




Contaminación bacteriana y fúngica del aire interior y su relación con el síndrome del edificio enfermo

Bacterial and fungal contamination of indoor air and its relationship with sick building syndrome

Laura Yinneth Ávila-Durán¹ ; Erika Julieth Blanco-Flórez¹ ; Luz Marina Lizarazo-Forero^{1*} 

*bio.ambient@uptc.edu.co

Forma de citar: Ávila-Durán LY; Blanco-Flórez EJ; Lizarazo-Forero LM. Contaminación bacteriana y fúngica del aire interior y su relación con el síndrome del edificio enfermo. Salud UIS. 2024; 56: e24028. doi: <https://doi.org/10.18273/saluduis.56.e:24028>



Resumen

Introducción: el síndrome del edificio enfermo se ha asociado con la ocupación de edificios de oficinas. Las causas del síndrome son factores que actúan en combinación, destacándose la microbiota que se propaga por el aire u otros elementos, o por las personas a varias áreas del edificio. **Objetivo:** determinar la composición fúngica y bacteriana y su relación con parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa, y sintomatología asociada al síndrome del edificio enfermo. **Metodología:** se tomaron muestras en la oficina de almacén e inventario, espacio subdividido en seis sectores de aproximadamente 8,6 m² cada uno. Se empleó un impactador de aire para la estimación cuantitativa de bacterias y hongos y se registraron datos de temperatura y humedad relativa. Se realizaron cuatro muestreos semanales, con 144 muestras en total. Se encuestó a los funcionarios sobre síntomas asociados al síndrome del edificio enfermo. **Resultados:** las concentraciones microbianas estuvieron dentro de los límites recomendados para ambientes interiores. Se halló una mayor concentración bacteriana ($\bar{x} = 54,39 \pm 54,51$ UFC / m³) con ocho especies, las más frecuentes fueron *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* y *Staphylococcus aureus*. Los hongos presentaron menor abundancia, pero mayor diversidad, con 23 géneros, entre los que sobresalen *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., y *Rhizopus* sp. Se estableció relación entre la exposición al aerosol microbiano, ocupación y los parámetros ambientales registrados. **Conclusiones:** la combinación de datos de carga microbiana en interiores con los efectos sobre la salud causados por la inhalación de microorganismos específicos en aerosoles permitirá evaluar diversos riesgos de salud para los trabajadores.

Palabras claves: Bacterias; Hongos; Contaminación del aire interior; Síndrome del edificio enfermo; Humedad; Aerosol.

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia.

Abstract

Introduction: Sick building syndrome has been associated with the occupation of office buildings. The causes of the syndrome are factors that act in combination, with an outstanding role played by microbiota that spreads through the air or other elements, or by individuals to different areas of the building. **Objective:** Determine the fungal and bacterial composition and its relationship with environmental parameters such as temperature and relative humidity, as well as symptoms associated with Sick Building Syndrome. **Methodology:** Samples were taken in the Warehouse and Inventory office, which was subdivided into 6 sectors of approximately 8.6 m² each. An air impactor was used for quantitative estimation of bacteria and fungi, and temperature and relative humidity data were recorded. Four weekly samplings were collected, yielding a total of 144 samples. Employees were surveyed about symptoms associated with Sick Building Syndrome. **Results:** Microbial concentrations were within recommended indoor limits. A higher bacterial concentration ($\bar{x} = 54.39 \pm 54.51$ CFU/m³) with eight species was found, showing higher frequency *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, and *Staphylococcus aureus*. Fungi showed lower abundance but greater diversity, with 23 genera, where *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., and *Rhizopus* sp., outstood. A relationship was established between exposure to microbial aerosols, occupation, and recorded environmental parameters. **Conclusions:** Combining indoor microbial load data with the health effects caused by the inhalation of specific microorganisms in aerosols will allow the assessment of various health risks for workers.

Keywords: Bacteria; Fungi; Indoor air pollution; Sick building syndrome; Humidity; Aerosol.

Introducción

Los bioaerosoles son agentes transportados por el aire que están conformados por una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas¹. Por lo general, tienen una toxicidad directa limitada en los seres humanos y, con mayor frecuencia, provocan infecciones o respuestas alérgicas². Los principales componentes microbianos de los bioaerosoles incluyen esporas de hongos, bacterias y virus, mientras que los componentes no microbianos contienen partículas de ácaros del polvo, fragmentos de piel y granos de polen³. Aunque los microorganismos están presentes de forma natural en el aire exterior, su número y tipo varían según la hora del día, el clima, la estación y ubicación geográfica⁴. Se pueden transportar fácilmente hacia las construcciones y son comúnmente asociados con sistemas de calefacción, ventilación, aire acondicionado y el número de personas que ocupan estos espacios, así como con las actividades que allí se realizan^{5,6}.

Las partículas de aerosol de origen biológico (microbiota del cuerpo humano, provenientes de la piel, secreciones orales y respiratorias emitidas a través de la tos, estornudos, conversación y respiración) forman una porción significativa de los aerosoles atmosféricos³. Adicionalmente, se ha verificado que partículas con diámetro de 0,5-10 µm, adheridas a prendas de vestir pueden ser liberadas con el movimiento de las persona⁶⁻⁸. En estudios recientes se ha demostrado que las bacterias son los componentes principales de los bioaerosoles, lo cual representa más del 80 % de la composición

total, y un importante número de especies han sido identificadas como patógenas o desencadenantes de alergias en diversos entornos. Bacterias patógenas como *Pseudomonas*, *Lactococcus*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Paraburkholderia*, *Acinetobacter*, *Staphylococcus* y *Micrococcus* se han aislado de ambientes atmosféricos exteriores e interiores⁹⁻¹². La exposición a hongos ambientales también se ha relacionado con una variedad de efectos perjudiciales para la salud, *Penicillium* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp. y *Chaetomium* sp. se han asociado con frecuencia a enfermedades que incluyen asma¹³, micosis broncopulmonares alérgicas, sinusitis y neumonitis por hipersensibilidad^{14,15}.

La supervivencia de los microorganismos en el aire se ha asociado con la humedad, temperatura y la presencia de sustratos orgánicos disponibles. Los resultados de un estudio realizado en un hospital con 800 camas, indicaron que la temperatura, el número de ocupantes y la humedad se correlacionaron positivamente con las concentraciones de bacterias en el aire, prevaleciendo bacterias Gram positivas¹⁶. De igual forma, se ha estudiado la contribución de la ventilación, temperatura y humedad en el crecimiento bacteriano. Las altas temperaturas pueden contribuir al aumento considerable del crecimiento bacteriano; mientras que, condiciones ambientales que involucren principalmente una óptima ventilación, sumado a una baja humedad relativa (inferior al 70 %) inciden en la disminución del crecimiento y distribución de las comunidades bacterianas¹⁷.

Factores tales como la ventilación, la velocidad de las corrientes de aire, la humedad relativa reducida y la temperatura elevada, así como la presencia de compuestos orgánicos volátiles, pueden causar el síndrome del edificio enfermo (SBS, por sus siglas en inglés), término establecido por la Organización Mundial de la Salud. Los síntomas del SBS suelen clasificarse en tres grupos, generales, dérmicos y mucosos¹⁸. Los síntomas generales incluyen sensación de cansancio y dolores de cabeza mientras que, los dérmicos, que están relacionados con la piel, irritaciones y sequedad cutánea y los síntomas de las mucosas implican irritación o sequedad de nariz, ojos y garganta^{19,20}.

El propósito de este estudio fue caracterizar la concentración bacteriana y fúngica en el almacén e inventario de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, relacionándola con la sintomatología asociada al síndrome del edificio enfermo y con las variables ambientales humedad relativa y temperatura, con el fin de tomar medidas importantes en la prevención y buen funcionamiento de estos espacios de trabajo y, consecuentemente, minimizar los problemas de salud asociados al síndrome del edificio enfermo.

Metodología

Área de estudio: la oficina de Almacén e Inventario ubicada en el primer nivel del edificio central de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), abarca un área total de 110 m². Para efectos de la toma de muestras, esta área se subdividió en seis sectores, cada uno con una superficie aproximada de 8,6 m², los cuales fueron identificados como:

Sector uno: pasadizo después de la puerta de la entrada principal, espacio en donde hay flujo constante de personas hacia dentro y fuera de la dependencia.

Sector dos: oficina aledaña a la entrada principal, en donde se encuentran muebles, equipos y archivos.

Sector tres: corredor que conecta la entrada principal con la sección de archivo y bodega, y en donde se ubican cubículos de trabajo.

Sector cuatro: oficina de archivo. Se encuentran estantes y muebles de almacenamiento documental.

Sectores cinco y seis: bodega. Esta área almacena reactivos, equipos, entre otros materiales. Fue dividida en dos subsectores de áreas iguales, dada su extensión.

Muestreo de los sectores

Se llevaron a cabo un total de cuatro muestreos semanales, sumando un total de 144 muestras, los muestreos siempre fueron efectuados hacia las 10:00 AM. Las muestras se recolectaron empleando un impactador de aire (Mass-100 Merck®) operando a una velocidad de flujo de 100 L/min durante cinco minutos por cada caja de Petri. El impactador fue puesto en funcionamiento desde una posición fija a 1,50 m de altura sobre el nivel del suelo, ubicando el equipo en el centro de cada sector. Simultáneamente se registraron los datos de humedad relativa y temperatura ambiente de cada espacio utilizando un medidor atmosférico Davis®.

Para la recolección de hongos del aerosol, se empleó el medio de cultivo Agar Papa Dextrosa (Merck®) con cloranfenicol, y para las bacterias agar Trypticase Soya (Scharlau®) con cicloheximida. Se llevaron a cabo tres réplicas para cada microorganismo por sector, lo que resultó en un total de 36 cajas de Petri por semana. Las placas se llevaron a incubación durante ocho días a 29 °C para hongos y durante 72 horas a 32 °C para bacterias.

Recuento de colonias fúngicas y bacterianas

Posterior a los periodos de incubación especificados, se realizó el recuento de colonias, las cuales se expresaron como unidades formadoras de colonia por metro cúbico de aire (UFC/m³); este cálculo se realizó con base a la tabla de corrección estadística propuesta por Feller²¹.

Caracterización de colonias fúngicas y bacterianas

Se realizó la descripción tanto macroscópica como microscópica de las colonias fúngicas, llevando a cabo montajes usando tinción de azul de lactofenol o método impronta, así como el uso de manuales de identificación taxonómica para la identificación de géneros de hongos; asimismo, se realizaron microcultivos en los casos en que no se conseguía una identificación precisa.

La identificación de bacterias se realizó a través de descripción macroscópica y microscópica mediante la tinción de Gram. Posteriormente, se procedió a realizar cultivo en medios selectivos agar bilis esculina, agar selectivo *Bacillus cereus* (BC) (Merck®), agar eosina azul de metileno (EMB) (Merck®), King agar B (KB) (Sigma-Aldrich®), agar sal-manitol (MSA) (Merck®), y pruebas bioquímicas tradicionales para su identificación de género o especie.

Encuesta

Todos los funcionarios participantes firmaron un consentimiento informado previo a su respuesta a la encuesta, en la cual se abordó los síntomas asociados al síndrome del edificio enfermo. Las preguntas de la encuesta estaban diseñadas con el fin de evaluar la presencia de molestias o síntomas en diferentes zonas del cuerpo como ojos, nariz, garganta, pulmones, piel y demás síntomas generales. Además, se recopilaron datos sobre los periodos de exposición de cada funcionario participante en su espacio laboral, así como la posible historia médica relevante que pudiera estar relacionada con su sintomatología.

Los recuentos microbianos obtenidos se ajustaron empleando los valores de probabilidad estadística (Pr) establecidos en la tabla de Feller²¹ proporcionada por el fabricante del impactador de aire Merck®. Para el análisis estadístico, se utilizó el software SPSS (Versión 22.0 para Windows) a través del cual se aplicó la prueba estadística Kolmogorov-Smirnov (K - S) para determinar la distribución de los datos mientras que, las pruebas no paramétricas de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis, se emplearon para comparar los conjuntos de datos obtenidos en cada sector y en cada fecha de muestreo. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$. Se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman (Rho) para hallar relaciones entre los promedios de las concentraciones bacterianas y las variables ambientales temperatura (°C) y humedad relativa (% HR), con un nivel de confianza de 95,0 %. Además, se calculó el índice de diversidad de Simpson para establecer la diversidad de especies bacterianas y géneros fúngicos en cada sector de muestreo²².

Resultados

Concentración microbiana

Se obtuvo un promedio microbiano total de 84,99 UFC/m³, con una mayor concentración promedio de bacterias ($\bar{x} = 54,39 \pm 54,51$ UFC/m³), en comparación a la concentración promedio fúngica ($\bar{x} = 35,05 \pm 29,55$ UFC/m³). Se destacan valores promedio bacterianos de 91,96 UFC/m³ \pm 73,86 y 80,17 UFC/m³ \pm 102,01 para el primer muestreo y sector dos, respectivamente. En lo que respecta hongos, se observó que la concentración hallada en el muestreo cuatro ($\bar{x} = 50,18 \pm 48,86$) y en el sector cinco ($\bar{x} = 47,90 \pm 52,46$) sobrepasó a la concentración bacteriana (Tabla 1).

Se hallaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones bacterianas y fúngicas a lo largo de las fechas de muestreo (p de *Kruskal Wallis* = 0,00; $p \leq 0,05$; $\alpha = 0,05$). Con respecto a bacterias, se registraron diferencias significativas en el muestreo uno (caracterizado por una mayor ocupación y actividad laboral en la oficina) y el muestreo cuatro (que correspondió a una fecha con actividad laboral reducida) (U de *Mann-Whitney* = 0,00; $p \leq 0,05$; $\alpha = 0,05$).

Se observaron diferencias significativas en la distribución de las comunidades bacterianas a nivel de sector, puntualmente en el sector uno (ubicado en la entrada de la oficina) y sector cinco (primera zona de bodega) (U de *Mann Whitney* = 0,02; $p \leq 0,05$; $\alpha = 0,05$). Asimismo, se encontraron diferencias significativas en la distribución de las comunidades fúngicas entre el sector uno y en el sector tres (corredor entre entrada principal, archivo y bodega) (U de *Mann Whitney* = 0,00; $p \leq 0,05$; $\alpha = 0,05$).

Tabla 1. Fechas, sectores de toma de muestras y la concentración microbiana hallada en valores de UFC/m³.

| Fecha de muestreo | Bacterias UFC/m ³ ^a | Hongos UFC/m ³ ^a |
|---|---|--|
| Muestreo uno (05/05/2016) | 91,96 (\pm 73,86) | 36,45 (\pm 19,85) |
| Muestreo dos (12/05/2016) | 51,91 (\pm 54,24) | 47,89 (\pm 43,76) |
| Muestreo tres (27/05/2016) | 46,12 (\pm 67,20) | 5,7 (\pm 5,72) |
| Muestreo cuatro (09/06/2016) | 28,44 (\pm 22,73) | 50,18 (\pm 48,86) |
| Sectores de muestreo | Bacterias UFC/m ³ ^a | Hongos UFC/m ³ ^a |
| Uno (pasadizo anexo entrada principal) | 63,45 (\pm 43,41) | 41,90 (\pm 35,26) |
| Dos (oficina colindante a la entrada principal) | 80,17 (\pm 102,01) | 47,70 (\pm 53,86) |
| Tres (corredor entre entrada principal, archivo y bodega) | 61,62 (\pm 65,71) | 16,00 (\pm 8,11) |
| Cuatro (oficina de archivo) | 62,22 (\pm 58,30) | 26,70 (\pm 20,20) |
| Cinco (primera zona de bodega) | 24,68 (\pm 16,39) | 47,90 (\pm 52,46) |
| Seis (segunda zona de bodega) | 34,19 (\pm 29,30) | 30,20 (\pm 27,92) |
| Promedio de microorganismos | 54,39 | 35,05 |
| Promedio total concentración microbiana | 89,44 UFC/m ³ ^a | |

^a Unidades formadoras de colonia por metro cúbico.

Temperatura y humedad relativa del ambiente

Se registró un promedio de temperatura de $20,03 \pm 0,90$ °C y una humedad relativa de $60,06 \pm 3,49$ %. Se determinó una correlación estadísticamente significativa entre la concentración bacteriana y la temperatura a nivel de sectores ($r = 0,87$; $p = 0,02$); aspecto evidenciado también a nivel de muestreos entre concentraciones bacterianas y los valores de temperatura ($r = 0,44$; $p = 0,01$) y humedad relativa ($r = -0,32$; $p = 0,00$). Además, se encontró una correlación estadísticamente significativa entre las concentraciones fúngicas y los valores de humedad relativa ($r = -0,52$; $p = 0,01$).

Concentraciones (UFC/m³) de géneros y especies microbianas

Se aislaron un total de ocho especies bacterianas y un grupo de aislados bacterianos no identificados. La especie que presentó una mayor concentración total durante el muestreo fue *Pseudomonas aeruginosa* ($986 \text{ UFC/m}^3 \pm 60,92$), seguida por *Bacillus cereus* ($688 \text{ UFC/m}^3 \pm 32,31$), *Staphylococcus aureus* ($562 \text{ UFC/m}^3 \pm 102,05$) y *Bacillus subtilis* ($434 \text{ UFC/m}^3 \pm 43,22$). Por otro lado, las especies con menor concentración fueron *Corynebacterium pseudodiphtheriticum* ($269 \text{ UFC/m}^3 \pm 37,24$), seguido de *Enterococcus faecalis* (161 UFC/m^3

$\pm 43,89$), *Streptococcus pyogenes* ($113 \text{ UFC/m}^3 \pm 43,67$) y *Streptococcus epidermidis* ($61 \text{ UFC/m}^3 \pm 16,50$) como se observa en la **Figura 1**. Dentro de los aislados bacterianos no identificados a nivel de género y/o especie, predominaron los cocos Gram positivos ($289 \text{ UFC/m}^3 \pm 58,84$), seguido de los bacilos Gram negativos ($124 \text{ UFC/m}^3 \pm 58,84$) y en menor proporción bacilos Gram positivos y cocos Gram negativos con valores de $96 \text{ UFC/m}^3 \pm 15,38$ y $86 \text{ UFC/m}^3 \pm 8,04$, respectivamente.

En cuanto a las comunidades fúngicas, se aislaron un total 23 géneros, siendo *Cladosporium* sp, el género que presentó mayor concentración ($15,58 \text{ UFC/m}^3 \pm 0,39$), seguido del género *Penicillium* sp., con una concentración de $8,31 \text{ UFC/m}^3 \pm 0,30$. A continuación, *Rhizopus* sp. fue el tercer género con mayor concentración ($2,58 \text{ UFC/m}^3 \pm 0,03$), *Alternaria* sp. ($2,08 \text{ UFC/m}^3 \pm 0,15$), *Aspergillus* sp., ($1,31 \text{ UFC/m}^3 \pm 0,10$), y *Fusarium* sp. ($1,08 \text{ UFC/m}^3 \pm 0,03$). Los géneros que se aislaron con menor concentración incluyeron *Paecilomyces* sp., *Chaetomium* sp., *Mucor* sp., *Scopulariopsis* sp., *Curvularia* sp., *Cephalosporium* sp., *Botryotrichum* sp., *Blastomyces* sp., *Stemphylium* sp., *Stigmella* sp., *Phytophthora* sp., *Botrytis* sp., *Geotrichum* sp., *Monilia* sp., *Rhodotorula* sp., *Sphaerosporum* sp., y *Trichoderma* sp. (**Tabla 2**).

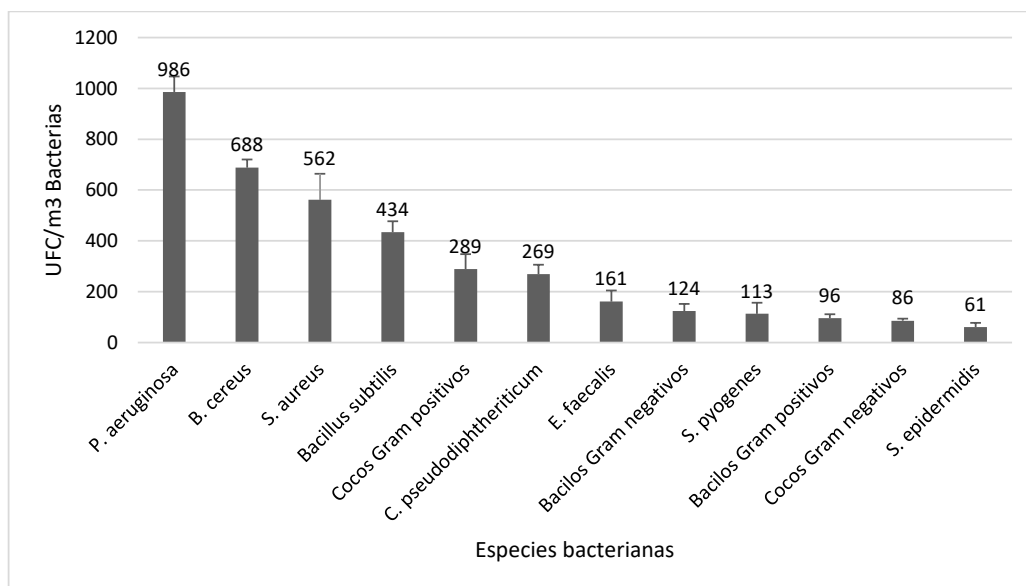


Figura 1. Especies bacterianas (UFC/m³) aisladas en total en la oficina de Almacén e Inventario.

Tabla 2. Géneros fúngicos (UFC / m³) aislados de las áreas de muestra.

| Géneros | UFC/m ³ ^a | Géneros | UFC/m ³ ^a |
|---------------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <i>Cladosporium sp.</i> | 15,58 (± 0,39) | <i>Botryotrichum sp.</i> | 0,17 (± 0,03) |
| <i>Penicillium sp.</i> | 8,31 (± 0,30) | No Identificadas | 0,16 (± 0,03) |
| <i>Rhizopus sp.</i> | 2,58 (± 0,03) | <i>Blastomyces sp.</i> | 0,08 (± 0,02) |
| <i>Alternaria sp.</i> | 2,08 (± 0,15) | <i>Stemphylium sp.</i> | 0,08 (± 0,02) |
| <i>Aspergillus sp.</i> | 1,31 (± 0,10) | <i>Stigmella sp.</i> | 0,08 (± 0,02) |
| <i>Fusarium sp.</i> | 1,08 (± 0,03) | <i>Phytophthora sp.</i> | 0,05 (± 0,02) |
| <i>Paecilomyces sp.</i> | 0,47 (± 0,03) | <i>Botrytis sp.</i> | 0,02 (± 0,03) |
| <i>Chaetomium sp.</i> | 0,31 (± 0,03) | <i>Geotrichum sp.</i> | 0,02 (± 0,03) |
| <i>Mucor spp.</i> | 0,28 (± 0,02) | <i>Monilia sp.</i> | 0,02 (± 0,03) |
| <i>Scopulariopsis sp.</i> | 0,25 (± 0,02) | <i>Rhodotorula sp.</i> | 0,02 (± 0,03) |
| <i>Curvularia sp.</i> | 0,22 (± 0,02) | <i>Sphaerosporum sp.</i> | 0,02 (± 0,03) |
| <i>Cephalosporium sp.</i> | 0,19 (± 0,02) | <i>Trichoderma sp.</i> | 0,02 (± 0,03) |

^a Unidades formadoras de colonia por metro cúbico.

Diversidad de Simpson

El ambiente del almacén e inventario presenta una diversidad relativamente alta de especies y géneros de comunidades bacterianas y fúngicas. Particularmente, el sector dos, correspondiente a una oficina anexa a la entrada principal, se destacó como el área con la mayor diversidad de comunidades tanto bacterianas (0,79) como fúngicas (0,75). En contraste, se observó que los sectores tres y cuatro presentaron una menor diversidad bacteriana (0,68) y fúngica (0,64) respectivamente.

Análisis de encuestas

Más del 70% de los funcionarios encuestados, mostraron síntomas asociados al síndrome del edificio enfermo (SBS), siendo el lagrimeo y escozor de los ojos los más comunes. Se observó que aquellos funcionarios que permanecían más tiempo en el lugar de trabajo (ocho horas), manifestaron presentar todos los síntomas evaluados en la encuesta (Figura 2).

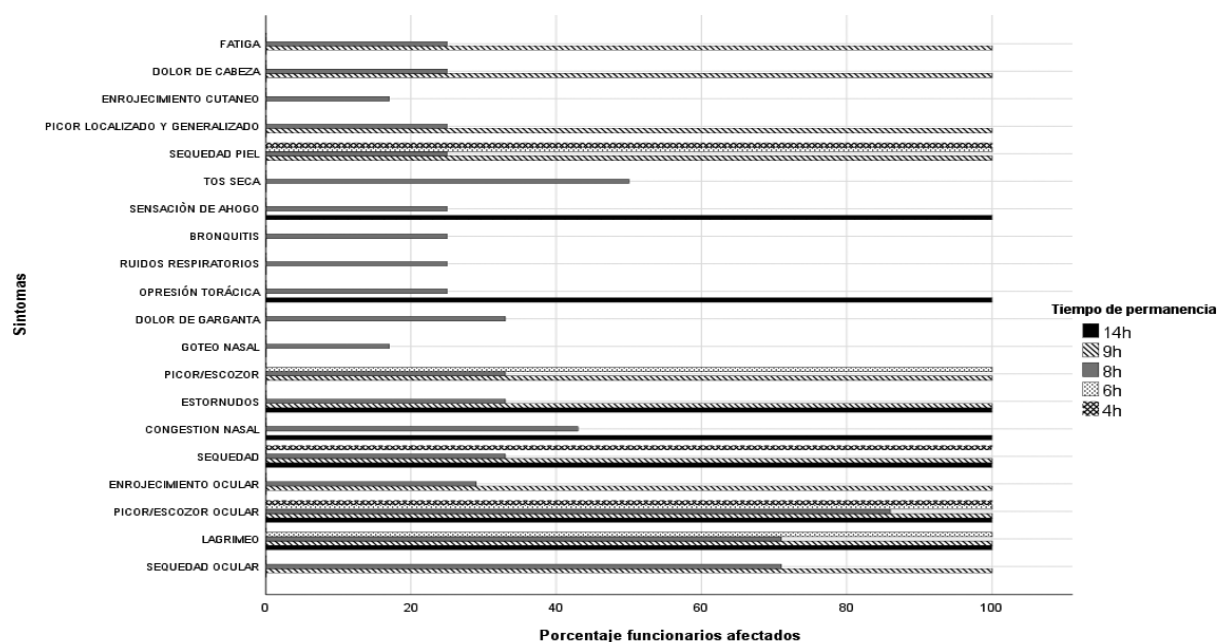


Figura 2. Síntomas evaluados y porcentajes de funcionarios afectados de acuerdo a su tiempo de permanencia en la oficina en horas (h).

Discusión

La mayor abundancia se registró en bacterias con un recuento de 54,39 UFC/m³, valor que se ubica por debajo de los valores hallados en diferentes estudios, que varía entre los 10¹ y 10³ UFC/m³ para el recuento de bioaerosoles bacterianos²³. Se determinó que el sector más concurrido (oficina colindante a la entrada principal) presentó una concentración bacteriana más elevada. De igual forma, se observó una tendencia similar durante los diferentes muestreos, ya que la mayor concentración bacteriana coincidió con el día de mayor ocupación de las áreas de trabajo, lo cual respalda la asociación entre las concentraciones bacterianas en el aire y la presencia y actividad humanas^{24,25,26}; aspecto que se atribuye la función del cuerpo humano como reservorio de bacterias, inocuas o patógenas que, como resultado de las interacciones, se propagan y quedan suspendidas en el aire, alcanzando a otras personas que comparten el mismo espacio a través de contacto físico, secreciones respiratorias o células muertas⁶.

En comparación con las comunidades bacterianas, las concentraciones fúngicas halladas fueron más bajas, principalmente en aquellas áreas de alta ocupación, lo que sugiere que una mayor actividad humana está asociada con una mayor presencia de bacterias en el aerosol^{24,25,27}.

En el caso del área correspondiente a la bodega, utilizada como depósito de materiales y reactivos almacenados en cajas de cartón o plástico, así como el acopio de equipos, se observó que la concentración de hongos superó a la bacteriana; hallazgo que está en correspondencia con la presencia de materiales naturales, sintéticos e inorgánicos que pueden ser colonizados por los hongos y son excelentes sustratos para el crecimiento de estos microorganismos²⁸.

Los resultados revelaron una correlación estadísticamente significativa entre la concentración bacteriana y los valores de temperatura y humedad relativa, así como entre las concentraciones de hongos y la humedad relativa. A la fecha se han documentado correlaciones positivas entre las concentraciones de microorganismos, la temperatura, humedad y número de ocupantes de un espacio cerrado^{29,30}. Además, se ha informado que las bacterias Gram positivas tienen más probabilidades de sobrevivir en condiciones de alta humedad relativa³¹.

Sobresalieron poblaciones bacterianas de los géneros *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Staphylococcus* sp.

y un gran porcentaje de cocos Gram positivos. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas realizadas en espacios de oficinas, en donde se ha documentado la presencia de géneros como *Micrococcus* sp., *Staphylococcus* sp. y *Bacillus* sp.^{12,27,32}.

Pseudomonas aeruginosa se destacó como la especie bacteriana más abundante, junto con el género *Bacillus* que se encuentra típicamente en el suelo, en materia orgánica y en ambientes húmedos^{33,34}. Se ha reportado que estas especies son comunes en ambientes interiores. *P. aeruginosa* se considera patógena oportunista, beneficiada por su carácter ubicuo; puede causar infecciones de tipo gastrointestinal, nervioso, ocular, auditivo, respiratorio, y se propaga principalmente a través de gotas de saliva expulsadas por estornudo o tos³⁵. En cuanto a la especie *Staphylococcus aureus*, es cada vez más común encontrarla en ambientes internos; su presencia se asocia a la ocupación humana y puede estar adherida a las prendas de vestir de las personas³⁶. Se ha confirmado *S. aureus* resistente a meticilina (MRSA) en el aire y su papel en la colonización de la cavidad nasal o en infecciones del tracto respiratorio^{12,37}.

Con respecto a la población fúngica, se aislaron los géneros, en orden descendente de frecuencia, siendo *Cladosporium* sp., *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., y *Fusarium* sp, los más destacados. Al comparar los factores ambientales evaluados en el estudio (temperatura y humedad relativa), así como las características de los edificios y las actividades de los ocupantes en relación con los hongos registrados con otros estudios indicaron que *Cladosporium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus* sp. y *Penicillium* sp. son predominantes en el aire interior^{28,38}, y poseen el potencial de ser transportadas por el aerosol hacia las vías respiratorias y depositarse en las regiones traqueales, bronquiales o alveolares de los pulmones, causando irritación de las membranas mucosas y una respuesta inflamatoria o reacciones alérgicas^{14,39}; por otro lado, los géneros *Alternaria* y *Botrytis* se han asociado frecuentemente con la sinusitis fúngica alérgica^{13,14,25}.

Los trabajadores manifestaron presentar diferentes síntomas que aparecen o se intensifican una vez se encuentran en su espacio laboral y aumenta a medida que permanecen más tiempo allí. Los síntomas mayormente reportados como la sequedad, lagrimeo o escozor ocular, así como los estornudos, la congestión nasal, entre otros, pueden estar relacionados con las características del aerosol y del ambiente de la oficina. Se ha corroborado que la permanencia de trabajadores

en sitios cerrados con condiciones que favorecen el crecimiento de comunidades microbianas en el aerosol está relacionada con el riesgo de adquisición de infecciones o enfermedades transmitidas por las comunidades microbianas que allí se encuentran⁴⁰, provenientes de la ocupación humana en estos sitios y que dependen de las características ambientales como la temperatura y la humedad relativa para su propagación^{25,41}. Es por esta razón que se recomienda como medidas de prevención mantener la zona con una humedad relativa por debajo del 60%, con el fin de minimizar la exposición a infecciones por la composición del aerosol⁴¹, así como la mejora en los sistemas de ventilación, que pueden ser naturales o artificiales, manteniendo el control sobre la calidad de estos y evitar que se conviertan en fuente de mayor contaminación⁴².

Aún existen vacíos importantes en la información disponible sobre los estándares mínimos para espacios cerrados como oficinas, en donde la permanencia de los trabajadores es alta y se encuentran expuestos a la adquisición de infecciones o enfermedades asociados al bioaerosol del espacio que ocupan; sin embargo, la toma de medidas de prevención que procuren un espacio de trabajo ventilado y limpio, puede contribuir a reducir el riesgo de daños a la salud.

Conclusiones

Este estudio ha demostrado que las bacterias constituyen la proporción más significativa de microorganismos en el ambiente interior, cuyos niveles están determinados en gran medida por los niveles de ocupación de los sectores de la oficina de almacén e inventario. La temperatura y humedad relativa ejercieron influencia significativa sobre las concentraciones microbianas. Las poblaciones fúngicas que mostraron una alta diversidad, se encuentran normalmente en ambientes cerrados y pueden ser causantes de enfermedades respiratorias y reacciones alérgicas. Los trabajadores mostraron diversas molestias de salud, destacándose afectaciones a nivel respiratorio y ocular, sintomatología relacionada con el síndrome del edificio enfermo, que puede encontrarse relacionada con las características del aerosol de la oficina; sin embargo, se requieren investigaciones adicionales para hallar las causas exactas de dichos síntomas.

Este estudio ha demostrado que las bacterias constituyen la proporción más importante de microorganismos en el ambiente interior. Por consiguiente, se recomienda medidas tales como; a) Los empleados deben usar de

forma permanente objetos de bioseguridad como lo son guantes, tapabocas, cuando se esté en contacto con archivos. b) Emplear un sistema de ventilación, para así obtener una mayor circulación del aire. c) Las paredes de la oficina, principalmente en las zona de bodega, deben estar recubiertas con algún material aislante o pintura bacteriana o antifúngica. d) El aseo en el área se debe hacer con aspiradora o con elementos que eviten la resuspensión del polvo.

Contribucion de autores

LYAD y EJBF participaron en la recolección, procesamiento y análisis de resultados, LMLF participó en la administración del proyecto, análisis y realimentación del manuscrito. Todas las autoras contribuyeron a la concepción, diseño, revisión y aprobación de la versión final del manuscrito.

Consideraciones éticas

Se realizó un manejo ético y confidencial de la información de las encuestas según las normas constitucionales y legales sobre protección de datos personales (Ley habeas data), derechos de autor (ley 23 de 1982).

Conflicto de interés

Las autoras del presente artículo manifiestan la no existencia de conflictos de interés para la publicación de este artículo.

Financiación

La investigación fue financiada con recursos propios del Laboratorio de Investigación Biología Ambiental UPTC, Sede Tunja.

Apoyo tecnológico de IA

Las autoras informan que no usaron Inteligencia Artificial, modelo de lenguaje, aprendizaje automático o tecnologías similares para crear o ayudar con la elaboración o edición de cualquiera de los contenidos de este documento.

Referencias

1. Shammi M, Rahman MM, Tareq SM. Distribution of bioaerosols in association with particulate matter: A review on emerging public health threat in Asian megacities. *Front Environ Sci.* 2021; 9: 698215. doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.698215>

2. Kim K, Kabir E, Jahan S. Airborne bioaerosols and their impact on human health. *J Environ Sci (China)*. 2018; 67: 23-35. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.027>
3. Heo KJ, Lim CE, Kim HB, Lee BU. Effects of human activities on concentrations of culturable bioaerosols in indoor air environments. *J Aerosol Sci*. 2017; 104: 58-65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2016.11.008>
4. Wang S, Qian H, Sun Z, Cao G, Ding P, Zheng X. Comparison of airborne bacteria and fungi in different built environments in selected cities in five climate zones of China. *Sci Total Environ*. 2023; 860: 160445. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160445>
5. Hou P, Zu K, Qin M, Cui S. A novel metal-organic frameworks based humidity pump for indoor moisture control. *Build Environ*. 2021; 187: 107396. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107396>
6. Adams RI, Bhangar S, Pasut W, Arens EA, Taylor JW, Lindow SE, et al. Chamber bioaerosol study: outdoor air and human occupants as sources of indoor airborne microbes. *PLoS One* 2015; 10(5): e0128022-e0128022. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128022>
7. Licina D, Nazaroff WW. Clothing as a transport vector for airborne particles: Chamber study. *Indoor Air* 2018; 28(3): 404-414. doi: <https://doi.org/10.1111/ina.12452>
8. Guo K, Qian H, Ye J, Sun F, Zhuge Y, Wang S, et al. Assessment of airborne bacteria and fungi in different-type buildings in Nanjing, a hot summer and cold winter moist Chinese city. *Build Environ*. 2021; 205: 108258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108258>
9. Fan C, Li Y, Liu P, Mu F, Xie Z, Lu R, et al. Characteristics of airborne opportunistic pathogenic bacteria during autumn and winter in Xi'an, China. *Sci Total Environ*. 2019; 672: 834-845. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.412>
10. Franchitti E, Caredda C, Anedda E, Traversi D. Urban aerobiome and effects on human health: a systematic review and missing evidence. *J Atmos*. 2022; 13(7): 1148. doi: <https://doi.org/10.3390/atmos13071148>
11. Madsen AM, Moslehi-Jenabian S, Frankel M, White JK, Frederiksen MW. Airborne bacterial species in indoor air and association with physical factors. *UCL open Environ*. 2023; 5: e056. doi: <https://doi.org/10.14324/111.444/ucloe.000056>
12. Li X, Qiu Y, Yu A, Shi W, Chen G, Zhang Z, et al. Characteristics of airborne *Staphylococcus aureus* (including MRSA) in Chinese public buildings. *Aerobiologia*. 2015; 31(1): 11-19. doi: <https://doi.org/10.1007/s10453-014-9342-6>
13. Sharpe RA, Bearman N, Thornton CR, Husk K, Osborne NJ. Indoor fungal diversity and asthma: a meta-analysis and systematic review of risk factors. *J Allergy Clin Immunol*. 2015; 135(1): 110-122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2014.07.002>
14. Baxi SN, Portnoy JM, Larenas-Linnemann D, Phipatanakul W. Exposure and health effects of fungi on humans. *J Allergy Clin Immunol Pract*. 2016; 4(3): 396-404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2016.01.008>
15. Pyri I, Tripyla E, Zalachori A, Chrysopoulou M, Parmakelis A, Kapsanaki-Gotsi E. Fungal contaminants of indoor air in the National Library of Greece. *Aerobiologia*. 2020; 36(3): 387-400. doi: <https://doi.org/10.1007/s10453-020-09640-0>
16. Onmek N, Kongcharoen J, Singtong A, Penjumrus A, Junnoo S. Environmental factors and ventilation affect concentrations of microorganisms in hospital wards of Southern Thailand. *J Environ Public Health*. 2020; 2020: 7292198. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7292198>
17. Qiu Y, Zhou Y, Chang Y, Liang X, Zhang H, Lin X, et al. The effects of ventilation, humidity, and temperature on bacterial growth and bacterial genera distribution. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(22): 15345. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph192215345>
18. Burge PS. Sick building syndrome. 2004; 61(2): 185-190.
19. Yussuf SM, Dahir G, Salad AM, Hayir TMM, Hassan SA, Gele A. Sick building syndrome and its associated factors among adult people living in Hodan district Moqadishu Somalia. *Front Built Environ*. 2023; 9. doi: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1218659>
20. Aziz N, Adman MA, Suhaimi NS, Misbari S, Alias AR, Aziz AA, et al. Indoor air quality (IAQ) and related risk factors for sick building syndrome (SBS) at the office and home: a systematic review. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 2023; 1140(1): 012007. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1140/1/012007>
21. Feller W. An introduction to the probability theory and its application. New York: John Wiley and sons Inc; 1950. p. 175.
22. Simpson EH. Measurement of diversity. *Nature*. 1949; 163(4148): 688. doi: <https://doi.org/10.1038/163688a0>
23. Górny R, Dutkiewicz J, Krysińska-Traczyk E. Size distribution of bacterial and fungal bioaerosols in indoor air. 1999; 6(2): 105-113.

24. Carrazana E, Ruiz-Gil T, Fujiyoshi S, Tanaka D, Noda J, Maruyama F, et al. Potential airborne human pathogens: A relevant inhabitant in built environments but not considered in indoor air quality standards. *Sci Total Environ.* 2023; 901: 165879. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165879>
25. Kumar P, Kausar MA, Singh AB, Singh R. Biological contaminants in the indoor air environment and their impacts on human health. *Air Qual Atmos Health.* 2021; 14(11): 1723-1736. doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-021-00978-z>
26. Abdel-Aziz RA, Samir R. Impact of traffic densities on indoor air quality. *World J Adv Res Rev.* 2019; 1: 66-72. doi: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.1.3.0027>
27. Salunkhe AR, Dudhwadkar S, Raju NP, Tandon S. Public health risk assessment and speciation of air-borne microorganisms in an office building. *J Aerosol Sci.* 2024: 106362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2024.106362>
28. Mui KW, Chan WY, Wong LT, Hui PS. Scoping indoor airborne fungi in an excellent indoor air quality office building in Hong Kong. *Build Serv Eng Res T Journal.* 2010; 31(2): 191-199. doi: <https://doi.org/10.1177/0143624409359752>
29. Alli Abosede S, Ana Godson Rowland EE. Indoor and outdoor concentrations of bioaerosols and meteorological conditions of selected salons in four areas of Ibadan North Local Government area. *Environ Monit Ana.* 2017; 5(3): 83-90. doi: <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20170503.13>
30. Lee H, Lee BG, Kim YJ, Shim JE, Yeo M-K. Assessment of airborne bacteria in the indoor of public-use facilities concentrated on influencing factors and opportunistic pathogenic bacteria. *Air Qual Atmos Health.* 2024. doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01540-3>
31. Nikiyan H, Vasilchenko A, Deryabin D. Humidity-dependent bacterial cells functional morphometry investigations using atomic force microscope. *Int. J. Microbiol.* 2010; 2010: 704170. doi: <https://doi.org/10.1155/2010/704170>
32. Bągoszewska E, Biedroń I, Kozielska B, Pastuszka JS. Microbiological indoor air quality in an office building in Gliwice, Poland: analysis of the case study. *Air Qual Atmos Health.* 2018; 11(6): 729-740. doi: <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0579-z>
33. Layshock JA, Pearson B, Crockett K, Brown MJ, Van Cuyk S, Daniel WB, et al. Reaerosolization of *Bacillus* spp. in outdoor environments: a review of the experimental literature. *Biosecurity and bioterrorism : biodefense strategy, practice, and science. Biosecur Bioterror.* 2012; 10(3): 299-303. doi: <https://doi.org/10.1089/bsp.2012.0026>
34. Almatawah QA, Al-Rashidi MS, Yassin MF, Varghese JS. Microbiological contamination of indoor and outdoor environments in a desert climate. *Environ Monit Assess.* 2022; 194(5): 355. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10032-9>
35. Botzenhart K, Döring G. Ecology and epidemiology of *Pseudomonas aeruginosa*. In: Campa M, Bendinelli M, Friedman H, editors. *Pseudomonas aeruginosa as an Opportunistic Pathogen.* Boston, MA: Springer US; 1993. p. 1-18. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3036-7_1
36. White JK, Nielsen JL, Larsen CM, Madsen AM. Impact of dust on airborne *Staphylococcus aureus* viability, culturability, inflammogenicity, and biofilm forming capacity. *Int J Hyg Environ Health.* 2020; 230: 113608. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113608>
37. Kozajda A, Jeżak K, Kapsa A. Airborne *Staphylococcus aureus* in different environments—a review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2019; 26(34): 34741-34753. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06557-1>
38. Haleem Khan AA, Mohan Karuppaiyl S. Fungal pollution of indoor environments and its management. *Saudi J Biol Sci.* 2012; 19(4): 405-426. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.06.002>
39. Fashola MO, Ajilogba CF, Aremu BR, Babalola OO. Capítulo 7 - Airborne fungi and mycotoxins. En: Ilori MO, Obayori OS, Salam LB, editors. *Aeromicrobiology: Academic Press;* 2023. p. 147-75. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96122-6.00007-4>
40. Fujiyoshi S, Tanaka D, Maruyama F. Transmission of airborne bacteria across built environments and its measurement standards: a review. *Front Microbiol.* 2017; 8: 2336. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02336>
41. Bolashikov ZD, Melikov AK. Methods for air cleaning and protection of building occupants from airborne pathogens. *Build Environ.* 2009; 44(7): 1378-1385. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.09.001>
42. Wolkoff P, Azuma K, Carrer P. Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation. *Int J Hyg Environ Health.* 2021; 233: 113709. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113709>