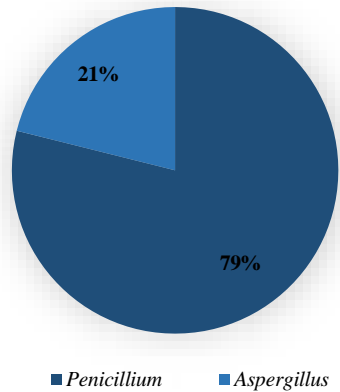
**Figura 21**  
Cantidad de colonias encontradas



*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género de microhongo, colección

*Hymenoptera*.

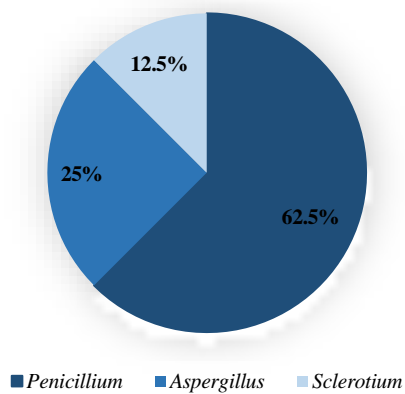
**Figura 22**  
Porcentaje de ocurrencia



*Nota.* Porcentaje de presencia por microhongo, colección *Hymenoptera*.

En el grupo *Lepidoptera* (LP), el género de microhongo representativo fue *Penicillium* *sp.* con 62,5%, seguido por *Aspergillus* *sp.* con el 25% y *Sclerotium* *sp.* con un 12,5%.

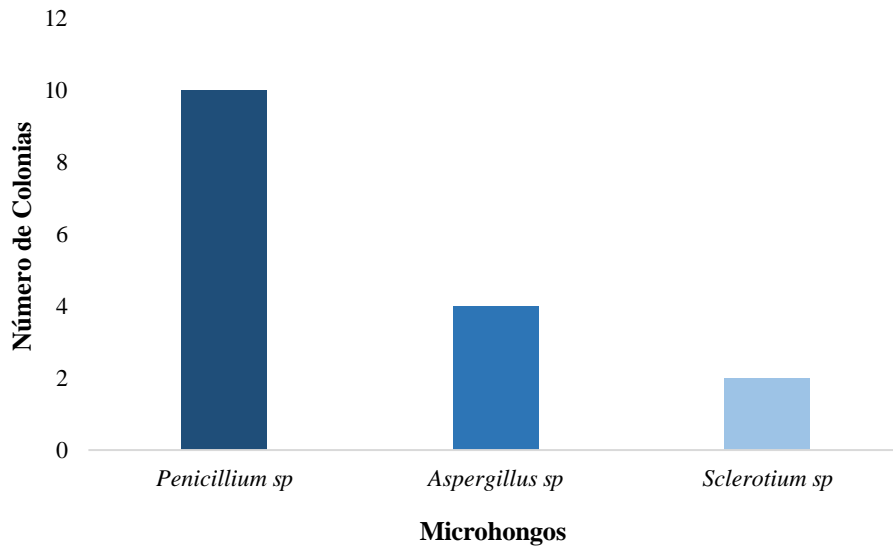
**Figura 23**  
Porcentaje de ocurrencia



*Nota.* Porcentaje de presencia por microhongo, colección *Lepidoptera*.

A diferencia del grupo anterior, *Lepidoptera* presentó una disminución en el crecimiento de las colonias, encontrando 16 colonias completamente desarrolladas en tamaño y textura.

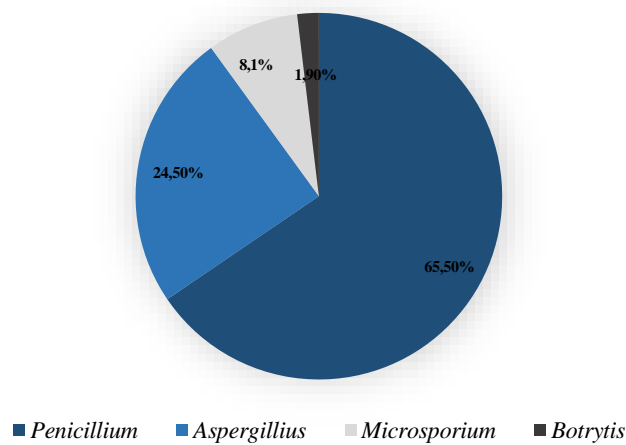
**Figura 24**  
Cantidad de colonias



*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género de microhongo, colección *Lepidoptera*.

El grupo *Coleóptera* (CL), presenta la mayor contaminación respecto a los demás grupos. El género representativo, fue también, *Penicillium sp.* con el 65,5%, seguido de *Aspergillus sp.* con el 24,5%, *Microsporium sp* con el 8,1%, *Botrytis sp*, con el 1,9%.

**Figura 25**  
Porcentaje de presencia



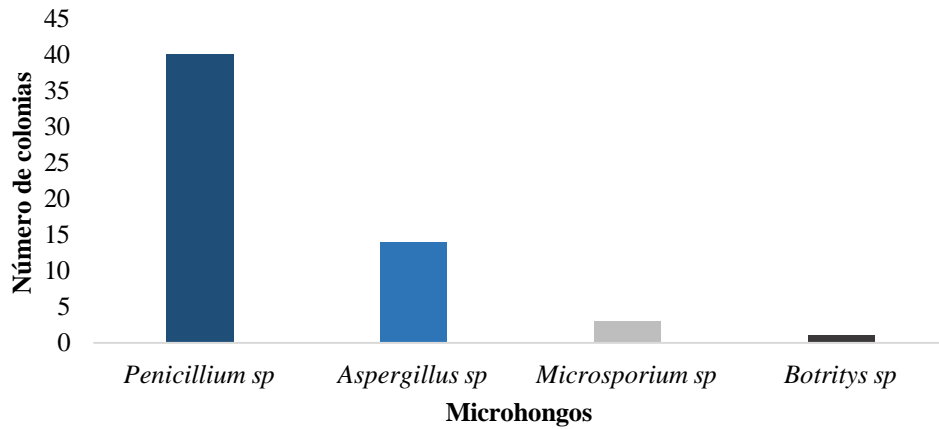
*Nota.* Porcentaje de presencia por microhongo, colección *Coleóptera*.

En este grupo se investigaron 61 colonias, que presentaron un crecimiento y texturas

desarrolladas.

**Figura 26**

*Cantidad de colonias encontradas*

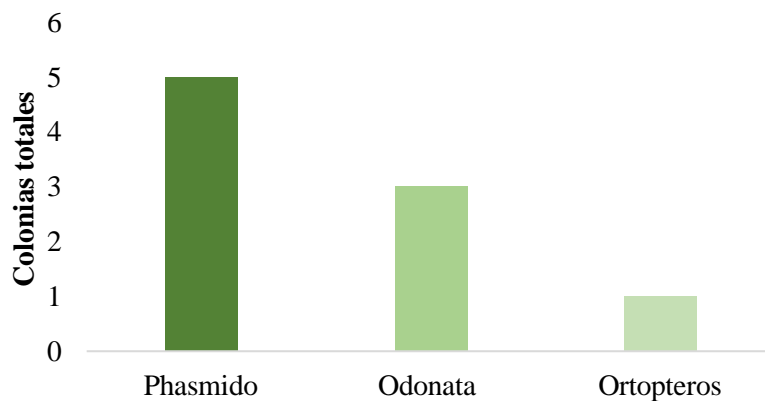


*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género de microhongo, colección *Coleóptera*.

Los grupos *Odonata*, *Optoterios* y *Phasmido*, presentaron 3, 1 y 5 colonias respectivamente. Sin embargo, variaron los géneros encontrados en cada grupo. En el grupo de *Odonata* y *Phasmido*, las colonias observadas pertenecían al género *Penicillium sp.*, mientras que el grupo *Optotera* se observó *Aspergillus sp.*

**Figura 27**

*Cantidad de colonias*

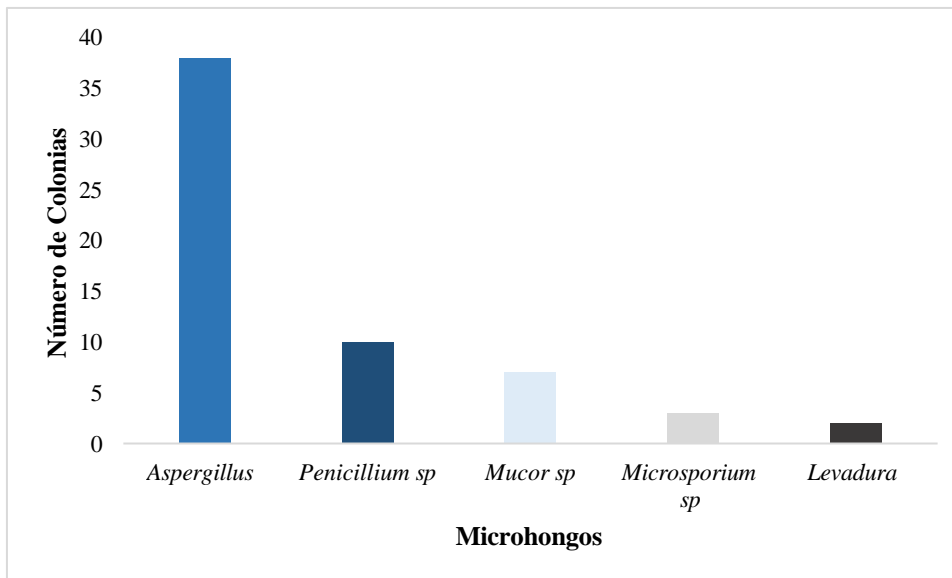


*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género

## Diversidad y abundancia de microhongos: Colección Aves

Las colonias fúngicas se superponían unas a otras, y se encontraron hasta cuatro géneros en una misma siembra en caja de Petri con PDA. Se obtuvieron un total de 58 colonias fúngicas de las 20 muestras de la colección de aves. Al observar el aislado de las colonias individuales, algunas, presentaban colonias bacterianas. En el análisis de los puntos de muestreo de la colección biológica de aves, se observó que las colonias presentaban mayor variedad de texturas, con respecto a las colonias obtenidas en la colección anterior. Del mismo modo, las colonias se encontraban superpuestas y con un crecimiento mucho mayor con relación al tiempo. Sin embargo, el espectro de las colonias, se mantuvo en las mismas proporciones respecto a las colonias encontradas en la colección de artrópodos.

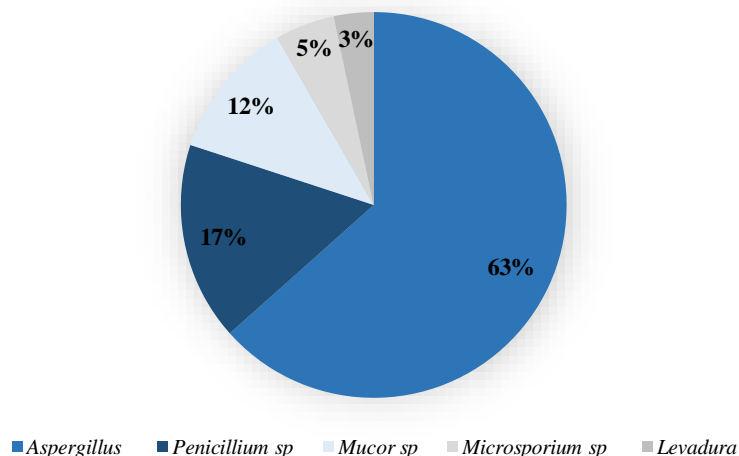
**Figura 28**  
*Cantidad de colonias*



*Nota.* Cantidad de colonias encontradas por cada género de microhongo, colección Aves.

En cuanto porcentaje de presencia, se encontró una variación en algunos géneros, sin embargo, presentaba semejanza respecto a la colección de artrópodos.

**Figura 29**  
*Cantidad de colonias*



*Nota.* Porcentaje de presencia de microhongos, colección Aves.

### **Identificación de Microhongos encontrados en las colecciones de artrópodos y aves**

Un total de 220 hongos fueron aislados, agrupándose en 8 géneros: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Microsporium*, *Botrytis*, *Sclerotium*, *Cladosporium*, *Rhodotorula* y otra levadura.

#### **Género *Penicillium*.**

*Penicillium* es un género de hongos ascomicetos que incluye más de 300 especies, muchas de las cuales son de gran importancia en la industria alimentaria y farmacéutica.

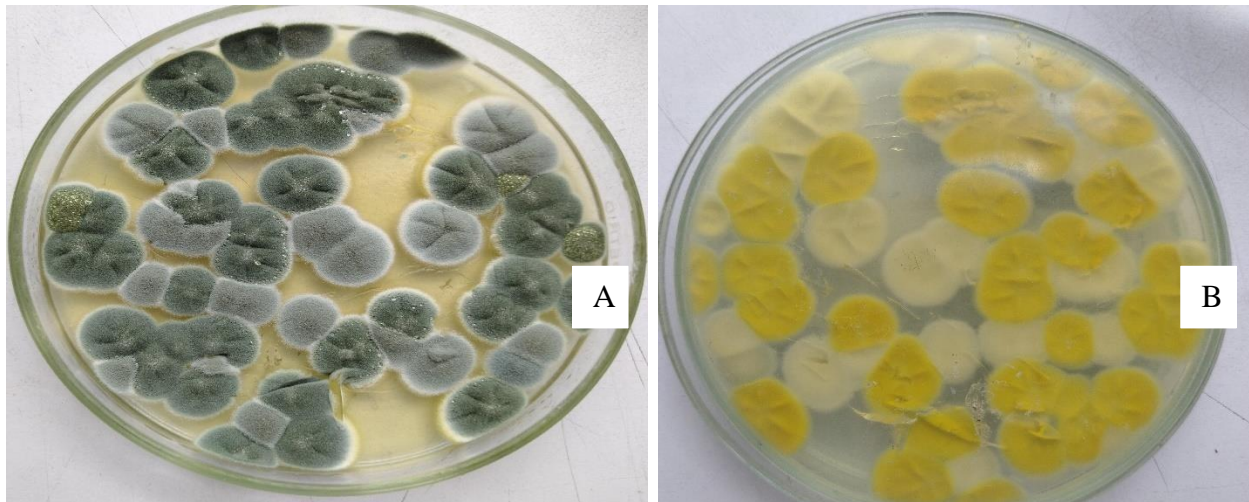
Según Samson, R. et. al (2010), morfológicamente, se caracteriza por la presencia de micelio septado y ramificado, que suelen formar colonias de color blanco, verde, azul o a veces amarillo, dependiendo de la especie y las condiciones de cultivo. En el lado anverso, las cepas, de *Penicillium* tenían textura polvorienta, con bordes bien definidos y de color blanco. Esta textura se debe a la disposición densa y ramificada de los conidióforos (Pitt y Hocking, 2009).

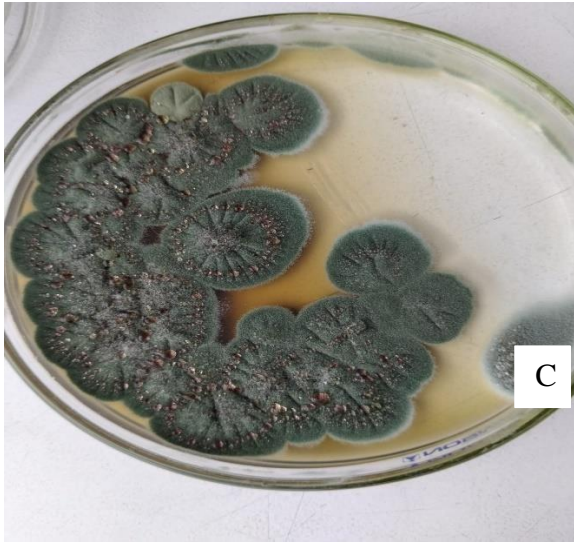
Las colonias observadas, presentaron forma circular, debido a que, se cultivó en un medio sólido. El tamaño de las colonias varió, entre 1 a 3 cm de diámetro. Además, presentaron dos colores, verde oliva y azul oscuro, resultado de las variantes encontradas. Por este lado del cultivo y al cabo de 6 días, las cepas, produjeron gotas de exudado en la superficie de las colonias, que presentaban un color claro, con una textura pegajosa. Estos exudados son a menudo pegajosos y pueden ser una característica distintiva para ciertas especies del género (Pitt y Hocking, 2009).

En el reverso de las colonias, se presentó un color más claro, con tonos amarillento y marrón. Este color en el reverso es una característica importante para la identificación de especies, pues según la variante del género, cambia el color del reverso (Pitt y Hocking, 2009).

**Figura 30**

*Crecimiento de Penicillium sp observado en medio de cultivo PDA*



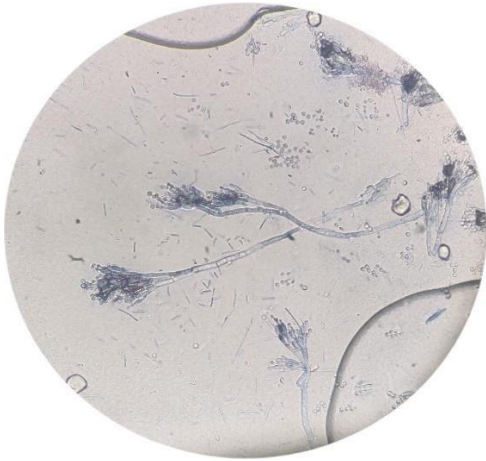


*Nota.* A) Formación de colonia por anverso al cabo de 10 días. B) Formación de colonias por reverso al cabo de 10 días. C) Formación de colonias por anverso, cultivo 2.

La característica más distintiva de *Penicillium* es su conidióforo, que presenta una estructura ramificada en forma de pincel, donde se producen los conidios en cadenas largas y secas (Pitt, 1979). Estos conidios son generalmente esféricos a elípticos y tienen una superficie rugosa o lisa, según la especie (Pitt, 1979; Samson et al., 2010). En esta investigación, se observó que los conidióforos tenían una longitud entre 2 a 5  $\mu\text{m}$  y grosor de 1 a 3  $\mu\text{m}$ , semejante para todas las muestras. Es decir, eran cortos y se ramificaban de manera simétrica. Los conidióforos tenían una forma esférica con una superficie rugosa. Los resultados coinciden con las referencias, anteriormente citadas.

### **Figura 31**

#### *Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Penicillium sp.*, al 40X

#### ***Género Aspergillus.***

*Aspergillus* es un género de hongos filamentosos que comprende más de 250 especies, muchas de las cuales son saprófitas, descomponiendo materia orgánica muerta, aunque algunas pueden ser patógenas para humanos y otros animales. Una de sus principales características es la producción de conidios, que son esporas asexuales dispersadas por el aire, lo que facilita su propagación y colonización en una variedad de ambientes (Raper y Fennell, 1965).

Las especies de *Aspergillus* también son conocidas por su tolerancia a ambientes con poca agua o altas concentraciones de solutos, como la sal o el azúcar, lo que les permite sobrevivir en condiciones extremas (Klich, 2002). Además, muchas especies producen micotoxinas, compuestos tóxicos que pueden contaminar diferentes tipos de sustratos (Bennett y Klich, 2003).

En el medio de cultivo PDA, *Aspergillus* típicamente formó colonias de rápido crecimiento que alcanzaron de 2mm a 5cm de diámetro en 10 días. Se observó que las colonias

tenían textura polvorienta y suelta, su color varió por muestra, presentándose en algunas colonias, con un tono negro y otras, con tonos verdes-azulados, colores característicos de especies que descomponen materia orgánica. El color de las especies de *Aspergillus* que descomponen materia orgánica varía según la especie y las condiciones de crecimiento.

**Figura 32**  
*Formación de colonia*



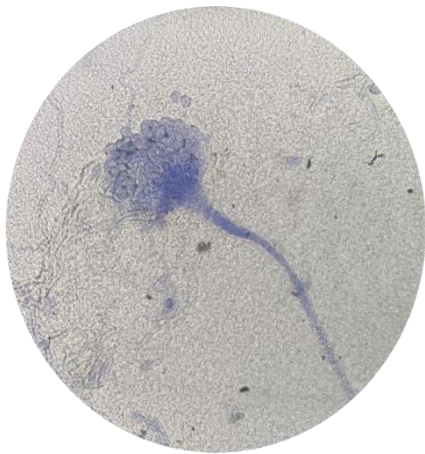
*Nota.* Colonia de *Aspergillus sp*, 10 días de aislamiento mediante escobillón.

Una de las características morfológicas distintivas de *Aspergillus* es la formación de conidios en cadenas que se irradian desde la vesícula en el extremo del conidióforo (Klich, 2002), lo que le da un aspecto de cabeza de flor. Este rasgo resultó esencial para su identificación en el laboratorio.

Las cepas observadas de *Aspergillus* presentaron un cuerpo principal, conocido como micelio, que es un conjunto de hifas, o filamentos largos y ramificados, con tamaños promedio aproximadamente de 2-4  $\mu\text{m}$  de diámetro a los 10 días en PDA a 20°C. Las hifas eran septadas, lo que significa tenían divisiones o tabiques que segmentan los filamentos en compartimentos. Los conidióforos se elevaban por encima del micelio y terminaban en una vesícula esférica o

subesférica. Los conidióforos, en términos generales, eran lisos y con una longitud considerable entre 10 y 80  $\mu\text{m}$ . Del mismo modo, los conidios, encontrados en la superficie de la vesícula de los conidióforos, presentaban aproximadamente 2-5  $\mu\text{m}$  de diámetro, algunas redondeadas u ovaladas. Estas observaciones coinciden con lo reportado por Klich. M.A (2002).

**Figura 33**  
*Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Aspergillus sp*, al 40X, Presencia de conidióforo

### ***Género Mucor.***

Este género de hongos perteneciente a la familia *Mucoraceae*, incluye numerosas especies saprófitas, es decir, que se alimentan de materia orgánica muerta. Estas especies son fundamentales en la descomposición de materiales orgánicos en ambientes naturales, como suelos, estiércol, y alimentos en descomposición. Sin embargo, cuando se refiere a colecciones biológicas resultan muy contaminantes.

*Mucor* forma un micelio extenso, generalmente no septado (coenocítico), lo que significa que sus hifas no están divididas en células individuales por paredes transversales. Este micelio es

de color blanco al inicio y puede volverse grisáceo o marrón a medida que el hongo envejece (Schipper, 1976). En un principio las colonias de *Mucor* presentaban color blanco, debido a la abundancia de hifas aéreas. Con el tiempo, adquiriría tonos grisáceos, marrones e incluso negros, fenómeno, que ocurre especialmente cuando se desarrollan los esporangios, que contienen las esporangiosporas, como en este caso. Las colonias exhibían una textura algodonosa, con un aspecto suave y veloso. En cuanto al reverso las colonias tenían color blanco ligeramente amarillento, sin una pigmentación significativa.

Las especies de *Mucor* son conocidas por su rápido crecimiento, especialmente en condiciones ricas en nutrientes. En cultivo, suelen cubrir rápidamente el medio de crecimiento con un micelio denso y esponjoso, que se vuelve más oscuro a medida que se desarrollan los esporangios (Ellis, 1985). Para medio de cultivo PDA, *Mucor* exhibió un crecimiento rápido y extenso. En tan solo 5 días a una temperatura alrededor de 20 °C, cubrió completamente la superficie del medio.

**Figura 34**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de *Mucor sp*, 10 días de aislado.

Para esta investigación, en la cepa de *Mucor*, se observó la producción de esporangióforos largos y erectos, que son estructuras asexuales que se elevan sobre el micelio. Estos esporangióforos, terminaban en esferas llenas de esporas, llamadas esporangiosporas.

Los esporangios de *Mucor* son grandes, esféricos y a menudo de color oscuro cuando están llenos de esporangiosporas. Las esporangiosporas, las esporas asexuales producidas dentro de los esporangios, son generalmente pequeñas, esféricas a elipsoidales, y de color marrón o negro (Schipper, 1976).

Los esporangios presentaban color blanco a marrón y contienen numerosas esporas que son liberadas cuando el esporangio madura y se rompe (Ellis, 1985).

Bajo el microscopio, la característica dominante, es la presencia de hifas cenocíticas, es decir, sin septos transversales (excepto en la base de los esporangióforos o en estructuras reproductivas). Las hifas eran anchas, con diámetros que podían variar entre 5-15  $\mu\text{m}$ , y de color transparentes o ligeramente pigmentadas. Además, se encontró esporangióforos largos, no ramificados, y que se elevan desde el micelio en una disposición vertical. Terminando en grandes esporangios esféricos que contenían esporangiosporas. Los esporangios, se identificaban por su estructura globular que contenían numerosas esporangiosporas. Las esporangiosporas de todas las cepas eran esféricas, de color marrón claro a oscuro, y con un tamaño entre 4-8  $\mu\text{m}$  en diámetro.

### **Figura 35**

#### *Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Mucor sp* esporangioforo, al 40X

#### ***Género Microsporum.***

*Microsporum* es un género de hongos dermatofitos patógeno no solo de humanos y animales, sino también a colecciones biológicas, particularmente aquellas que contienen pieles, pelos, cuernos, plumas y otros materiales queratinizados. Estas colecciones, que a menudo se encuentran en museos de historia natural, zoología y etnografía, pueden sufrir daños considerables debido a la actividad de estos hongos (Florian, 1997).

Las colonias observadas de *Microsporum*, presentaban una textura vellosa, con colores que variaban de marrón amarillento a verde oliva. El reverso de las colonias (la parte inferior vista desde el fondo de la placa de Petri) era amarillento y algunas de color marrón. El crecimiento de la colonia fue óptimo, con una variación entre 6 a 10 días.

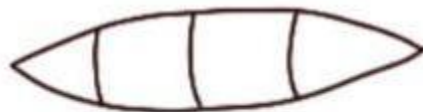
**Figura 36**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de *Microsporium* sp, 10 días de aislado.

En cuanto a la observación microscópica se encontraron macroconidios (estructuras sexuales) con forma alargada y fusiforme, con apariencia de paredes gruesas y rugosas; con un tamaño aproximado entre 7-12  $\mu\text{m}$  de ancho por 30-50  $\mu\text{m}$  de largo. Estos macroconidios presentaban una forma característica de huso con extremos redondeados. Los criterios de identificación anteriormente expuestos se soportan en los catálogos de micología de Roberts y Friedlander (2005).

**Figura 37**  
*Observación microscópica*



**Fragmoconidio**

*Nota.* Observación microscópica *Microsporium* sp, al 40X

## ***Género Botrytis,***

*Botrytis* se caracteriza por ser un hongo fitopatógeno y necrotrófico, lo que significa que mata el tejido vegetal antes de alimentarse de él. Las infecciones de *Botrytis* son comunes en condiciones de alta humedad y temperaturas moderadas, lo que facilita la germinación de sus esporas y la invasión del tejido de la planta (Elad, Y. et al., 2016). Los criterios a continuación descritos, coinciden con los criterios de identificación abordados por Elad, Y., Pertot, I., Prado, A. M. C., & Stewart, A. (2016) y Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. A. (2007).

La colonia de *Botrytis* inicialmente presentaba una coloración blanca, sin embargo, con el tiempo, la parte central de la colonia se volvió más oscura debido a la acumulación de conidios, mientras que los márgenes más jóvenes permanecían blancos.

La textura de la colonia era algodonosa, debido a la densa formación de micelio y conidióforos. La superficie de la colonia tenía una apariencia esponjosa, especialmente cuando se observa sin amplificación. En cuanto al tamaño, la colonia se extendió rápidamente, cubriendo grandes áreas del medio, a partir del día 7, debido a las condiciones de cultivo, como la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. Su morfología se observaba circular y bien definida en sus bordes.

También, se observó esclerocios en toda el área de la colonia, que son estructuras de resistencia formadas por un agregado compacto de hifas endurecidas. Los esclerocios se encontraron de color negro y permiten la supervivencia del hongo en condiciones adversas.

**Figura 38**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de *Botrytis*, 10 días de aislado.

En la observación microscópica, se distinguen los conidióforos ramificados de manera dicotómica y que sostienen los conidios en sus extremos. Estas estructuras se perciben largas, delgadas y ramificadas, formando un patrón que puede parecerse a un racimo de uvas.

Los conidios exhiben forma ovoide, generalmente de color hialino o ligeramente pigmentados. Miden entre 7-14  $\mu\text{m}$  de longitud y 6-9  $\mu\text{m}$  de ancho. Se produjeron en grandes cantidades y se muestran dispuestos en cadenas sobre los conidióforos.

**Figura 39**  
*Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Botrytis sp.*, al 40X

### ***Género Sclerotium,***

*Sclerotium* es un género de hongos fitopatógenos que incluye especies conocidas por causar enfermedades en una variedad de cultivos agrícolas. Las colonias de *Sclerotium* en medios de cultivo PDA presentan características distintivas que facilitan su identificación en el laboratorio. Las colonias observadas inicialmente tenían un color crema, a medida que la colonia maduró, adquirió tonos más oscuros, como marrón claro, especialmente en las áreas donde se formaron esclerocios (Davis & Pearson, 2001).

La textura se presentó algodonosa y la superficie de la colonia tenía una apariencia esponjosa debido al crecimiento denso del micelio. Esta textura es un indicador de la actividad del hongo y su capacidad para formar una capa protectora sobre el medio (Kohn, 1979).

La colonia se expandió rápidamente, cubriendo toda el área del medio de cultivo. Su tamaño puede variar dependiendo de las condiciones del cultivo, pero generalmente, las colonias muestran un crecimiento radial extenso (Davis & Pearson, 2001).

El rasgo distintivo, que permitió su identificación, es la formación de esclerocios, que son estructuras de resistencia que permiten al hongo sobrevivir en condiciones adversas. Estos esclerocios se observan como cuerpos duros y de color negro, y se encontraron en la superficie de la colonia (Kohn, 1979).

**Figura 40**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de *Sclerotium* sp, 10 días de aislado.

El micelio se presentó hialino o ligeramente pigmentado, y se extendió de manera densa sobre el medio de cultivo. La formación de esclerocios dio como resultado una estructura irregular y prominente en la superficie, debido a que, presentaba estas estructuras microscópicamente (Davis & Pearson, 2001).

**Figura 41**  
*Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Sclerotium sp*, al 40X

### ***Género Cladosporium,***

*Cladosporium* incluye varias especies importantes en fitopatología y microbiología. Las especies de *Cladosporium* son conocidas por causar enfermedades en plantas, y algunas también se encuentran en ambientes interiores como moho en materiales de construcción (Nelson et al., 1983).

Se observó colonias de textura aterciopelada, con una superficie algo rugosa o arrugada y con aspecto algodónoso. El color que presentaban varió entre el verde oliva y gris oscuro. La expansión de las colonias fue amplia en el medio de cultivo, formando una capa densa. El tamaño y la velocidad de expansión respondió a las condiciones de temperatura entre 18 y 25 °C y una HR de 61%.

**Figura 42**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de *Cladosporium sp*, 10 días de aislado.

Los conidios de *Cladosporium* son esporas asexuales que se producen en cadenas en las extremidades de conidióforos. Son generalmente de forma ovalada a alargada y pueden ser hialinos o pigmentados, con una coloración que varía desde verde oliva hasta negro. Los conidios tienen una pared celular gruesa y pueden presentar una o varias secciones internas, lo

que se conoce como “segmentación” (Nelson, P et al., 1983). En los registros de la presente investigación, los conidióforos de *Cladosporium sp1* y *sp2*. se presentaron hialinos y pigmentados, delgados y ramificados, con los conidios en sus extremos, con ramificaciones dicotómicas y un aspecto semejante a una ramificación de tipo arbóreo. El micelio se observó hialino y septado (con divisiones internas).

**Figura 43**

*Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Cladosporium sp*, al 40X

**Género *Rhodotorula*.**

*Rhodotorula* es un género de hongos levaduriformes que se encuentra comúnmente en diversos ambientes, incluyendo suelos, plantas, y en ambientes interiores. Se caracteriza por producir pigmentos carotenoides, que le dan un color característico a sus colonias (Kurtzman, C. et al., 1998).

Para esta investigación, las colonias de *Rhodotorula* presentaban un color rosado tenue. notoriamente coloridas debido a la producción de pigmentos carotenoides. La coloración es una de las características distintivas más notables de este género. Se observa una textura suave y con apariencia gomosa, con superficie brillante o resbaladiza. El tamaño moderado con 3mm de diámetro, sin embargo, con un crecimiento expansivo por encontrarse en un medio de cultivo sólido (Middelhoven, W. 2004).

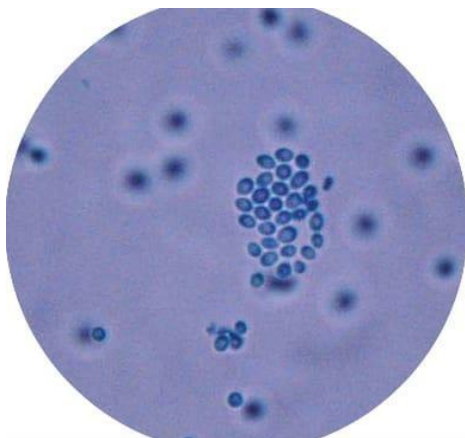
**Figura 44**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de *Rodothorula sp*, 10 días de aislado.

En la observación microscópica se encontró, que las células de esta levadura, exhibían una forma esférica a elíptica, con un tamaño promedio entre 2 a 6  $\mu\text{m}$  de diámetro. Se encontraron de manera individual, pero agrupadas, semejando semillas de sésamo. Además, se observó la presencia de pigmentos carotenoides que tiñen las células de color rosa brillante. Esta pigmentación es una característica distintiva del género (Biswas, S. et al., 2011).

**Figura 45**  
*Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica *Rodhotorula sp*, al 40X

### ***Levadura.***

Las levaduras son organismos unicelulares que pueden pertenecer al grupo de los *Ascomycetos*, *Basidiomycetos*, y también al grupo de los *Deutoromycetes*.

La especie que se encontró en esta investigación, presentó una coloración blanca de aspecto cremoso, con diámetro de 9  $\mu\text{m}$  a los 6 días. No obstante, al cabo de 15 días, la colonia se esparció por todo el cultivo.

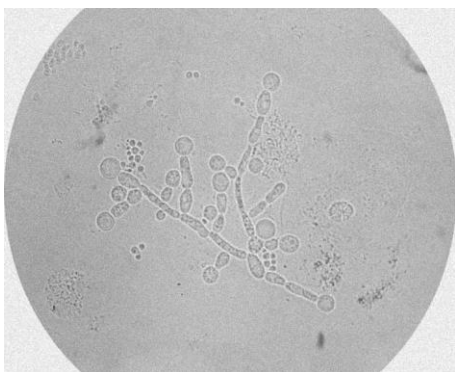
**Figura 46**  
*Formación de colonia*



*Nota.* Colonia de Levadura, 10 días de aislado.

Microscópicamente, se observaron esporas con un tamaño promedio 2,6 a 3,1  $\mu\text{m}$ , con una coloración hialina y forma esférica.

**Figura 47**  
*Observación microscópica*



*Nota.* Observación microscópica Levadura, al 40X, pseudomicelio

## **Bacterias contaminantes**

Se observaron bacterias, mediante coloración de GRAM bacilos Gram (+), y se identificó como *Bacillus* sp, (Bergey, D. H. et al.,2001)., esto se debe a que los *Bacillus* sp poseen endosporas y permanecen en estado de latencia, teniendo una relación con de las colecciones del MHN y su preservación en el tiempo.

## **Protocolo para el manejo y preservación de la colección biológica de artrópodos y aves del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional**

La elaboración del protocolo de conservación para colecciones biológicas, particularmente de artrópodos y aves, es un proceso complejo y detallado que integra varias etapas y principios científicos. A continuación, se comparte el link del protocolo y se describen los resultados generales que se obtuvieron con el respaldo académico de bibliografía relevante, el cual se puede consultar en el siguiente link:

[https://drive.google.com/file/d/1OyRSxkWJSREu2ftQFsdCAIzWcxwDIpVV/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1OyRSxkWJSREu2ftQFsdCAIzWcxwDIpVV/view?usp=drive_link)

El inventario y diagnóstico, permitió la identificación del estado de conservación de las piezas biológicas (taxidermia, esqueletos, muestras en alcohol, insectos, etc.). Este diagnóstico resultó fundamental para definir las prioridades de intervención.

En cuanto a las condiciones ambientales, la evaluación de temperatura, humedad, luz, y otros factores que pueden afectar la estabilidad de las colecciones biológicas, facilitaron la elaboración de rutas metodológicas para la conservación y preservación de las muestras, proponiendo un sistema de control de temperatura y humedad, así como filtración de luz ultravioleta, acorde a las condiciones actuales del museo. Así mismo, se expone diferentes tipos de almacenamiento, y se explica el uso de envases elaborados con materiales sin ácidos y métodos de almacenamiento optimizados para cada tipo de espécimen.

Para el manejo de plagas se desarrolló dos estrategias accesibles para evitar la infestación

de insectos y microorganismos que puedan degradar las colecciones. En el mismo sentido y con el fin de permitir una conservación activa, el protocolo cuenta con un apartado que aborda la reparación de daños físicos, consolidación de materiales, y tratamientos químicos para prevenir la degradación de componentes biológicos. Así como, pasos para la rehidratación o conservación en medios líquidos, para especímenes deshidratados o aquellos que requieren conservación en líquidos, como en alcohol o formalina.

En cuanto a la documentación y vía jurídica, se amplía el marco jurídico que cubre los protocolos de conservación de los museos en Colombia y se expone la importancia y la ruta de elaboración de una base de datos digital, que en el tiempo permita la creación de un sistema que registre cada espécimen, su estado de conservación, intervenciones realizadas, y recomendaciones futuras. Además, se desarrolló un plan de trabajo para el monitoreo regular y evaluar la eficacia de las medidas preventivas y activas implementadas.

Finalmente, se exponen los criterios de capacitación, para curadores en formación, estudiantes profesores o cualquier persona que tenga contacto con las colecciones, teniendo en cuenta aspectos técnicos en el manejo correcto de especímenes, técnicas de conservación, y el uso de nuevos equipos tecnológicos.

### **Otros Resultados Relevantes**

En el estudio se evidenció que la colección de insectos resultó estar más afectada en comparación con la colección de aves, debido a la alta concentración de proteínas y quitina en sus exoesqueletos, convirtiéndolas en un sustrato propicio para el crecimiento de algunos géneros de microhongos, lo que puede derivar en el debilitamiento estructural y la decoloración de los especímenes (Florian, 1997). Por otro lado, las colecciones de aves, que incluían tanto pieles como montajes taxidérmicos, son especialmente vulnerables a la biodeterioración fúngica debido a la presencia de plumas y tejidos blandos, los cuales pueden sufrir una rápida descomposición si no se aplican medidas preventivas adecuadas (Caneva, Nugari, & Salvadori,

2008).

Del mismo modo, se detectó la presencia de microhongos en la mayoría de los ambientes muestreados, en distinta frecuencia y cantidad de colonias. Se observó crecimiento fúngico en los distintos sectores obteniéndose una concentración más elevada en el interior del espacio denominado Salón de Almacenamiento con predominio del género *Cladosporium*, sumándose la presencia de *Rhodotorula* y una levadura de otro tipo. Al comparar estos valores con la escala que propone Omeliansky para evaluar el grado de contaminación del aire, se aprecia que, los valores fueron mayores a 1000 UFC/ m<sup>3</sup> por lo que el ambiente se clasifica como altamente contaminado (Análisis Ambiental, Norma Ramal de la Pesca NRP-201, 1987). Aunque no existe una norma estandarizada que determine los límites para clasificar a un ambiente interior como contaminado o no, sin embargo, en lo que tiene que ver con la salud humana, la OMS plantea que por encima de 1000 UFC/m<sup>3</sup> los ambientes se consideran contaminados (Nevalainen y Morawska, 2009).

En general, los géneros detectados son frecuentemente hallados en museos, particularmente *Cladosporium*, *Aspergillus* y *Penicillium*, tanto en las salas de exhibición como en reservas patrimoniales (Valentin et al. 2010; Herrera et al. 2015), así como en asociación con restos animales momificados o preservados (López. 2007, Ruiz et al. 2016). Estos géneros son agentes de degradación de diversos tipos de materiales, por su carga enzimática abundante (Robledo 1991; Ross et al. 1976). Sin embargo, el género *Rhodotorula*, no es frecuente hallarlo, como ocurrió en el presente estudio, salvo en los estudios realizados por Herrera y colaboradores (2015) y Nitiu y colaboradores (2015), en este último caso, sobre colecciones biológicas, que indican el manejo inapropiado de los especímenes y el cruce de biocontaminantes por falta de buenas prácticas. En consecuencia, los microhongos *Cladosporium*, *Rhodotorula* y una Levadura sin identificar que se encontraron en el ambiente se relacionan de manera parcial con lo registrado en la literatura de diversos estudios similares.

Los géneros identificados pertenecen a los filos *Ascomycota* y *Basidiomycota*, a diferencia de lo encontrado en otro estudio, realizado por Yang y colaboradores (2007) donde el porcentaje mayor de los hongos ambientales aislados son esporas asexuales que se agrupan en el subphylum *Mucoromycota*. El grado de contaminación fúngica fue el esperado y coinciden de manera general con los resultados reportados para ambientes interiores de archivos, bibliotecas y museos con colecciones biológicas, realizados por otros investigadores (Borrego et al., 2010a; Rojas, 2010; Borrego & Molina, 2014; Molina & Borrego, 2014), lo que reafirma el criterio de que los géneros encontrados representan los contaminantes fúngicos por excelencia en los ambientes interiores destinados al almacenamiento de bienes del patrimonio histórico cultural y científico (Rodríguez García et al. 2014). Así mismo, se encuentra una relación entre las condiciones ambientales relacionadas con la limpieza de los espacios, la ventilación, la circulación del aire y la detección de estos microorganismos.

Para caracterizar el microbiota ambiental del MHN se llevaron a cabo 8 muestreos consecutivos durante la época de lluvia del 2024 (marzo - mayo), con el fin de evaluar el riesgo potencial de biodeterioro al que se exponen las colecciones de artrópodos y aves. En el análisis de los resultados obtenidos, se encontró que la media de las concentraciones fúngicas detectadas en cada muestreo osciló entre 98 y 551 UFC/ m<sup>3</sup> de aire, con medias mensuales comprendidas entre  $226 \pm 42$  y  $452 \pm 139$  UFC/ m<sup>3</sup> de aire, concentraciones que resultan elevadas para la preservación de colecciones biológicas en museos, archivos y bibliotecas, como se explicó en el apartado anterior. Esto también se relaciona a que en épocas de lluvia se aumenta la humedad relativa lo que influye en el crecimiento de los microhongos. En el análisis cuantitativo del comportamiento del microbiota aéreo y los parámetros climáticos de temperatura y humedad relativa se demostró que existe un comportamiento regular de estos factores y por tanto, los parámetros climáticos de humedad relativa y temperatura, en todos los casos constituyen un alto nivel de significación cuantitativa, resultados que sustentan la estrecha relación que existe entre

los parámetros climáticos y la concentración fúngica del ambiente.

Los representantes de los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*, además de presentar las mayores densidades relativas de 46% dentro de los aislados, que los convierte en géneros muy comunes. Los dos primeros géneros nombrados potencian el biodeterioro de las colecciones almacenadas en el Salón de almacenamiento y el último incide en las condiciones del aire del mismo lugar. En este sentido, los aislados de los géneros *Microsporium* y *Sclerotium* y los aislados de colonia frecuencia superior al 40 % representan los siguientes géneros comúnmente encontrados, mientras que *Mucor*, *Botrytis*, *Rodhotorula* fueron géneros muy raros, con 14% y por tanto de poca importancia en la preservación y conservación, desde el punto de vista del biodeterioro material.

Otro hallazgo importante, es la presencia de *Penicillium* cuya acción metabólica, afecta gravemente las colecciones biológicas de artrópodos y aves del MHN, debido a que creció en condiciones de humedad, donde se nutre de materiales orgánicos y provoca la descomposición de los especímenes conservados. En el caso de la colección de artrópodos, *Penicillium* degradó los tejidos blandos y afectó los exoesqueletos, comprometiendo la integridad morfológica del material. En las aves, puede deterioró las plumas, la piel y el tejido muscular, acelerando la descomposición. Además, este microhongo generó manchas visibles (Florian, 2002), debido a que, produce ácidos orgánicos, como el ácido cítrico, que pueden degradar proteínas, celulosa y otros componentes orgánicos presentes en las colecciones biológicas. Este proceso de acidificación puede llevar a la pérdida estructural de los especímenes, provocando decoloración, fragilidad y, en última instancia, su destrucción (Nugari & Pietrini, 2011). Además, *Penicillium* produce micotoxinas, compuestos que no solo pueden dañar las colecciones, sino que también representan un riesgo significativo para la salud de practicantes, maestros, investigadores del museo y los visitantes (Pelhate et al., 2007).

El segundo género aislado mayoritariamente en nuestro estudio fue *Aspergillus*, resultado

un contaminante frecuente en la colección biológica de aves, porque el método de

almacenamiento para estos especímenes es particularmente húmedo y mal ventilado. Este género de microhongos se alimenta de materiales orgánicos como pieles, tejidos, plumas y exoesqueletos, causando un deterioro progresivo. En especímenes de aves y mamíferos, *Aspergillus* degrada los tejidos blandos, afectando la estructura de plumas y pieles, lo que puede llevar a la pérdida irreversible de estos elementos. Además, en colecciones de artrópodos, *Aspergillus* deterioró el exoesqueleto quitinoso, comprometiendo la forma y los detalles anatómicos de algunos ejemplares. Además, que su presencia no solo afecta la conservación física de las muestras, sino que también representa un riesgo para la salud humana, ya que puede liberar esporas que causan infecciones respiratorias y alergias en personas expuestas a las colecciones (Florian, 2002).

Un tercer género encontrado es *Cladosporium*, que afecta negativamente al MHN, debido a que, crece en el mobiliario compuesto de materiales orgánicos como madera y papel. Este microhongo resultó especialmente problemático por la poca ventilación en el espacio, ya que sus esporas se propagan fácilmente, deteriorando no sólo el mobiliario de almacenamiento sino a las mismas colecciones biológicas y documentos importante. La presencia de *Cladosporium* no solo compromete la integridad física de los objetos y la colección, sino que también puede afectar la salud de estudiantes, maestros, investigadores y visitantes al causar alergias y problemas respiratorios (Florian, 2002).

Finalmente, los resultados de esta investigación revelan la presencia significativa de microhongos como *Aspergillus* y *Penicillium* en colecciones biológicas de artrópodos y aves, lo que pone de manifiesto la vulnerabilidad de los ejemplares ante condiciones inadecuadas de preservación y manipulación. Estos microhongos no solo aceleran el deterioro físico de los materiales, como la descomposición del tejidos, exoesqueletos y plumas, sino que también

representan un riesgo potencial para la salud humana. Este estudio destaca la importancia de implementar estrictos controles ambientales en términos de temperatura y humedad, así como prácticas de manipulación, limpieza y monitoreo regular para mitigar el impacto de estos microorganismos. Los hallazgos subrayan la necesidad de más investigaciones y métodos de conservación y control fúngico, con el fin de preservar de manera efectiva la integridad de las colecciones biológicas a largo plazo y proteger el patrimonio científico, educativo y cultural que representan.

## Conclusiones

La elaboración del protocolo para el manejo y preservación de la colección biológica de artrópodos y aves del Museo de Historia Natural (MHN) representa un paso fundamental hacia la preservación eficiente de estos valiosos recursos biológicos. Este protocolo, está basado en una evaluación exhaustiva de las condiciones actuales de las colecciones y los riesgos asociados, proporcionando directrices claras y prácticas para el control ambiental, almacenamiento, manipulación y monitoreo de los especímenes. Además, incluye directrices para el control de factores físicos del ambiente, como la regulación y monitoreo de la temperatura y humedad, así como, procedimientos de limpieza y desinfección de los espacios del MHN. En ese sentido, se buscó estandarizar las prácticas de preservación, no solo para prolongar la vida útil de los especímenes, sino también garantizar su integridad para futuras investigaciones y exhibiciones.

La implementación de este protocolo fortalecerá la capacidad del MHN para proteger su biopatrimonio, asegurando que estas colecciones sigan siendo un recurso invaluable para la investigación científica, la educación y la conservación de la biodiversidad. Por lo tanto, se espera que se evidencie una mejora significativa en la preservación de los especímenes y se reduzca el riesgo de daño por microhongos y otros agentes contaminantes biológicos y no biológicos.

Así mismo, la presente investigación y el desarrollo de este protocolo no solo aportan al manejo específico de las colecciones del MHN, sino que además contribuyen a un conocimiento científico más amplio sobre la preservación de colecciones biológicas en entornos museísticos. Así como, los hallazgos y metodologías propuestas pueden ser utilizados como referencia para otras instituciones que enfrentan desafíos similares, promoviendo una mejor comprensión y mejores prácticas en la preservación de patrimonio biológico. Al compartir estos resultados, se busca fomentar un diálogo continuo entre museos y centros de investigación, enriqueciendo así el campo de la preservación y conservación biológica.

Por otra parte, se identificó microhongos contaminantes en las colecciones biológicas

de aves, los cuales fueron *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Microsporium* y una levadura. Para la colección de artrópodos, se encontró *Penicillium*, *Aspergillus*, *Microsporium*, *Sclerotium* y una levadura. Aunque también se encontró el género *Botrytis*, en muestras de restos vegetales, que se presentes en esta colección. En el ambiente se observaron microhongos de los géneros *Cladosporem* y *Rodothorula*. Reconocer las especies fúngicas más relevantes, permitió determinar su impacto en los especímenes y algunas relaciones entre organismos.

La investigación y el análisis en la enseñanza – aprendizaje de la Biología son fundamentales no sólo para comprender, como en este caso, procesos como el deterioro de las colecciones biológicas o cualquier fenómeno, sino también para evitar sesgos en el conocimiento se enseña y se aprende. En el campo de las ciencias, es común que surjan interpretaciones subjetivas, en parte porque, como seres humanos tendemos a establecer vínculos y perspectivas personales que pueden incidir e interferir con la evaluación de fenómenos, sucesos, practicas, eventos, etc. Esta situación es frecuente en el gremio de docentes, doce repetir ideas sin cuestionarlas, puede dar lugar a “verdades” que se asumen como absolutas. Para una maestra o maestro investigar y analizar críticamente permite desafiar las creencias establecidas, permitiendo una enseñanza – aprendizajes más auténticos y basado en la evidencia.

## **Recomendaciones**

Se recomienda aislar las bacterias contaminantes en las aves y realizar pruebas de antibiosis con diferentes antibióticos que se encuentren en el mercado y así mirar cual es el antibiótico con mayor efecto y así poder utilizarlo preservación de estos especímenes.

Se recomienda aislar los hongos contaminantes en las aves y artrópodos y realizar pruebas de antifúngicas con diferentes antimicóticos que se encuentren en el mercado y así determinar cuál es el de mayor efectividad y así poder utilizarlo preservación de estos especímenes.

Mantener niveles óptimos de temperatura y humedad para prevenir la proliferación de hongos y otros microorganismos. Generalmente, se recomienda una temperatura entre 18-22°C y una humedad relativa por debajo del 50%, para la ubicación geográfica del MHN.

Utilizar deshumidificadores y sistemas de ventilación adecuados para garantizar la circulación del aire y reducir la humedad.

Realizar inspecciones periódicas de las colecciones para detectar signos de deterioro, infestación de microhongos o plagas. Documentar los hallazgos y tomar medidas correctivas inmediatas cuando sea necesario.

Utilizar contenedores y materiales de almacenamiento que sean libres de ácido y apropiados para la conservación a largo plazo, materiales como el acero inoxidable y/o aluminio. Los recipientes de vidrio, plástico y metal pueden ser utilizados, dependiendo de los materiales de los especímenes.

Etiquetar adecuadamente todos los especímenes con información relevante, como fecha de recolección, ubicación y estado de conservación, para facilitar el acceso y la identificación.

Establecer protocolos de manejo que minimicen el contacto físico con los especímenes. Usar guantes de algodón o nitrilo al manipular objetos para evitar la transferencia de aceites o suciedad de las manos.

Evitar la exposición directa a la luz solar y a fuentes de calor, ya que esto puede causar daños a largo plazo.

Implementar un programa regular de limpieza y desinfección de los espacios de almacenamiento y exhibición. Utilizar soluciones apropiadas que no dañen los materiales biológicos.

Mantener el área de almacenamiento libre de polvo y suciedad para prevenir la infestación de plagas y hongos.

Capacitar al personal y a los voluntarios sobre las mejores prácticas en el manejo y conservación de colecciones biológicas. La concienciación sobre la importancia de la preservación es clave para el éxito a largo plazo.

Fomentar una cultura de conservación dentro de la institución, asegurando que todos comprendan el valor de las colecciones y su correcto manejo.

Establecer redes de colaboración con otras instituciones y expertos en conservación para compartir recursos, conocimientos y experiencias. Participar en conferencias y talleres sobre conservación de colecciones biológicas.

Mantener un registro detallado de la procedencia de cada espécimen, así como de las intervenciones realizadas, el estado de conservación y cualquier tratamiento aplicado. Esto es vital para la gestión y el seguimiento de la colección a lo largo del tiempo.

Revisar y actualizar regularmente los protocolos de manejo y conservación en función de nuevas investigaciones y avances en la conservación. Adaptar las estrategias según las necesidades específicas de la colección y las condiciones ambientales cambiantes

Se recomienda establecer un sistema de archivo digital que integre plataformas de gestión de datos especializadas, como Specify, Arctos o Symbiota, para la gestión de las colecciones biológicas del Museo de Historia Natural (MHN) de la Universidad Pedagógica Nacional. Este sistema debe permitir la digitalización de los especímenes, asegurando la captura de imágenes de

alta resolución y, cuando sea posible, la realización de escaneos 3D para preservar la morfología de los ejemplares de artrópodos y aves.

El archivo digital debe seguir estándares internacionales como Darwin Core, que facilitan la estructuración de metadatos asociados con cada espécimen. Esto incluye información sobre la ubicación geográfica de recolección, condiciones ambientales, identificación taxonómica y estado de conservación. Al integrar un archivo digital robusto y estandarizado, se facilitará el acceso y la colaboración entre investigadores, mejorando la preservación y el estudio de las colecciones biológicas. Además, este enfoque contribuirá a la protección de los datos frente a pérdidas físicas, garantizando la continuidad del conocimiento científico asociado con estas colecciones.

## Referencias bibliográficas

- Albright, D. (2001). Human health effects of airborne mycotoxins exposure in fungi-contaminated indoor environments. *Professional Safety*, 46(11), 26-28.
- Arbelaez, E., Criales, M. I., Ramírez, M. P., Serrano, V. H., Miranda, D. R., Fuentes, J. L., Marchant, S. A., & Castaño, A. F. (2019). Protocolo de manejo de las colecciones biológicas de la Universidad Industrial de Santander. Escuela de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Industrial de Santander.
- Babbie, E. (2016). *The practice of social research* (14th ed.). Cengage Learning.
- Baker, K. S., & O'Connor, M. (2008). *Conservation of Biological Collections*. Cambridge University Press.
- Barriuso, N. (2015, octubre 31). *Tipos de museos*. Croma Comisarios Culturales. <https://www.cromacultura.com/tipos-de-museos/>
- Bennett, J. W., & Klich, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497-516.
- Bergey, D. H. et al. (2001). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Springer
- Bernal, A., & Ramírez, D. (2005). Protocolos para la preservación y manejo de colecciones biológicas. *Museo de Historia Natural*, 10, enero.
- Biswas, S. K., & Mukherjee, N. (2011). Rhodotorula Species: An Emerging Cause of Human Infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 49(4), 1172–1174.
- Borrego, S., Perdomo, I., Guiamet, P., & Gómez De Saravia, S. (2010). Estudio de la concentración microbiana en el aire de depósitos del Archivo Nacional de Cuba. *AUGMODOMUS*, 1, 118-137.

- Caneva, G., Nugari, M. P., & Salvadori, O. (2008). *Biological Sciences in Cultural Heritage*. Firenze University Press.
- Castañeda, L. C. (2019). *Protocolo para la Conservación y Zoocría de tres especies de mariposas del género Hamadryas (H. laodamia, H. Februa y H. Amphinome) del Parque Nacional Tinigua, Vereda la Belleza en La Uribe – Meta* (Tesis de Grado, UNIMETA).
- Cepeda, R., et al. (2000). Dynamics and species identification. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46, 205-220.
- Dales, R. E., et al. (2009). Ambient Air Sampling and the Detection of Fungal Spores. *Atmospheric Environment*, 43(1), 167-175.
- Davis, R. M., & Pearson, R. C. (2001). Sclerotium. En *Compendium of Plant Disease: Diseases of Vegetable Crops* (pp. 96-98). The American Phytopathological Society.
- Deacon, J. (2006). *Fungal Biology* (4th ed.). Blackwell Publishing.
- Deloche, B. (2007). *Définition du musée. Vers une redéfinition du musée*. Paris, L'Harmattan.
- Ellis, M. B. (1971). *Dematiaceous Hyphomycetes*. Commonwealth Mycological Institute.
- Ellis, M. B. (1985). Mucorales. En *More Dematiaceous Hyphomycetes* (pp. 507-536). Commonwealth Mycological Institute.
- Elad, Y., Pertot, I., Prado, A. M. C., & Stewart, A. (2016). Plant Hosts of Botrytis spp. In *Botrytis – the fungus, the pathogen and its management in agricultural systems* (pp. 413-486). Springer International Publishing.
- Fazio, A. T., Papinutti, L., Gómez, B. A., Parera, S. D., Rodríguez Romero, A., Siracusano, G., & Maier, M. S. (2010). Fungal deterioration of a Jesuit South American polychrome wood sculpture. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(8), 694-701.

- Flieder, F. (2001). La conservación de colecciones biológicas en museos. *Revista de Conservación Preventiva*, Córdoba, Argentina.
- Florian, M. L. (1997). *Heritage Eaters: Insects & Fungi in Heritage Collections*. James & James.
- Florian, M.-L. E., & Manning, L. (2019). SEM analysis of irregular fungal fox spots in an 1854 book: population. *Bol. Micol.*, 34(2), 33-49.
- Gallo, F., & Pasquariello, G. (2012). Mould in Museum Collections: Monitoring and Control. *International Preservation Studies Journal*, 24(3), 45-61.
- García, R. D., Villagrán, M., Wittner, D. N., & Kun, M. E. (2022). Colección biológica de insectos: de la recolección a la conservación. *Revista Producción + Limpia*, 17(1), 1-14.
- Gil, R. (2016). *Protocolos de conservación y restauración aplicables a la colección de aves y mamíferos naturalizados del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCM-CSIC)* [Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid].
- González, A. (2007). *Penicillium marneffe*. En F. J. Díaz, S. Estrada, L. Franco, J. M. Jaramillo, A. E. Maestre, S. Ospina, C. Robledo, & J. Robledo (Eds.), *Fundamentos básicos de medicina. Microbiología de las Infecciones Humanas* (pp. 770-774). Corporación para Investigaciones Biológicas (CIB).
- Guerrero, S. (2019). Protocolo de conservación y manejo de las aves como base fundamental en el plan turístico del departamento del Vaupés.
- Herrera, K., Cóbar, O., Barrios, R., Pierola, K., Chamalé, W., Rosales, C., Quan, J., Moreno, M., Paxtor, J., & 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*, 25(2), 43–58. <https://doi.org/10.54495/Rev.Cientifica.v25i2.90>

Infante, F., Castro, A., Domínguez, E., Gúadía, A., Méndez, J., Sabariego, S., & Vega, A. (1999). A comparative study of the incidence of Cladosporium conidia in the atmosphere of five Spanish cities. *Polen*, 10, 15-23.

Jiménez M., H. M. (2018). *Estudio de la diversidad y taxonomía de hongos como estrategia para la enseñanza de la biología. Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 11(21), 111–116

Kattan, G., Mejía, P. A., & Valderrama A., C. (2005). Protocolo para la formulación de planes de conservación y manejo de especies focales.

Kearney, M., Chown, S. L., & Jansen, A. (2014). *Guidelines for the Management of Biological Collections*. Biodiversity Heritage Library.

Klanova, K. (2000). The concentrations of mixed populations of fungi in indoor air: rooms with and without mould problems rooms with and without health complaints. *Central European Journal of Public Health*, 8, 59-61.

Klich, M. A. (2002). *Identification of Common Aspergillus Species*. Centraalbureau voor Schimmelcultures.

Koneman, E. (2001). *Diagnostico Microbiologico: texto y atlas color*. Editorial Medica Paramericana.

Kryukov, V. Y., Kryukova, N. A., Tomilova, O. G., Vorontsova, Y., Chertkova, E., Pervushin, A. L., Slepneva, I., Glupov, V. V., & Yaroslavtseva, O. N. (2020). Comparative analysis of the immune response of the wax moth *Galleria mellonella* after infection with the fungi *Cordyceps militaris* and *Metarhizium robertsii*. *Microbial Pathogenesis*, 141(103995). <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.103995>

Kurtzman, C. P., & Fell, J. W. (1998). *The Yeasts: A Taxonomic Study*. Elsevier.

León, K. E. (2019). *Caracterización analítica de exopolisacáridos sintetizados por tres tipos de Penicillium spp. aislados del suelo antártico* (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil).

López, L. (2022). Temporada de hongos. Temporada de Cordyceps mexicana, una nueva especie para la Ciencia. *Revista De Identidad Universitaria*, 1(19), 7-8.

<https://revistaidentidad.uaemex.mx/article/view/20499>

López, J., Torres, A., & Pineda, C. (2017). "Optimal Conditions for Biological Specimen Preservation." *Journal of Biological Preservation*, 12(3), 205-213.

López-Martínez, R., Hernández-Hernández, F., Millán-Chiu, B., Manzano-Gayosso, P., & Méndez-Tovar, L. J. (2007). Las levaduras del género *Rhodotorula*. *Revista Iberoamericana de Micología*, 24(1), 30-36.

López-Ortega, M. (2019). *Rhodotorula* spp. patógeno oportunista. *Boletín de la Sociedad Argentina de Micología*, 4(2), 15-17.

Maekawa, S. (2003). Biodeterioration in cultural heritage: Lessons from recent studies. *Journal of Cultural Heritage*, 4(1), 115-119.

Marchant, S. A., & Laverde, S. G. (2010). Colecciones Biológicas de la Universidad Nacional. *Revista Colombiana de Ciencia*, 12(3), 421-450.

Matos, A. D., & Alencar, D. (2021). *Manual de Manejo de Colecciones Biológicas*. Ed. Universidad Federal de Pernambuco.

Mesa, M., et al. (2006). El Protocolo de Kioto y la estrategia del desarrollo limpio: oportunidades y riesgos para Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 15, 61-78.

Muniz, E. R., & Hernández, P. E. (2007). Protocolo de preservación de colecciones científicas biológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(1), 191-196.

Ojeda, D., & Nieto, R. (2018). Levantamiento y evaluación de agentes biológicos en el aire de colecciones museológicas de historia natural. *Revista Venezolana de Estudios en Museología*, 3(4), 98-106.

Pankow, J. (2001). The concentration of particulate matter (PM10, PM2.5, and PM1) and microbiological aerosols in office buildings. *Building and Environment*, 36(4), 491-498.

Pereira, F. (2016). Análisis microbiológico en museos: Métodos y técnicas. *Revista Española de Micología*, 33(2), 95-106.

Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009). *Fungi and Food Spoilage* (3rd ed.). Springer Science + Business Media.

Ramírez, D., & Mesa, M. (2017). Levantamiento y evaluación de agentes biológicos en el aire de colecciones museológicas de historia natural. *Revista Venezolana de Estudios en Museología*, 3(4), 98-106.

Ramírez, N., Olmedo, C., & Rey, M. (2009). Mycological contamination in university libraries: A comparative study of two indoor environments. *Indoor and Built Environment*, 18(5), 400-409.

Reynaga, S. M. (2006). Biodeterioration of leather bookbinding by fungi: An analysis of selected manuscripts from the National Library of Peru. *Restaurator*, 27(3), 157-172.

Rico, E., Barón, D., de Alcaraz, G. L., Moreno, P. R., & Díaz, P. A. (2014). *Manual de Procedimientos para la Conservación y Manejo de Colecciones Biológicas*. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Veracruzana.

Rodríguez, R., & Ortiz, H. (2010). Biodeterioration of cultural heritage in museums: Airborne fungi in the National Museum of Anthropology, Mexico City, Mexico. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(3), 195-201.

Rosero, P. A., & Muñoz, J. A. (2022). Colecciones biológicas: Importancia y conservación. *Revista Colombiana de Ciencias Biológicas*, 14(2), 245-262.

Rosselli, D., & Fernández, M. (2011). Conservación preventiva: Mantenimiento y preservación de colecciones biológicas. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 29(1), 55-76.

Rothschild, J. (2019). "Monitoring and Maintenance of Biological Collections." *Collection Management*, 44(2), 78-86.

Salvador, E., & Guixé, A. (2009). La conservación de colecciones biológicas. *Museos*, 27(2), 165-178.

Sánchez, M. G. (2007). Aspergillus: Challenges in culture collection preservation. *Studies in Mycology*, 59, 37-44.

Searle, C. L., & Keeler, S. P. (2007). *Protistología: un enfoque microbiológico*. Editorial Universitaria.

Serna, L., Ramírez, J., & Jiménez, A. (2016). Efecto de la temperatura y humedad en la preservación de colecciones biológicas: un estudio experimental en la colección entomológica de la Universidad del Tolima. *Revista Colombiana de Entomología*, 42(1), 89-98.

Sgaramella, A. E., & Rossetti, S. (2008). Micromycetes of the genus Cladosporium from cultural heritage: A study of their biodeteriorating activity. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62(3), 275-280.

Stallard, M. (2016). *Documenting Biological Collections: Best Practices*. Smithsonian Institution Press.

Stamatopoulou, E., & Karabetsos, E. (2019). Biodeterioration of cultural heritage: Indoor air quality management in Greek museums. *Studies in Conservation*, 64(4), 236-251.

Torero, J. A., & Gonzalez, A. (2020). Prevención del biodeterioro en colecciones biológicas: Protocolo de manejo en museos de historia natural. *Revista de Biología y*

*Conservación*, 18(2), 131-145.

Vallejo, D., & Cabrera, M. E. (2017). Biodeterioration in historic buildings: A case study in a colonial museum in Ecuador. *Journal of Cultural Heritage*, 29, 99-108.

Velázquez, J., & Hernández, J. (2010). The role of airborne fungi in the biodeterioration of art objects: A comprehensive review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 64(3), 181-189.

Venturini, V. (2018). Protocolos de conservación en museos: El caso del Museo Nacional de Historia Natural. *Revista de Museología*, 12(1), 45-58.

Wainwright, M., & Heaney, M. (1998). A note on the resistance of fungal spores to gamma radiation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 42(3), 123-126.

Worthen, K. (2002). Moulds in Museum Collections: An Overview. *Journal of the American Institute for Conservation*, 41(1), 67-79.

Zeeman, K. (2017). Guidelines for preventive conservation in cultural heritage. *Museum International*, 69(3-4), 124-129.

