



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 21/ Edición N.42
Julio - diciembre de 2024
Reia4217 pp. 1-19

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Ladino-Quintero, N.; Garavito, I.;
Patiño, M. C.; Ramírez, O.
Evaluación de la carga microbiana
del aire interior y condiciones
microclimáticas en la biblioteca del
campus de la Universidad Militar
Nueva Granada

Revista EIA, 21(42), Reia4217.
pp. 1-19.
<https://doi.org/10.24050/reia.v21i42.1741>

✉ *Autor de correspondencia:*

Omar Ramírez
Ingeniero Ambiental y Sanitario
Universidad Militar Nueva Granada
omar.ramirez@unimilitar.edu.co

Recibido: 26-10-2023

Aceptado: 27-05-2024

Disponible online: 01-07-2024

Evaluación de la carga microbiana del aire interior y condiciones microclimáticas en la biblioteca del campus de la Universidad Militar Nueva Granada

NATALI LADINO-QUINTERO¹

IBSEN GARAVITO¹

MARÍA CAMILA PATIÑO¹

✉ OMAR RAMÍREZ¹

1. Universidad Militar Nueva Granada

Resumen

Los bioaerosoles fúngicos y bacterianos tienen el potencial de generar biodeterioro de los libros y materiales de archivo almacenados en las bibliotecas por acción de sus procesos metabólicos. El desarrollo de estos procesos está determinado por factores microclimáticos como la humedad relativa y la temperatura. A nivel nacional los estudios sobre biodeterioro en bibliotecas han sido escasos, al igual que la investigación sobre bioaerosoles en ambientes interiores. Estos temas son de alta importancia ya que repercuten en la salud de las personas y en la conservación de los libros. Este estudio tiene como objetivo determinar la carga microbiana del aire interior de la biblioteca del campus de la Universidad Militar Nueva Granada (Cajicá, Colombia), así como analizar las condiciones microclimáticas del lugar. Se utilizó un muestreador de aire MAS-100 Eco, con un flujo de aire de 100 L/min durante 2.5 minutos, y se empleó como medio de cultivo agar nutritivo y rosa de bengala. Las muestras se encubieron durante 8 días y el conteo de colonias se realizó sobre la caja de Petri. Para la identificación fúngica se realizó tinción con azul de lactofenol y para clasificar las bacterias se empleó la tinción de Gram. Para el monitoreo de las condiciones microclimáticas se empleó un *data logger* con conexión USB. Como parte de los resultados se obtuvieron cargas microbianas entre 220 y 921 UFC/m³. La temperatura varió entre 18,2 y 18,6°C y la humedad relativa entre 60,8 y 64,7%. Se identificaron géneros de hongos tales como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*, así como bacterias Gram positivas y Gram negativas. Se observó que cuando la humedad relativa aumenta, la concentración de aerosoles fúngicos tiende a

presentar el mismo comportamiento. Se concluyó que las condiciones microclimáticas de humedad relativa pueden aumentar el riesgo de biodeterioro en la biblioteca.

Palabras clave: aerosoles fúngicos y bacterianos; bacterias en el aire; biblioteca universitaria; bioaerosoles; biodeterioro; calidad del aire interior; carga microbiana; hongos en el aire; humedad del edificio; temperatura del edificio.

Assessment of indoor air microbial load and microclimatic conditions in the library of Nueva Granada Military University Campus

Abstract

Fungal and bacterial bioaerosols have the potential to induce biodeterioration in books and archival materials stored within libraries through their metabolic processes. The progression of these processes is dependent on microclimatic factors, including relative humidity and temperature. At the national level, research on biodeterioration in libraries and investigations into bioaerosols in indoor environments have been limited. These topics are of great significance as they have an impact on both public health and book preservation. This study aims to determine the microbial load within the indoor air of the library situated on the campus of Universidad Militar Nueva Granada in Cajicá, Colombia. Simultaneously, it seeks to investigate the microclimatic conditions of this environment. We used a MAS-100 Eco air sampler with an airflow rate of 100 L/min for a duration of 2.5 minutes. Nutrient agar and rose Bengal were employed as culture media. The samples were incubated for 8 days, and colony counting was performed on Petri dishes. For fungal identification, we used lactophenol blue staining, and Gram staining was employed for bacterial classification. Microclimatic conditions were continuously monitored using a data logger equipped with a USB connection. The results revealed microbial loads ranging from 220 to 921 CFU/m³, with temperatures fluctuating between 18.2 and 18.6°C, and relative humidity levels within the range of 60.8% to 64.7%. The identification of fungal genera, including *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Cladosporium*, as well as both Gram-positive and Gram-negative bacteria, was successfully achieved. An interesting observation emerged, indicating a corresponding increase in the concentration of fungal aerosols as relative humidity levels rose. In conclusion, this study emphasizes that microclimatic conditions, especially relative humidity, may increase the risk of biodeterioration within the library.

Keywords: *bacteria in the air; biodeterioration; bioaerosols; building humidity; building temperature; fungi in the air; fungal and bacterial aerosols; indoor air quality; microbial load; university library.*



1. Introducción

La historia de la humanidad cambió cuando diferentes sociedades expresaron de forma escrita sus ideas, códigos y experiencias. Desde entonces, buena parte de los conocimientos y saberes son plasmados en papel y libros que quedan como evidencia histórica del paso de millones de personas y colectividades por el planeta. Hoy en día, dichos documentos, tanto antiguos como contemporáneos, son almacenados en bibliotecas con el fin de conservarlos, sin embargo, esta tarea se ve afectada por condiciones ambientales de temperatura (T), humedad relativa (HR) y contaminantes atmosféricos (como bioaerosoles), los cuales pueden causar biodeterioro del papel.

Gran interés ha generado el estudio de contaminantes químicos atmosféricos como el dióxido de carbono, el material particulado y los óxidos de azufre y nitrógeno, pero no se ha brindado la misma atención a los aerosoles biológicos o bioaerosoles. Estos pueden definirse como partículas sólidas que se encuentran en suspensión en el aire y tienen origen en organismos biológicos, incluidos microorganismos y fragmentos de materiales biológicos (Després et al., 2012). Los bioaerosoles incluyen bacterias, hongos, esporas, polen, arqueas, entre otros fragmentos biológicos con un tamaño desde 10 nm hasta 100 μm (Chen et al., 2019). Por su pequeño tamaño, se ha reportado que los bioaerosoles pueden transportarse en el aire, pero su tiempo de residencia y la distancia que se

transportan se ven afectados por factores como la HR y la T (Gupta et al., 2021).

Se ha documentado que los bioaerosoles exteriores representan una gran fuente de bioaerosoles en ambientes interiores, debido a que ingresan por la ventilación natural, los sistemas de calefacción y los aires acondicionados (Li et al., 2022), razón por la cual se ha identificado, por ejemplo, organismos patógenos de plantas (como *Cladosporium spp*) en recintos de estudio como bibliotecas (Hassan et al., 2021). En ese sentido, los bioaerosoles tienen el potencial de llegar a las bibliotecas por fuentes externas e internas, y se quedan en ellas porque encuentran sustratos para alimentarse y reproducirse, por lo que se les conoce como agentes de biodeterioro (Kadaifciler, 2017). El biodeterioro se considera como el daño o pérdida de materiales de archivo, como libros y documentos, debido a la acción de organismos biológicos (Kadaifciler, 2017). El daño que pueden causar estos microorganismos tiene origen en los productos de procesos metabólicos como las enzimas, ácidos orgánicos, aminoácidos, entre otros (Niesler et al., 2010). Las bacterias, incluyendo *Bacillus*, *Clostridium* y *Streptomyces*, por ejemplo, pueden degradar el papel por medio de sistemas enzimáticos de actividades celulíticas (Guamet et al., 2011).

Diferentes bioaerosoles fúngicos y bacterianos han sido reportados en estudios sobre carga microbiana y biodeterioro en bibliotecas. En Santa Marta, Colombia, se encontraron géneros de hongos como *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Curvularia* y *Chrysonilia* en la Biblioteca Popular de Gaira (Camargo Caicedo et al., 2023). En Polonia, se analizaron dos bibliotecas en las que se aislaron 34 especies de hongos, incluyendo *Alternaria tenuissima*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium crustosum*, *Rhizopus oryzae*, entre otros, y bacterias como *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus lentus* y *Pseudomonas alcaligenes* (Skóra et al., 2015). En Venecia, Italia, se llevó a cabo un estudio de hongos xerófilos en la Biblioteca de Humanidades en la Universidad Ca' Foscari, Palazzo Malcanton Marcorà, en la cual se encontraron diversas especies, incluyendo *Aspergillus creber*, *Aspergillus protuberus* y *Penicillium chrysogenum* (Micheluz et al., 2015). En 4 bibliotecas polacas se encontraron bacterias como *Pseudomonas putida*, *Staphylococcus spp.*, *Micrococcus spp.* y *Bacilo sphaericus*, y especies de hongos tales como

Trichothecium laxicephalum, *Alternaria tenuis*, *Aspergillus repens* y *Cephalosporium acremonium* (Karbowska-Berent et al., 2011).

La presencia de bioaerosoles y los procesos de biodegradación están determinados por múltiples factores, tales como la HR y la T del ambiente interior de los espacios de almacenamientos de libros, la composición química de los documentos y la presencia de polvo (Okpalanozie et al., 2018). Por lo anterior, diferentes autores y entidades han informado los valores recomendables de T y HR en las bibliotecas. Algunos reportan valores de HR entre 45% y 55% y valores de temperatura entre 16 °C y 21 °C (Carrera y Paladínez, 2017). Entretanto, algunas entidades nacionales, como el Archivo General de la Nación de Colombia (AGN), recomiendan que las condiciones ambientales de lugares donde se almacenen documentos en soporte de papel deben ser, según el Acuerdo 49 de 2000, de 45% y 60% de HR, con una fluctuación diaria de 5%, y una temperatura del aire de 15 °C y 20 °C, con una fluctuación diaria de 4 °C. Por otro lado, la Federación Internacional de Asociaciones de Bibliotecarios (IFLA) recomienda, a nivel internacional, un rango de HR entre 50-60% y una T entre 18-20°C (Montanari et al., 2012). Si bien las recomendaciones provienen de diferentes lugares, la mayoría concuerda con que el límite máximo de HR es del 60% y de temperatura alrededor de 20 °C.

En esta investigación se determinó la carga microbiana en el aire interior de la biblioteca del campus de la Universidad Militar Nueva Granada (CNG), con el fin de caracterizar los microorganismos predominantes y observar su relación con las condiciones microclimáticas (T y HR).

2. Materiales y métodos

2.1. Punto de muestreo

Las muestras de aire fueron tomadas en la biblioteca del CNG, ubicado en el Km 2 vía Cajicá - Zipaquirá (4.942277372808698, -74.0120141541375) en Cundinamarca, Colombia. La biblioteca cuenta con un solo piso y está dividida en tres secciones. Una sección cuenta con salas de reuniones, otra sección con mesas para estudio y en la tercera sección se encuentran las estanterías con los libros, la cual tiene un área de 130,6 m² y corresponde a la sección bajo estudio (Figura 1). Todo el espacio de la biblioteca tiene ventilación natural y no cuenta con sistemas de calefacción.

Figura 1. Biblioteca del Campus de la Universidad Militar Nueva Granada.



En general, los libros que se pueden encontrar en la biblioteca no superan los 15 años de publicación y son frecuentemente manipulados y consultados por estudiantes, profesores y personal de aseo de la biblioteca. Las estanterías están hechas en acero y cuentan con ganchos para facilitar el movimiento de los libros para su limpieza.

2.2. Muestreo microbiológico del aire

Se recolectaron muestras de aire en una estantería ubicada en la mitad de la sección de almacenamiento a una altura de 1,20 m. El muestreo se realizó durante cuatro meses, desde agosto a noviembre

de 2022. Se tomaron dos muestras por mes y luego se promediaron para la presentación final de resultados. Se utilizó un muestreador de aire MAS-100 Eco de la marca Merck, con un flujo de aire de 100 L/min. Las muestras se obtuvieron durante 2,5 minutos, empleando cajas de Petri con agar nutritivo (AN) para bacterias y rosa de bengala (RB) para hongos. Esta configuración se definió de acuerdo con lo sugerido por el AGN. Cada muestra se tomó por duplicado, obteniendo un total de 32 muestras. Las muestras de bacterias se incubaron a 35 °C durante ocho días y los hongos fueron incubados a 25 °C durante igual periodo de tiempo.

2.3. Conteo de colonias e identificación microbiana

Las colonias fúngicas y de bacterias se contaron sobre la caja de Petri y se expresaron como unidades formadoras de colonias por metro cúbico (UFC/m³), empleando la conversión de litros a metros cúbicos que se muestra en la ecuación 1.

$$\text{UFC/m}^3 = \text{UFC}/250 \text{ L} * 1000\text{L/m}^3 \quad (\text{Ecuación 1})$$

La identificación de bacterias se realizó a nivel de tinción de Gram, clasificándolas como Gram positivas o Gram negativas. Las colonias fúngicas se identificaron por medio de tinción con azul de lactofenol observando al microscopio sus hifas y estructuras reproductivas para determinar su género.

2.4. Monitoreo de las condiciones ambientales

Se monitorearon y registraron los datos de T y HR durante el periodo de estudio empleando un *datalogger* con conexión USB de la marca Extech, referencia RHT30. Este dispositivo se configuró para registrar datos cada 5 minutos. Con los datos recolectados se realizaron promedios mensuales y se establecieron los valores máximos y mínimos de cada parámetro, con el fin de observar alguna relación entre las condiciones microclimáticas y la carga microbiana del aire interior en la biblioteca.

3. Resultados y discusión

3.1. Carga microbiana en el aire interior de la biblioteca

La carga microbiana varió entre 220 y 921 UFC/m³, con un promedio de 463 UFC/m³ durante el periodo de análisis (Tabla 1). En el mes de agosto la carga microbiana sobrepasó un 84,2% el límite establecido por el AGN (500 UFC/m³) para lugares donde se almacenan libros y material de archivo (Archivo General de la Nación, 2018), siendo este el mes con la mayor carga microbiana. La carga más baja se presentó en el mes de octubre.

Tabla 1. Resultados de la carga microbiana durante el periodo de estudio en la biblioteca

Mes	Concentración (UFC/m ³)			Nivel de contaminación*	
	Hongos	Bacterias	Carga Microbiana	Hongos	Bacterias
Agosto	764	157	921	Alto	Intermedio
Septiembre	193	66	259	Intermedio	Bajo
Octubre	200	20	220	Intermedio	Muy bajo
Noviembre	388	63	451	Intermedio	Bajo

Nota: *Los niveles de contaminación se clasifican de acuerdo con lo establecido por la Comisión Europea (1993).

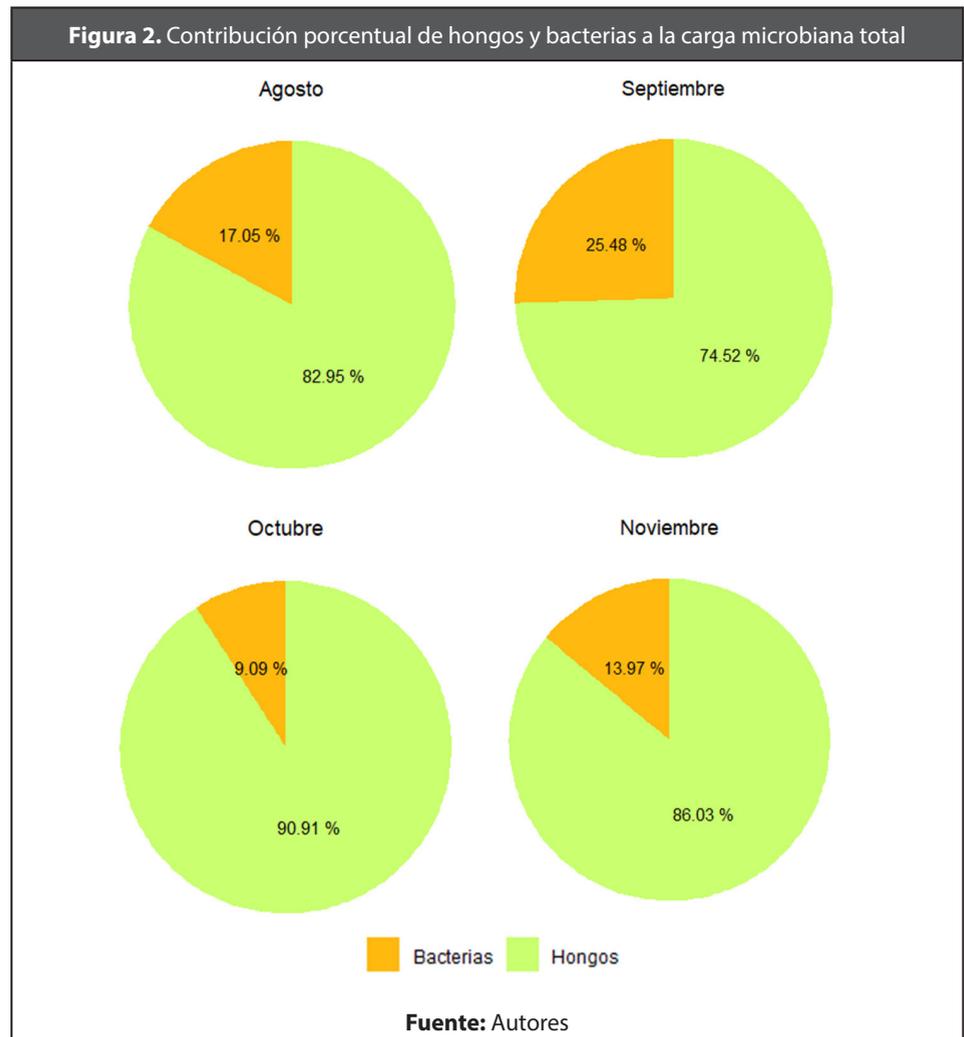
Fuente: Autores

Existen diferentes variables que pueden afectar la presencia de hongos y bacterias en ambientes interiores. Una de ellas son las actividades humanas. Heo et al., (2017) reportaron que el número de personas y sus actividades en movimiento tienen correlaciones positivas con la concentración de bioaerosoles bacterianos en ambientes interiores. El mes de agosto corresponde al primer mes de clases en el campus de la Universidad Militar Nueva Granada, mes en el cual pudo haber un mayor número de personas entrando a la biblioteca, moviendo y retirando libros para las actividades académicas, por lo que puede ser la posible causa del alto nivel de concentración. Otra variable es el tipo de ventilación con la que cuenta el espacio interior. Estudios anteriores han reportado que los sistemas de ventilación mecánica pueden mantener un mejor nivel de calidad del aire interior (Hassan et al., 2021). La biblioteca del CNG cuenta con ventilación natural y se encuentra

situada al lado de un lago artificial con vegetación, el cual puede ser fuente de microorganismos. De igual forma, eventos de lluvia o vientos fuertes pueden arrastrar hongos y bacterias suspendidos en el aire al interior de la biblioteca por medio de la ventilación, aumentando su concentración. Durante el mes de agosto, los primeros muestreos del aire interior se realizaron después de eventos de lluvia, razón por la cual se pudieron aumentar los niveles de concentración de bioaerosoles.

La concentración de hongos varió de 193 a 764 UFC/m³. Según estos resultados, la contaminación de hongos se encontraba en un nivel alto en el mes de agosto y en un nivel intermedio para los meses de septiembre, octubre y noviembre. En contraste con los hongos, la concentración de bacterias, la cual varió de 20 a 157 UFC/m³, representó un nivel de contaminación muy bajo en el mes de octubre, niveles bajos en los meses de septiembre y noviembre y un nivel intermedio en el mes de agosto (Commission of the European Communities, 1993).

La Figura 2 muestra la distribución proporcional de hongos y bacterias dentro de la carga microbiana. Se observa cómo a lo largo del periodo de estudio se presentó una mayor población fúngica respecto a la bacteriana, siendo octubre el mes en el que mayor representación hubo por parte de los hongos con un total de 91%. En lo que respecta a los resultados obtenidos para la concentración de hongos, estos concuerdan con lo que han reportado diversos autores como Camargo Caicedo et al. (2023), Chmiel et al., (2019), Kalwasińska et al. (2012), y Giraldo-Castrillón et al. (2009), quienes han evaluado la concentración microbiana de bibliotecas con metodologías similares.

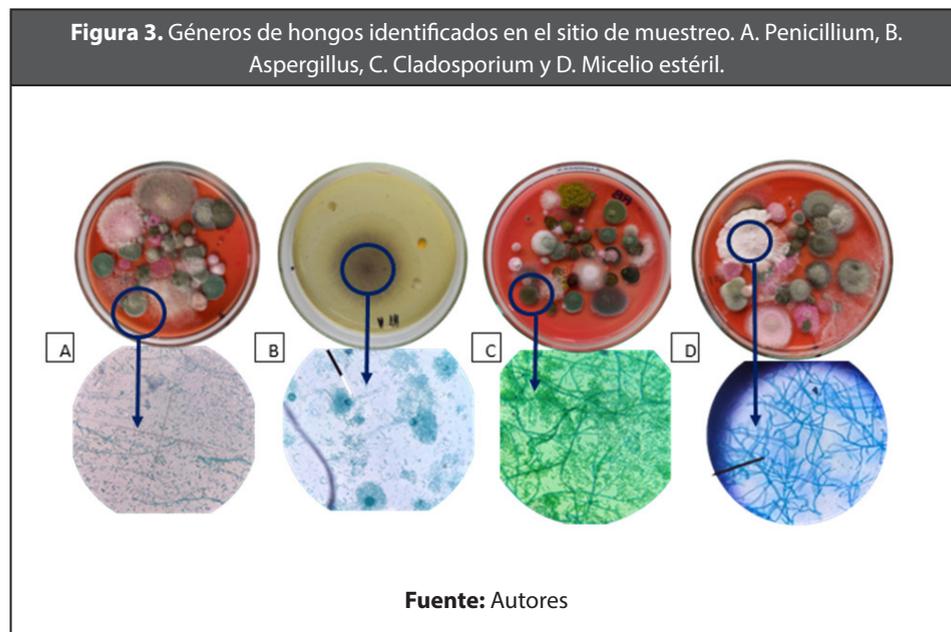


En el caso de las bacterias, no se hallaron estudios con resultados similares, lo que puede relacionarse con la metodología implementada, pues al utilizar métodos dependientes del cultivo no es posible obtener toda la información de los microorganismos presentes, ya que no todos son viables para crecer en medios de cultivo o en las condiciones de laboratorio impuestas (Yoo et al., 2017). En algunos casos se ha reportado que solo puede obtenerse menos del 1% de la población de bacterias y alrededor del 17% de hongos (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016).

Estudios preliminares también han documentado que es más común encontrar hongos que bacterias en ambientes interiores, debido a que los organismos fúngicos requieren menores niveles de humedad para sobrevivir (Kalwasińska et al., 2012).

3.2. Identificación microbiana

De las 32 muestras de aire se obtuvieron 2822 aislamientos, de los cuales se identificaron 3 géneros fúngicos predominantes durante el período de muestreo. Los géneros de hongos aislados corresponden a *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium* (Figura 3). Además, se identificó una alta población de hongos considerados micelio estéril.



Es conocido que los hongos que se transportan por el aire pueden generar enfermedades pulmonares, asma, infecciones en el tracto respiratorio, bronquitis, entre otras afectaciones (Guo et al., 2021; Yan et al., 2023). Específicamente, se ha reportado que *Aspergillus* puede causar aspergilosis, *Cladosporium* causa problemas en la piel y *Penicillium* puede causar alergias o afecciones respiratorias (Ibrahim et al., 2022; Guo et al., 2021; Richardson et al., 2019).

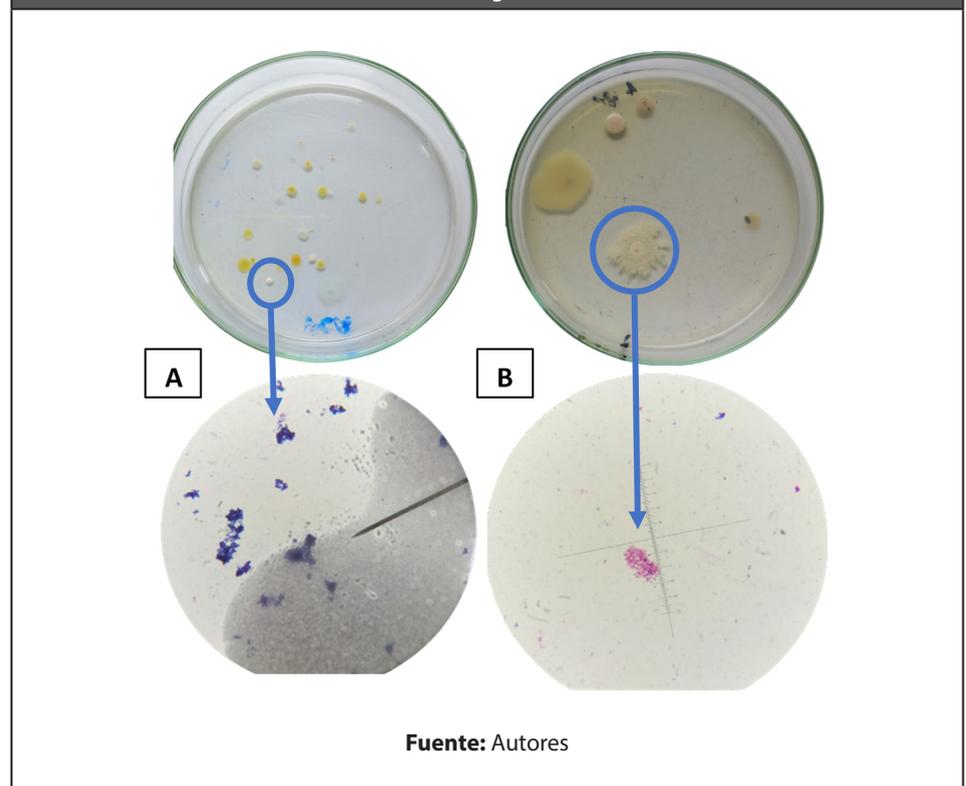
Los géneros de hongos hallados en la investigación han sido reportados anteriormente en numerosos estudios sobre calidad del aire interior en Colombia (Camargo et al., 2023; Bocanegra & Olaya, 2018), en Turquía (Kadaifciler, 2017) y Polonia (Skóra et al., 2015), lo que sugiere que las fuentes de bioaerosoles presentes en la biblioteca del CNG son comunes y pueden incluir polvo y plantas.

Nielsen (2003), describió que algunas especies de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* son consideradas como colonizadoras

primarias en los ambientes interiores, ya que requieren de una humedad baja para sobrevivir, mientras que especies de *Cladosporium* son consideradas como colonizadores secundarios, ya que requieren de niveles más altos de humedad. Generalmente, estos géneros de hongos llegan a los ambientes interiores por fuentes exteriores como la vegetación o por la resuspensión del polvo cuando se manipulan los libros. También se ha reportado que algunas de las especies relacionadas, como *Chaetomium globosum* (Kadaifciler, 2017), pueden crecer sobre el papel, generando enzimas degradantes y ácidos orgánicos que pueden descomponer el papel y atraer a colonizadores secundarios y terciarios que forman biopelículas, causando biodeterioro (Pyrri et al., 2020).

Por otra parte, se identificaron cocos Gram positivos y bacilos Gram negativos (Figura 4), los cuales se pueden encontrar en la biblioteca debido a la presencia de estudiantes y trabajadores, ya que se transportan en la nariz, la garganta y en la piel (Guiamet et al., 2011).

Figura 4. Bacterias identificadas en el sitio de muestreo. A) Cocos Gram positivos y B) Bacilos Gram negativos.



Las proteobacterias son un filo de organismos Gram negativos que se han asociado al biodeterioro del papel. Por ejemplo, los géneros *Cellvibrio* se consideran como bacterias celulíticas que, bajo condiciones favorables, tales como niveles de humedad muy altos o inundaciones de las bibliotecas, pueden desarrollarse y actuar sobre el papel (Falkiewicz-Dulik et al., 2015; Karbowska-Berent et al., 2011). Los efectos de estos organismos en el cuerpo humano pueden variar dependiendo del tipo de bacteria, pero de manera general, aquellas que se encuentran en los bioaerosoles pueden causar infecciones, problemas estomacales y enfermedades respiratorias (Ma et al., 2023).

3.3. Condiciones microclimáticas

Se calcularon promedios mensuales para las variables T y HR durante el periodo de estudio. La T varió de 18,2 a 18,6 °C y la HR de 60,8 a 64,7 %. La HR y la T más bajas se presentaron en los meses de septiembre y agosto, respectivamente, mientras que los valores más altos se registraron en noviembre para ambos parámetros, tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Promedios de temperatura (°C) y humedad relativa (%) para el periodo de estudio.

Mes	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa promedio (%)	Hongos (UFC/m ³)	Bacterias (UFC/m ³)
Agosto	18,2	61,8	764	157
Septiembre	18,3	60,8	193	66
Octubre	18,6	63,4	200	20
Noviembre	18,6	64,7	388	63

Fuente: Autores

Los niveles de HR obtenidos durante el periodo de estudio se encontraron alrededor del 27% más elevados de lo que recomienda la ISO 11799 de 2003, la cual establece que uno de los requisitos para el almacenamiento de materiales de archivo y bibliotecas es que la HR se mantenga en el 50% ± 3% (Schäfer, 2014). De igual manera, el AGN establece que la HR debe encontrarse entre el 45 y 60% (Archivo General de la Nación, 2000). Por su lado, la

Norma Técnica Colombiana NTC 5921 de 2012 establece que la HR debe mantenerse por debajo de las condiciones que favorecen el crecimiento de microorganismos, mencionando que existe un mayor riesgo de que se produzca la actividad biológica con HR superiores al 60% (Ovalle, 2015). Lo anterior indica que, si bien la HR presentada no se encuentra muy alejada de los límites establecidos a nivel nacional, es posible que se den condiciones en las que los microorganismos aerotransportados puedan germinar y desarrollarse sobre los materiales.

Por otra parte, la T medida en la biblioteca se mantuvo por debajo de los límites establecidos tanto en la ISO 11799:2003 ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), como en las normas nacionales establecidas por el AGN ($15\text{-}20^{\circ}\text{C}$) (Schäfer, 2014; Archivo General de la Nación, 2000).

3.4. Relación de la carga microbiana y las condiciones ambientales

En la Figura 5 se observa que en los meses en los que se presentó una temperatura promedio más alta se vio reducida la concentración de bacterias. Entretanto, se observa que los meses con temperaturas más altas, suelen registrar mayores concentraciones de hongos. De igual forma, en la Figura 6 se observa que, en los meses de septiembre, octubre y noviembre, cuando se presentaron las humedades relativas más altas, también se presentaron las mayores concentraciones de aerosoles fúngicos.

Figura 5. Bioaerosoles fúngicos y bacterianos comparados con la temperatura a lo largo del periodo de estudio.

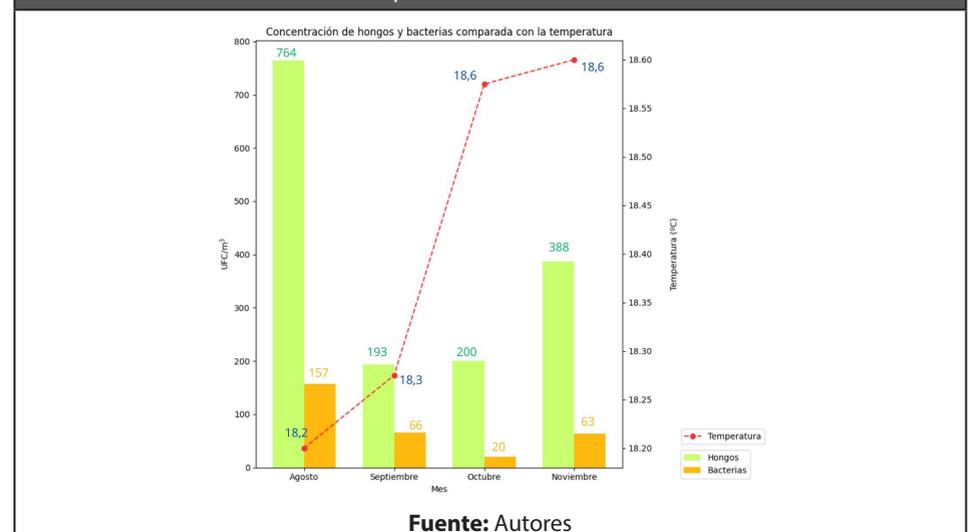
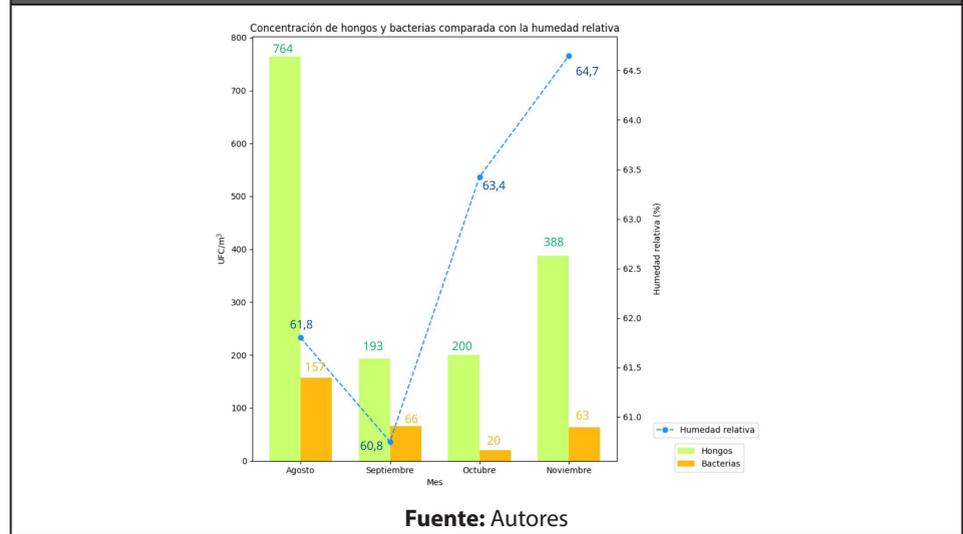


Figura 6. Bioaerosoles fúngicos y bacterianos comparados con la humedad relativa a lo largo del periodo de estudio.



Se ha reportado que cuando las condiciones de HR superan el 60%, las concentraciones de hongos pueden ser hasta 1,7 veces mayores a las encontradas con HR menores (Wu et al., 2021). De manera similar, Glevitzky et al. (2021) determinaron que la humedad y los diferentes componentes del polvo pueden fomentar el crecimiento de los hongos que liberan esporas al aire, aumentando las concentraciones de bioaerosoles fúngicos. Otro estudio realizado en una biblioteca en China demostró que existe una correlación significativa entre la T, la HR y la concentración de hongos al interior de 4 salas de estudio dentro de una biblioteca, donde obtuvieron coeficientes de Pearson positivos para estas variables (Wu et al., 2020). En el caso de las bacterias, la variación en la temperatura puede afectar su viabilidad, pero la humedad relativa la puede favorecer (Hameed et al., 2018).

4. Conclusiones

El aire interior de la biblioteca del CNG presentó, en el mes de agosto, una concentración microbiana que excedió en 84,2% el límite establecido por el AGN (500 UFC/m^3). No obstante, este valor se mantuvo por debajo del límite durante septiembre, octubre y noviembre, lo que sugiere que la dinámica de uso de la biblioteca, propia del inicio de semestre, pudo alterar las concentraciones microbianas del aire interior. Se encontró que los hongos

representaron, durante todo el periodo de estudio, más del 70% de la población microbiana del aire, lo cual se debe a que estos organismos requieren de menores niveles de humedad relativa para sobrevivir en ambientes interiores.

Se identificó que los géneros predominantes de aerosoles fúngicos fueron *Aspergillus*, *Penicillium* y *Cladosporium*, los cuales son agentes reconocidos de biodeterioro en diferentes bibliotecas y archivos. Por lo tanto, se recomienda que las directivas de la Universidad adopten medidas de mejoramiento de las condiciones de ventilación de la sección de estanterías de la biblioteca, así como también realizar un seguimiento de las concentraciones de bioaerosoles por un periodo de tiempo más extenso.

Finalmente, se observó durante 3 meses del estudio que, al aumentar las condiciones de temperatura y humedad relativa, también aumentó la concentración de hongos en el aire de la biblioteca. De igual forma, se halló que los valores de HR se encuentran por encima del límite establecido por el AGN (60%), por lo que se recomienda que se controle este parámetro para evitar un aumento de la concentración de bioaerosoles fúngicos con el potencial de causar biodeterioro de los libros y desatar enfermedades en estudiantes y trabajadores.

5. Referencias

- Archivo General de la Nación (2000) 'Por medio del cual se desarrolla el artículo del Capítulo 7 "Conservación de Documentos" del Reglamento General de Archivos sobre "condiciones de edificios y locales destinados a archivos" (Acuerdo No. 049)'.
- Archivo General de la Nación (2018) 'Conservación y restauración'. Available at: https://www.archivogeneral.gov.co/sites/default/files/Estructura_Web/5_Consulte/Recursos/PublicacionContacto/Contacto12_231018.pdf.
- Bocanegra, J.T. and Olaya, M.F. (2018) 'Aislamiento y caracterización de microorganismos presentes en la matriz de la Universidad de Cundinamarca Seccional Girardot'. Available at: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/1281>.
- Camargo, Y., Borja, H., Muñoz, M., Vergara-Vásquez, E. and Vélez-Pereira, A.M. (2023) 'Assessment of fungal aerosols in a public library with natural ventilation', *Aerobiologia*, 39(1), pp. 37-50. <https://doi.org/10.1007/S10453-022-09772-5/TABLES/2>.

- Carrera, R.M. and Paladínez, R.C. (2017) 'Study of the working conditions in libraries of Quito city and the exposure of its workers to fungi', *Enfoque UTE*, 8(2), pp. 94–106. <https://doi.org/10.29019/ENFOQUEUTE.V8N2.160>.
- Chen, L.W.A., Zhang, M., Liu, T., Fortier, K., Chow, J.C., Alonzo, F., Kolberg, R., Cao, J., Lin, G., Patel, T.Y., Cruz, P., Buttner, M.P. and Watson, J.G. (2019) 'Evaluation of epifluorescence methods for quantifying bioaerosols in fine and coarse particulate air pollution', *Atmospheric Environment*, 213, pp. 620–628. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2019.05.051>.
- Commission of the European Communities (1993) 'INDOOR AIR QUALITY & ITS IMPACT ON MAN'.
- Després, V.R., Huffman, J.A., Burrows, S.M., Hoose, C., Safatov, A.S., Buryak, G., Fröhlich-Nowoisky, J., Elbert, W., Andreae, M.O., Pöschl, U. and Jaenicke, R. (2012) 'Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review', *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 64(1). <https://doi.org/10.3402/TELLUSB.V64I0.15598>.
- Falkiewicz-Dulik, M., Janda, K. and Wypych, G. (2015) 'Microorganism Involved in Biodegradation of Materials', in *Handbook of Biodegradation, Biodeterioration, and Biostabilization*. 2nd ed. ChemTec Publishing, pp. 7–31.
- Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C.J., Weber, B., Huffman, J.A., Pöhlker, C., Andreae, M.O., Lang-Yona, N., Burrows, S.M., Gunthe, S.S., Elbert, W., Su, H., Hoor, P., Thines, E., Hoffmann, T., Després, V.R. and Pöschl, U. (2016) 'Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions', *Atmospheric Research*, 182, pp. 346–376. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.018>.
- Giraldo-Castrillón, M., Torres-González, C. and Díaz-Ortiz, J.E. (2009) 'Isolation of cellulolytic fungi causing biodeterioration of the Central Library of the Universidad del Valle (Cali-Colombia)', *Revista Mexicana de Micología*, 29, pp. 9–14. Available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802009000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- Glevitzky, M., Aleya, L., Vică, L., Dumitrele, G.-A., Avram, M., Tit, D.M., Popa, M., Popa, V.-C., Behl, T., Bungau, S. and Vică, M.L. (2021) 'Assessing the microbiological contamination along with environmental factors of old books in the 1490-founded Bistrița Monastery, Romania "Neogoe Basarab" Center for Conservation and Restoration of Cultural Heritage Objects', *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 8743–8757. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11170-8>.
- Guamet, P., Borrego, S., Lavin, P., Perdomo, I. and Saravia, S.G. de (2011) 'Biofouling and biodeterioration in materials stored at the Historical Archive of the Museum of La Plata, Argentine and at the National Archive of the Republic of Cuba', *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 85(2), pp. 229–234. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2011.02.031>.
- Guo, K., Qian, H., Ye, J., Sun, F., Zhuge, Y., Wang, S., Liu, C., Cao, G. and Zheng, X. (2021) 'Assessment of airborne bacteria and fungi in different-type buildings in Nanjing, a hot summer and cold winter moist Chinese city', *Building and Environment*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108258>.
- Gupta, A.D., Srivastava, V. and Gupta, T. (2021) 'Seasonal bioaerosol load and statistical analysis within different microenvironments of an academic institute situated in the Indo-Gangetic Plain', *Aerobiologia*, 37(4), pp. 663–680. <https://doi.org/10.1007/S10453-021-09715-6/METRICS>.

- Hameed, A., Saeed, Y., Hassan, Y., Fawzy, Y. and Osman, M. (2018) 'Air microbial quality in certain public buildings, Egypt: A comparative study', *Atmospheric Pollution Research*, 9, pp. 617–626. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.12.014>.
- Hassan, A., Zeeshan, M. and Bhatti, M.F. (2021) 'Indoor and outdoor microbiological air quality in naturally and mechanically ventilated university libraries', *Atmospheric Pollution Research*, 12(8), 101136. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2021.101136>.
- Heo, K.J., Lim, C.E., Kim, H.B. and Lee, B.U. (2017) 'Effects of human activities on concentrations of culturable bioaerosols in indoor air environments', *Journal of Aerosol Science*, 104, pp. 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.11.008>.
- Ibrahim, R., Chebel, Z.B., Saliba, R., Eid, R., Kassem, M.A.S., Jebara, V. and Choucair, J. (2022) 'First reported case of *Cladosporium* para-aortic abscess', *IDCases*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.idcr.2022.e01423>.
- Kadaifciler, D.G. (2017) 'Bioaerosol assessment in the library of Istanbul University and fungal flora associated with paper deterioration', *Aerobiologia*, 33(1), pp. 151–166. <https://doi.org/10.1007/S10453-016-9457-Z/METRICS>.
- Kalwasińska, A., Burkowska, A. and Wilk, I. (2012) 'Microbial air contamination in indoor environment of a university library', *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19(1), pp. 25–29. Available at: <https://www.aaem.pl/pdf-71736-8962?filename=Microbial%20air.pdf>.
- Karbowska-Berent, J., Górny, L., Strzelczyk, A.B. and Wlazło, A. (2011) 'Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives', *Building and Environment*, 46, pp. 1872–1879. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.03.007>.
- Li, X., Liu, D. and Yao, J. (2022) 'Aerosolization of fungal spores in indoor environments', *Science of The Total Environment*, 820, 153003. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.153003>.
- Ma, L., Yabo, S.D., Lu, L., Jiang, J., Meng, F. and Qi, H. (2023) 'Seasonal variation characteristics of inhalable bacteria in bioaerosols and antibiotic resistance genes in Harbin', *Journal of Hazardous Materials*, 446. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130597>.
- Micheluz, A., Manente, S., Tigini, V., Prigione, V., Pinzari, F., Ravagnan, G. and Varese, G.C. (2015) 'The extreme environment of a library: Xerophilic fungi inhabiting indoor niches', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 99, pp. 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.12.012>.
- Montanari, M., Melloni, V., Pinzari, F. and Innocenti, G. (2012) 'Fungal biodeterioration of historical library materials stored in Compactus movable shelves', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 75, pp. 83–88. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2012.03.011>.
- Nielsen, K.F. (2003) 'Mycotoxin production by indoor molds', *Fungal Genetics and Biology*, 39(2), pp. 103–117. [https://doi.org/10.1016/S1087-1845\(03\)00026-4](https://doi.org/10.1016/S1087-1845(03)00026-4).
- Niesler, A., Górny, R.L., Wlazło, A., Ludzeń-Izbińska, B., Lawniczek-Walczuk, A., Golofit-Szymczak, M., Meres, Z., Kasznia-Kocot, J., Harkawy, A., Lis, D.O. and Anczyk, E. (2010) 'Microbial contamination of storerooms at the Auschwitz-Birkenau Museum', *Aerobiologia*, 26(2), pp. 125–133. <https://doi.org/10.1007/S10453-009-9149-Z/METRICS>.

- Okpalanozie, O.E., Adebusoye, S.A., Troiano, F., Cattò, C., Ilori, M.O. and Cappitelli, F. (2018) 'Assessment of indoor air environment of a Nigerian museum library and its biodeteriorated books using culture-dependent and -independent techniques', *International Biodeterioration & Biodegradation*, 132, pp. 139–149. <https://doi.org/10.1016/J.IBIOD.2018.03.003>.
- Ovalle, A. (2015) 'Programas del Sistema Integrado de Conservación: Guía práctica para las entidades del Distrito Capital'.
- Pyrrri, I., Tripyla, E., Zalachori, A., Chrysopoulou, M., Parmakelis, A. and Kapsanaki-Gotsi, E. (2020) 'Fungal contaminants of indoor air in the National Library of Greece', *Aerobiologia*, 36(3), pp. 387–400. <https://doi.org/10.1007/S10453-020-09640-0/METRICS>.
- Richardson, M., Bowyer, P. and Sabino, R. (2019) 'The human lung and *Aspergillus*: You are what you breathe in?', *Medical Mycology*, 57, pp. S145–S154. <https://doi.org/10.1093/mmy/myy149>.
- Schäfer, I. (2014) 'New Standards in Preventive Conservation Management'. Available at: <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>.
- Skóra, J., Gutarowska, B., Pielech-Przybylska, K., Stępień, Ł., Pietrzak, K., Piotrowska, M. and Pietrowski, P. (2015) 'Assessment of microbiological contamination in the work environments of museums, archives and libraries', *Aerobiologia*, 31(3), pp. 389–401. <https://doi.org/10.1007/s10453-015-9372-8>.
- Wu, D., Zhang, Y., Tian, Y., Li, A., Li, Y., Xiong, J. and Gao, R. (2020) 'On-site investigation of the concentration and size distribution characteristics of airborne fungi in a university library', *Environmental Pollution*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114138>.
- Wu, D., Zhang, Y., Zhao, C., Li, A., Hou, L., Tian, Y., Xiong, J. and Gao, R. (2021) 'Temporal variation of airborne fungi in university library rooms and its relation to environmental parameters and potential confounders', *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp. 14068–14079. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11582-6>.
- Yan, S., Liu, C., Hou, L., Wang, B. and Zhang, Y. (2023) 'A new filterless indoor air purifier for particulate matter and bioaerosol based on heterogeneous condensation', *Environmental Research*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115034>.
- Yoo, K., Lee, T.K., Choi, E.J., Yang, J., Shukla, S.K., Hwang, S. and Park, J. (2017) 'Molecular approaches for the detection and monitoring of microbial communities in bioaerosols: A review', *Journal of Environmental Sciences (China)*, 51, pp. 234–247. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.07.002>.